

Raakaveden hapetus raudan ja mangaanin poistossa

Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 102

Helsinki 2025

Julkaisun jakelu:

Vesilaitosyhdistys
Ratamestarinkatu 7 B
00520 Helsinki

puh. (09) 868 9010
sähköposti: vvy@vvy.fi
kotisivu www.vvy.fi

ISSN-L 2242-7279
ISSN 2954-2014 (verkojulkaisu)

ISBN 978-952-7545-28-7

Helsinki 2025

KUVAILULEHTI			
<i>Julkaisija</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
<i>Tekijät</i>	Johanna Herttuainen, Sanna Löfgren Tiaskorpi, Maria Nygård-Hämäläinen, Timo Friman, Jarmo Sallanko		
<i>Julkaisun nimi</i>	Raakaveden hapetus raudan ja mangaanin poistossa		
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 102		
<i>Julkaisun teema</i>	Pohjaveden käsittely		
<i>Saatavuus</i>	Julkaisu on saatavissa Vesilaitosyhdistyksen verkkosivuilta.		
<i>Tiivistelmä</i>	Hankkeen tavoitteena oli lisätä vesilaitosten tietoisuutta eri hapetusvaihtoehtoista sekä prosessiolosuhteista, joilla raudan ja mangaanin poistumista saadaan tehostettua. Hankkeessa laaditun kirjallisuuskatsauksen, työpajan ja kyselytutkimuksen sekä vedenlaatuanalyysien perusteella kerättiin tietoa vesilaitoksilla käytössä olevista tekniikoista. Kyselyn (n = 20) tulosten perusteella vastanneiden laitosten raakaveden keskimääräinen rautapitoisuus vaihteli välillä 0,27–10 mg/l ja mangaanipitoisuus välillä 0,07–0,52 mg/l. Vastaavasti keskimääräinen humuspitoisuutta indikoiva KMnO₄ -luku oli 1,5–15 mg/l ja pH keskimäärin 6,1–7,6. Kyselyyn vastanneista 75 % joutui käsittelemään pohjavesilaitostensa raakavettä raudan ja mangaanin poistamiseksi. Kyselyyn vastanneiden pohjavesilaitoksissa raakavettä käsitellään raudan ja mangaanin poistamiseksi biologisella suodatuksella (33 %), kalkkikivialkaloinnilla (27 %), kemiallisella suodatuksella (20 %), maaperähapetuksella (13 %) sekä VYR-hapetuksella (7 %). Laitoksilla suurimmat haasteet raakaveden korkeasta rautapitoisuudesta liittyivät putkistojen, suodattimien, kaivojen ja raakavesilinjojen tukkeutumiseen sekä huuteluvesien määrään ja johtamiseen sekä riittämättömään raudanpoistokykyyn. Vastaavasti suurimmat haasteet korkeasta mangaanipitoisuudesta liittyivät kaivojen, raakavesilinjojen, putkistojen ja suodattimien tukkeutumiseen sekä huuhteluvesien määrään ja niiden johtamiseen sekä riittämättömään mangaaninpoistokykyyn. Laitoksilta saatuja tietoja vedenlaadusta ja käsittelymenetelmistä vertailtiin kirjallisuudesta saatuihin tietoihin sekä laitosten kesken. Tulosten perusteella laitosten kyky poistaa raakavedestä rautaa ja mangaania on suhteellinen hyvä, mutta ongelmia esiintyy myös. Riippuen käytetystä menetelmästä, osalla laitoksista poistomenetelmät vaativat paljon ammattitaitoa ja työtä, kun taas osalla menetelmät ovat yksinkertaisia ja toiminta on automatisoitu tehokkaaksi helpottamaan laitosten pyörittämistä.		
<i>Avainsanat</i>	Pohjaveden käsittely, vedenkäsittely, raudanpoisto, mangaanin poisto, hapettaminen		
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
	ISBN 978-952-7545-28-7		ISSN 2954-2014
	Sivuja 35	Kieli suomi	luottamuksellisuus julkinen
<i>Julkaisun jakelu</i>	Vesilaitosyhdistys, www.vvy.fi		
	Tekijät vastaavat julkaisun sisällöstä eikä julkaisun sisältöä voida tulkita Vesilaitosyhdistyksen kannanotoksi.		

BESKRIVNINGSBLAG			
<i>Publicerat av</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
<i>Författare</i>	Johanna Herttuainen, Sanna Löfgren Tiaskorpi, Maria Nygård-Hämäläinen, Timo Friman, Jarmo Sallanko		
<i>Publikationens titel</i>	Oxidering av råvatten för att avlägsna järn och mangan		
<i>Publikationsseriens titel och nummer</i>	Vattenverksföreningens duplikatserie nr 102		
<i>Publikationens tema</i>	Grundvattenbehandling		
<i>Tillgänglighet</i>	Publikationen finns på Vattenverksföreningens webbsida.		
<i>Sammanfattning</i>	Projektets mål var att öka vattenverkens medvetenhet om olika oxidationsalternativ samt processförhållanden som kan effektivisera avlägsnandet av järn och mangan. Genom den litteraturoversikt, workshop och enkätundersökning som gjordes inom projektet, samt vattenkvalitetsanalyser, samlades information om tekniker som används vid vattenverken. Enligt resultaten från enkäten (n = 20) varierade det genomsnittliga järninnehållet i råvattnet hos de svarande verken mellan 0,27–10 mg/l och manganhalten mellan 0,07–0,52 mg/l. Motsvarande KMnO₄-tal, som indikerar humushalt, låg mellan 1,5–15 mg/l och pH i genomsnitt mellan 6,1–7,6. Av de som svarade uppgav 75 % att de måste behandla råvattnet vid sina grundvattenverk för att avlägsna järn och mangan. Vid dessa grundvattenverk används biologisk filtrering (33 %), kalkstensalkalisering (27 %), kemisk filtrering (20 %), markoxidation (13 %) samt VYR-oxidation (7 %) för att avlägsna järn och mangan. De största utmaningarna med höga järnhalter i råvattnet var relaterade till igensättning av rörledningar, filter, brunnar och råvattenledningar, samt mängden och hanteringen av spolvatten och otillräcklig kapacitet för järnavlägsnande. På motsvarande sätt var de största utmaningarna med höga manganhalter kopplade till igensättning av brunnar, råvattenledningar, rörledningar och filter, samt mängden spolvatten och dess hantering, samt otillräcklig kapacitet för manganavlägsnande. Informationen om vattenkvalitet och behandlingsmetoder som erhöles från verken jämfördes med uppgifter från litteraturen och mellan verken. Resultaten visar att verken generellt har relativt god förmåga att avlägsna järn och mangan från råvatten, men det förekommer också problem. Beroende på metod kräver vissa avlägsningsmetoder mycket yrkesskicklighet och arbete, medan andra är enklare och processen är automatiserad för att underlätta driften av verken.		
<i>Nyckelord</i>	Behandling av grundvatten, vattenbehandling, järnavlägsnande, manganavlägsnande, oxidering		
<i>Finansiär/uppdragsgivare</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
	ISBN 978-952-7545-28-7		ISSN 2954-2014
	Sidantal 35	Språk finska	Konfidentialitet offentlig
<i>Distribution av publikationen</i>	Vattenverksföreningen, www.vvy.fi		
	Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Vattenverksföreningens ståndpunkt.		

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Pohjaveden laatu suomessa	2
2.1	Ilmastonmuutos.....	2
2.2	Rauta ja mangaani pohjavedessä ja käsittelyprosessissa	3
3	Pohjaveden hapetustekniikat raudan ja mangaanin poistossa	8
3.1	Hapetus ja suodatus	8
3.2	Biologinen suodatus laitoksella	9
3.3	Adsorptiosuodatus	11
3.4	Maaperähapetus	11
3.5	VYR-hapetus.....	12
3.6	Jälleenimeytys	13
3.7	Tekopohjaveden muodostaminen	13
3.8	Kalkkikivialkalointi	14
3.9	Kaksivaiheinen kemiallinen saostus	14
3.10	Allbiron®-prosessi	15
3.11	Muut menetelmät	15
4	Mekaaninen ja kemiallinen kaivon puhdistaminen	17
5	Työpajan tulokset.....	18
5.1	Biologinen suodatus.....	18
5.2	Maaperähapetus	19
5.3	VYR-Hapetus	19
5.4	Kemiallinen käsittely.....	20
5.5	Allbiron®-menetelmä	21
5.6	Esimerkkikohteiden vedenlaatutiedot ja prosessikuvaus/menetelmä.....	21
6	Kyselytutkimuksen tulokset	25
7	Tekniikoiden vertailu	30
8	Johtopäätökset.....	32
	Lähteet	33
	Liitteet.....	35

1 JOHDANTO

Monilla suomalaisilla pohjavesilaitoksilla raakaveden laatu ei sellaisenaan täytä talousveden laatukriteerejä raudan ja mangaanin osalta. Monilla pohjavesilaitoksilla ei ole juurikaan laituskäsittelyä, vaikka pohjavesi sisältää pieniä määriä rautaa ja mangaania. Säänvaihtelut, muun muassa pitkät kuivuusjaksot, voivat aiheuttaa muutoksia veden saatavuuden lisäksi veden laatuun. Lisäksi lisääntynyt vedenotto tai ilmastonmuutos voivat aiheuttaa muutoksia pohjaveden laatuun. Em. syistä hyvälaatuisen pohjaveden saatavuus on rajallista ja myös heikompilaatuisia pohjavesiä joudutaan käyttämään riittävän talousveden tuoton turvaamiseksi.

Rauta- ja mangaanipitoisuudet voivat alkaa nousta, kun pohjaveden happipitoisuus laskee, esimerkiksi lisääntyneen rantaimetytymisen vuoksi. Raudalle ja mangaanille on asetettu laatutavoitteet, joihin vesilaitosten tulee päästä voidakseen jakaa talousvettä kuluttajille. Raudan ja mangaanin poistamiseen on olemassa useita menetelmiä. Yleisesti ottaen liukoisessa muodossa olevat metallit tulee hapettaa, jotta ne saadaan kiinteään olomuotoon ja ovat täten poistettavissa suodattamalla. Metallien hapettamiseen on olemassa useita eri tekniikoita ja hapetus voi olla biologista ja/tai kemiallista. Hapetus voidaan myös tehdä jo maaperässä tai vasta laituskäsittelyssä. Suomessa on paljon vesilaitoksia, joilla poistetaan jo nyt vedestä rautaa ja/tai mangaania eri menetelmillä. On myös paljon laitoksia/ottamoita, joilla pitoisuudet ovat sellaisia, että vedenottoa joudutaan rajoittamaan sopivan käsittelyn puuttuessa, ainakin ajoittain.

Vesilaitosten on hyvä varautua ennalta veden laadun muutoksiin esimerkiksi selvittämällä, mikä on oman laitoksen kohdalla sopiva käsittelymenetelmä ja millaisiin investointeihin on syytä varautua. Laitoksilla, joilla käsittely on jo olemassa, on hyvä tiedostaa minkälaisilla ajotapa tai muilla muutoksilla raudan ja/tai mangaanin poistoa saadaan tehostettua.

Tässä hankkeessa oli tarkoituksena lisätä vesilaitosten tietoisuutta eri hapetusvaihtoehtoista sekä prosessiolosuhteista, joilla metallien poistumista saadaan tehostettua. Vaihtoehtojen vertailussa otettiin huomioon mm. ympäristönäkökohdat, käytettävyys, kemikaalien tarve ja toteutettavuus.

Hankkeessa laadittiin kirjallisuuskatsaus alan julkaisuja hyödyntäen. Hankkeeseen osallistuville pohjavesilaitoksille lähetettiin täytettäväksi kyselylomakkeet, joissa selvitettiin, minkälainen prosessi toimii milläkin veden laadulla. Lisäksi laitoksia pyydettiin ottamaan vesinäytteitä, mikäli heillä ei ollut valmiiksi toimittava tarvittavia tuloksia. Erillinen kyselylomake lähetettiin lisäksi muille suomalaisille pohjavesilaitoksille, joilla tiedettiin raakaveden sisältävän rautaa ja mangaania. Hankkeessa järjestettiin myös työpaja, johon kutsuttiin hankkeeseen osallistuvien laitosten edustajia ja asiantuntijoita keskustelemaan raudan ja mangaanin poistosta.

Hankkeen rahoittavat Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto ja kuusi yhteistyövesihuoltolaitosta. Hanke toteutettiin aikavälillä syksy 2023 - syksy 2025. Hankkeen toteuttajana toimi AFRY Finland Oy.

2 POHJAVEDEN LAATU SUOMESSA

Suomessa pohjavesilaitoksilla yleisiä käsittelytarvetta aiheuttavia ominaisuuksia ovat talousvesinormit ylittävät rauta- ja mangaanipitoisuudet. Lisäksi pohjavedet ovat Suomessa pehmeitä ja happamia. Raudanpoisto on yleensä suhteellisen tehokasta hapettamalla liuennut rauta liukenemattomaan muotoon, ilmastamalla tai kemiallisesti hapettamalla, ja poistamalla muodostunut saostuma hiekkasuodatuksella. Joskus, jos raakavesi sisältää suuria määriä orgaanista ainetta, raudan poiston kanssa voi syntyä ongelmia. Suomessa on melko yleistä, että pohjavesi sisältää runsaasti sekä rautaa, että luonnollista orgaanista ainetta, pääasiassa humusaineina.

Suomessa on voimassa Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 1352/2015 mukaiset talousveden laatutavoitteet; mangaanin (Mn) laatutavoite talousvedelle on alle 50 µg/l ja raudalle (Fe) alle 200 µg/l. (Valvira 2020)

Mangaani on neurotoksinen metalli ja haitallista erityisesti lapsille, kun veden mangaanipitoisuus on yli 100 µg/l. Juomaveden mangaanin on todettu olevan yhteydessä lasten oppimis- ja käyttäytymishäiriöihin, jopa alempaan älykkyydosamäärään. Mangaani aiheuttaa liiallisina pitoisuuksina veteen ja siitä valmistettuihin juomiin makuhaittoja, kertymiä saniteetti- ja talouskalusteisiin sekä pyykkien tahraantumista. (Valvira 2020)

Rauta ei aiheuta terveyshaittoja pitoisuuksissa, joissa veden nauttiminen ulkonäön ja maun perusteella on miellyttävää. Hyvin suurina pitoisuuksina talousveden rauta ärsyttää ruoansulatuskanavaa. Suuri rautapitoisuus talousvedessä aiheuttaa lisäksi kertymiä saniteetti- ja talouskalusteisiin, tahroja pyykkiin ja makuhaittoja. (Valvira 2020)

Hyvälaatuiset pohjavedet löytyvät yleensä ympäristöönsä vettä luovuttavista, antikliinisistä, harjumuodostumista. Mikäli vettä virtaa ympäristöstä harjumuodostumaan päin (synkliiniset harjumuodostumat), heikentää se pohjaveden laatua. Myös savikoiden peittämien kerrostumien kauemmin maaperässä viipyneet salpavedet ovat yleensä mineralisoituneimpia kuin harjun ydinosa pohjavedet.

Pohjavesien suurimmat rauta ja mangaanipitoisuudet sijoittuvat yleensä Suomen länsirannikolle. Myös KMnO_4 -luku, jolla kuvataan veden orgaanisen aineen pitoisuutta, on rannikon pohjavesissä yleensä korkeahko johtuen alueen geologiasta. Korkeat orgaanisen aineen pitoisuudet yleensä vaikeuttavat raudan ja mangaanin poistoa.

2.1 ILMASTONMUUTOS

Merkittävimmät ilmastomuutoksen seuraukset Suomessa vuoteen 2080 mennessä ovat keskilämpötilan nousu 2–7 °C ja sadannan lisääntyminen 5–40 %. Näiden lisäksi äärimmäisten sääilmiöiden sekä rankkasateiden on arvioitu lisääntyvän. Vastakohtana pitkien kuivien ajanjaksojen ja sateettomien kausien on arvioitu myös lisääntyvän. Ääri-ilmiöiden lisääntymisen vuoksi lisääntyvät myös poikkeuksellisen korkeat ja matalat lämpötilat, joista aiheutuu tulvia ja kuivuutta.

Ilmastomuutoksen on arvioitu vaikuttavan pohjaveden pintoihin siten, että pohjaveden pinnat nousevat talvella ja laskevat hieman kesällä. Myös pohjaveden muodostumisajankohdat muuttuvat alueellisesti. Äärimmäisten sääilmiöiden lisääntyessä muutokset tapahtuvat nopeammin ja niihin on hankalampi varautua. Rankkasateesta voi aiheutua

pinta-/huleveden pääsy raakavesilähteisiin ja myös joki-, järvi- tai meriveden virtaus-suunta voi kääntyä esimerkiksi kohti pohjavesimuodostumaa. Ilmastonmuutoksen on arvioitu aiheuttavan myös ajoittaista kuivuutta, mistä voi aiheutua matalien vedenottokai-vojen kuivumista ja muutoksia veden virtaussuunnissa. Koska vedenottoluvissa on määritetty enimmäisvedenottomäärät, saattaa lupien enimmäismäärien nostolle tulla tarvetta tulevaisuudessa. Lisääntynyt vedenotto saattaa vaikuttaa ympäröiviin arvokkaisiin maa- ja vesiekosysteemeihin. Uusia vedenottolupia hakiessa vedenotosta aiheutuvien ympäristövaikutusten kartoittaminen saattaa myös olla luvan saannin edellytyksenä.

Ilmastonmuutoksesta saattaa aiheutua myös ääri-ilmiöiden (myrsky, ukkoset, tulvat) vaikutuksesta lisääntyviä sähkökatkoksia, mistä voi puolestaan aiheutua ongelmia vedenkäsittelyyn ja -jakeluun. Lumipeitteen väheneminen saattaa aiheuttaa putkien jäätymistä. Pienillä ottamoilla riskit ovat yleensä suurempia, koska niiltä puuttuu usein varajärjestelmät.

Pohjaveden pintojen laskiessa, pohjaveden vuodenaikaisten laatumuutosten on arvioitu lisääntyvän; esimerkiksi rauta- ja mangaanipitoisuudet saattavat nousta pohjavedessä ja veden lämpötila saattaa nousta. Tekopohjavesilaitosten ja rantaimeytyslaitosten osalta on mahdollista, että veden humus- ja rautapitoisuudet kasvavat kuten myös bakteeri- ja viruspitoisuudet. Sinilevistä aiheutuvien ongelmien on arvioitu myös lisääntyvän ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. Laatuongelmien lisääntyessä myös veden käsittelytarve lisääntyy.

Merenpinnan on arvioitu nousevan ilmastonmuutoksen vaikutuksesta, jolloin pohjaveden pinta voi rannikoilla jäädä merenpintaa alemmaksi, jolloin merivettä pääsee mahdollisesti virtaamaan pohjavesimuodostumaan. Tällöin pohjaveden suolapitoisuus ja kloridipitoisuus voivat kasvaa, mikä voi aiheuttaa putkistojen syöpymistä ja rakenteiden haurastumista.

Ilmastonmuutoksesta aiheutuviin haasteisiin voidaan varautua eri tavoin. Vedensaannin turvaamiseksi voidaan rakentaa varavedenottoja ja kartoittaa potentiaalisia vedenotopaikkoja. Myös yhdysvesijohtojen rakentamisella voidaan varmistaa vedensaantia ongelmatilanteissa. Jotta pohjaveden laadussa tapahtuva muutoksia voidaan ennakoida, pohjaveden laatua tulisi seurata koko pohjavesialueella ennen kuin ongelmat ilmenevät vedenottoilla. Maankäytön suunnittelussa tulisi ottaa huomioon toimintojen sijoittamisesta aiheutuvien riskien lisäksi hulevesien johtaminen myös tulvatilanteissa sekä riittävien pohjavettä muodostavien pintojen turvaaminen pohjavesialueella. Sähköjakeluhäiriöiden varalta tulisi varmistaa jatkuva sähkönsaanti sekä varavoiman lähde. Vaikka tällä hetkellä vesilaitoksella riittäisi hyvin kevyt vedenkäsittely, käsittelyn tarve voi lisääntyä tulevaisuudessa veden laadun heiketessä. Poikkeustilanteiden varalta olisi hyödyllistä laatia tiedotussuunnitelma sekä selvittää vastuiden jakoa.

2.2 RAUTA JA MANGAANI POHJAVEDESSÄ JA KÄSITTELYPROSESSISSA

Rautaa ja mangaania voi olla pohjavedessä suuria pitoisuuksia, johtuen maa- ja kallio-perästä, ja aineet esiintyvät usein samanaikaisesti. Myös pintavedessä raudan ja mangaanin pitoisuudet voivat olla korkeita. (Valvira 2020)

Mangaani esiintyy luonnossa pelkistyneinä Mn^{2+} ja Mn^{3+} muotoina. Se liukenee veteen etupäässä bikarbonaattina, $Mn(HCO_3)_2$. Pohjaveden mangaanipitoisuuteen vaikuttavat

hydrologiset olosuhteet, maaperän geologinen rakenne ja sen geokemiallinen koostumus, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä mikrobiologiset tekijät. Pohjavesilaitoksilla mangaani- ja rautaongelmia esiintyy alueilla, joilla pohjaveden happi on syystä tai toisesta vähentynyt. Syitä heikkoon happitilanteeseen voivat olla saven ja siltin peittämät pohjavesimuodostumat, humuspitoisen pintaveden imeytyminen pohjavesimuodostumaan (humus kuluttaa hajotessaan pohjaveden hapen) ja itse vedenotto. Savipeitteisissä pohjavesimuodostumissa happi kuluu hiljalleen, kun hapekasta pohjavettä muodostuu vain ns. ”ikkunoissa”, joissa maaperä läpäisee hapekasta sadevettä.

Pintaveden imeytymisen seurauksena pohjaveteen kulkeutuu happea kuluttavaa orgaanista ainesta. Hapen väheneminen aikaansaa mangaanin liukenemista. Liian suureksi kasvanut pohjavedenotto aiheuttaa muodostuman reunaosissa hienojen maakerrosten alla esiintyvän pelkistyneen mangaani- ja rautapitoisen veden kulkeutumisen vedenotto-vyöhykkeelle.

Mangaanin esiintyminen riippuu maaperän pohjavedessä tapahtuvista erilaisista tasapainoreaktioista. Tällaisia ovat mm. hydroksidien, karbonaattien ja sulfidien saostuminen ja liukeneminen, hapetus- ja pelkistysreaktiot sekä kompleksien ja kelaattien muodostuminen. Pohjavesiympäristön hapetus-pelkistysaste ja pH vaikuttavat eniten raudan ja mangaanin liukoisuuteen. Yleisesti raudan ja mangaanin kierto pohjavesissä voidaan jakaa kahteen tapahtumaan; hapettuneiden muotojen pelkistymiseen, jolloin rautaa ja mangaania liukenee veteen sekä pelkistyneen raudan ja mangaanin hapettumiseen ja saostumiseen kiinteään muotoon. Mikrobeilla on keskeinen merkitys luonnossa tapahtuvassa raudan ja mangaanin kierrossa. Ne ovat mukana vedessä metallien saostumis- ja liukenemistapahtumissa sekä mineraalien rapautumisessa.

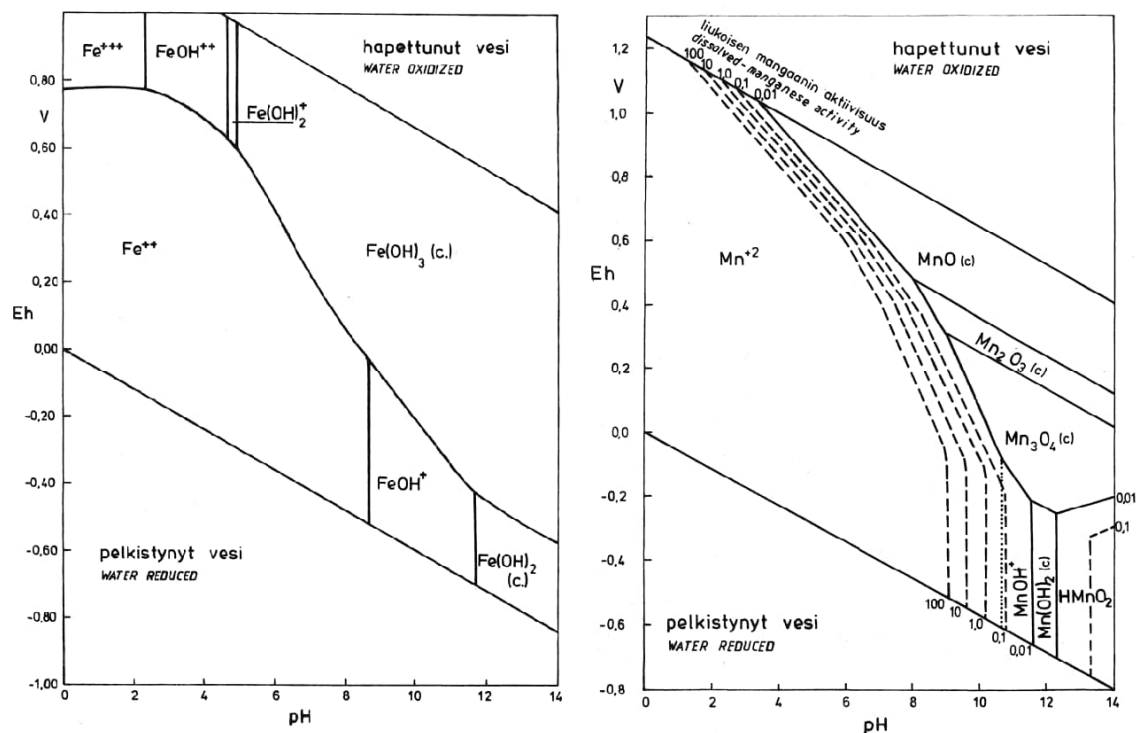
Pelkistyneiden yhdisteiden hapettuminen Suomen pohjavesien suhteellisen alhaisissa pH-arvoissa on pääosin mikrobiologinen tapahtuma, mutta se voi olla myös kemiallis-fysikaalinen. Tavallisesti rauta ja mangaani hapettuvat yhtä aikaa sekä kemiallisesti että biologisesti. Varsinaiset mangaanibakteerit hapettavat ja saostavat kahdenarvoisia mangaaniyhdisteitä biologisesti. Biologinen hapettuminen tapahtuu solun sisäisenä hapetuskkena entsyymien avulla, liuenneen mangaanin adsorboitumisena solun seinämään ja sitä seuraavana entsyymaattisena hapetuksena tai solun läheisyydessä tapahtuvana hapettumisena, johon solun erittämät biopolymeerit osallistuvat. Bakteeri käyttää aineenvaihdunnassaan hyväkseen mangaanin hapetusasteen muutoksessa (Mn^{2+} , Mn^{3+} >> Mn^{4+}) vapautuvan energian.

Osa bakteereista aikaansaa myös kasvullaan niin korkean pH:n, että mangaani voi hapettua myös kemiallisesti. Mangaani hapettuu neutraaleiksi orgaanisten suolojen kolloidimuodoiksi (esim. $MnO(OH)_2$ tai $Mn(OH)_4$:ksi), joilla ei ole merkitystä bakteerien aineenvaihdunnassa. Kolloidinen muoto koaguloituu hydrosolimuodon jälkeen hydrogeeliksi ja vähittäisten kolloidikemiallisten rakennemuutosten jälkeen hydrogeeli muuttuu kiinteäksi hydroksidiksi tai oksidiksi, joka muodostaa mangaanille tunnusomaisen tumman saostuman.

Lähes kaikki rauta- ja mangaanibakteerit vaativat kasvaakseen happea. Mikrobiologista mangaanin hapetusta esiintyy kuitenkin myös vähähappisissa ja hapettomissa oloissa. Muutamien lajien kasvu on rajoittunut hapettuneen ja pelkistyneen vesikerroksen rajalle, jossa on tarjolla sekä happea että hapetettavia yhdisteitä. Mangaanin saostamisen edellytyksenä on riittävän korkea redox-potentiaali. Veden hapetus-pelkistys eli redox-potentiaali kuvaa kuinka hapettavaa tai pelkistävää se on tunnettuun standardiin verrattuna. Pohjaveden redox-potentiaalin tasapainotilaan vaikuttavat monet ulkoiset tekijät, kuten

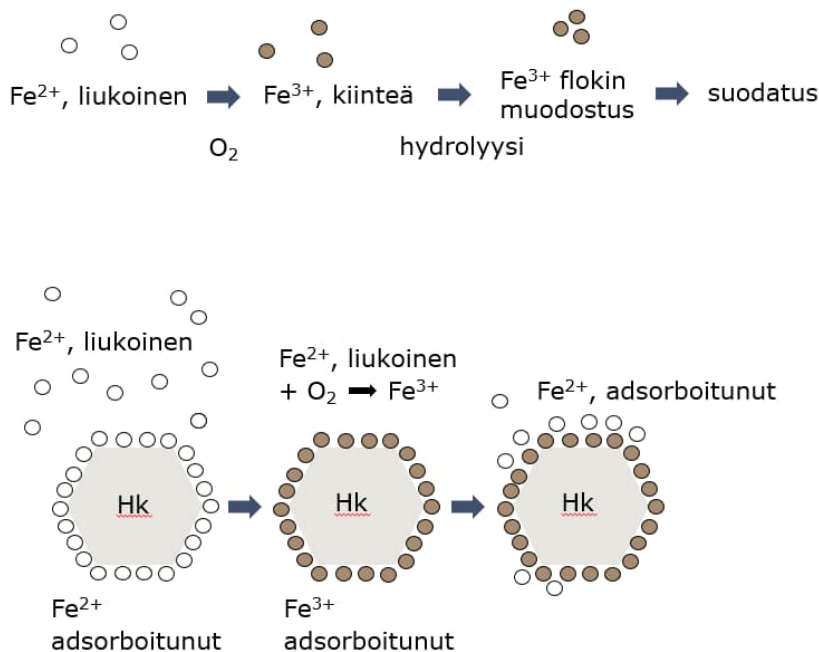
lämpötila, pH ja eri aineiden konsentraatiot, joiden osuus tasapainon muodostumisessa vaihtelee tapauksesta toiseen.

Happikonsentraatio ja pH ovat toisistaan riippuvaisia siten, että hapettuneessa vedessä raudan ja mangaanin biologinen hapettuminen tapahtuu alemmassa potentiaalissa korkeammalla pH-alueella. Mangaanin hapetusasteeseen vaikuttaa merkittävimmin happitasapaino. Alhaisissa happipitoisuuksissa, joissa hapen määrä vaikuttaa eniten redox-potentiaaliin, voidaan hapenlisäyksen avulla saada aikaan mangaanin saostumisen alkaminen pohjaveden pH:ssa 6-7. Mangaanin hapetus vaatii korkeamman redox-potentiaalin kuin raudan hapetus samassa pH-arvossa (Kuva 2-1). Käytännössä riittävän hapetusnopeuden saavuttaminen laitospöytäveden käsittelyssä vaatii mangaanin poistossa pH:n nostoa tasolle 9½ ja raudanpoistossa tasolle 8.



Kuva 2-1. Raudan ja mangaanin esiintymismuotojen Eh-pH-rajat vesiliuoksessa, (c) kiinteä olomuoto. (Saarinen 1981).

Myös adsorptiolla on vaikutusta raudan ja mangaanin poistoprosesseihin. Raudan adsorptiosuodatuksessa voidaan käyttää adsorptioalustana esim. suodatusmassaa tai hapettunutta rautakerrosta, Fe^{3+} (Begum 2018, Sharma 2021). Tällöin pelkistynyt rauta adsorboituu suodatinhiekan pinnalle ja hapettuu siinä ohi virtaavan veden hapen avulla. Hapettunut rautakerros (Fe^{3+}) toimii taas uutena adsorptioalustana ohivirtaavalle Fe^{2+} :lle (Kuva 2-2). Adsorptiosuodatuksessa ilmastusta ja veden happipitoisuutta ennen suodatusta pitää rajoittaa, jotta ei päädytä hapetus-flokinmuodostus-suodatus prosessiin. Adsorptiosuodatuksella on hyvinä puolina flokinmuodostus-suodatus prosessiin nähden pidemmät suodatusajat huuhteluiden välissä, parempi suodatetun veden laatu (soveltuvissa olosuhteissa) ja hyvä kuormituskestävyys.



Kuva 2-2. Periaatteellinen kuva hapettaminen/flokinmuodostus/suodatus -prosessista ja adsorptiosuodatus/hapettaminen prosessista.

Lisäksi suodattimissa voivat vaikuttaa katalyyttiset ilmiöt. Perinteisin esimerkki tästä on mangaanin katalyyttinen suodatus mangaanidioksidimassan avulla. Myös raudan suodattamisessa voidaan käyttää hyödyksi ko. ilmiötä. (AWWA 2015).

Raudan ja mangaanin poistoprosesseissa kemialliset-, fysikaaliset- (adsorptio, siivilöinti) ja biologiset prosessit tapahtuvat rinnan ja joskus niiden erottaminen toistaan on vaikeaa. Poistoprosessien vaikuttavuutta suodatuksissa on selvitetty mm. estämällä biologinen toiminta biosuodattimissa.

Raudan ja mangaanin poistoa voi vaikeuttaa heikosti erottuvan sakan muodostuminen ja hapettumisen hidastuminen kompleksiyhdisteiden muodostumisen takia. Yleisimmät raudan poistoa vaikeuttavat aineet ovat orgaaniset aineet: humus-, fulvo- ja tanniinihapot. Myös silikaattien sekä fosfaattien, sulfaattien ja syanidien on raportoitu vaikeuttavan raudan poistoa. Mangaani voi muodostaa vedenkäsittelyä vaikeuttavia yhdisteitä myös orgaanisten aineiden (humus- ja fulvohapot) sekä silikaattien ja sulfaattien kanssa (Suezdegremont 2023).

Pohjaveden käsittelyssä orgaaninen aine ei yleensä vaikeuta juurikaan biologista mangaanin poistoa, mutta vaikeuttaa biologista raudan poistoa. Yleisenä nyrkkisääntönä orgaanisten aineiden suhteen voidaan pitää suomalaisissa happamissa ja pehmeissä pohjavesissä sitä, että jos raakaveden KMnO₄-luku on alle 5 mg/l, orgaanisen aineen määrä ei vaikeuta raudan ja mangaanin poistoa. Sen sijaan, jos KMnO₄-luku on yli 10 mg/l, orgaanisen aineen määrä todennäköisesti vaikeuttaa raudan ja mangaanin poistoa (Ala-Peijari 1994).

Pii aiheuttaa suurimman osan Keski-Euroopan pohjavesilaitosten raudan ja mangaanin poiston ongelmista. Ranskassa pohjavesilaitosten raudan kompleksoitumiseen ja siitä seuraaviin raudanpoiston ongelmiin pii on syyllinen 75 % tapauksista ja 25 % tapauksista

syy löytyy orgaanisista yhdisteistä (Mouchet 1992). Pii hidastaa raudan hapettumista, stabiloi rautakolloideja ja pienentää käsittelyssä syntyvän flokin kokoa estämällä hyvin erotuvien lepidokrosiitin ja goethiitin muodostumista ja suosien ferrihydriitin muodostumista. Suomessa pohjavesien orgaanisen aineen pitoisuudet ovat kuitenkin huomattavan paljon suuremmat kuin Ranskassa, joten on ilmeistä, että Suomessa suurin osa raudan ja mangaanin poiston ongelmista pohjavesilaitoksilla johtuu orgaanisesta aineesta. On kuitenkin todennäköistä, että pii vaikuttaa joissain tapauksissa myös Suomessa vedenkäsittelyyn. Piispasen tutkimuksissa (2011) jo 5 mgSiO₂/l lisäykset Suomalaiseen pohjaveeseen pienensivät huomattavasti raudan hapettamisessa muodostuvan flokin kokoa. Myös veden kovuus/TOC suhteella on tutkimuksissa havaittu olevan vaikutusta hapettamisessa syntyvien partikkelien stabiilisuuteen, suhteen ollessa alle 25 mgCaCO₃/mgC partikkelien yhteenliittymistäipumus on ollut heikko (Chang & Singer 1989).

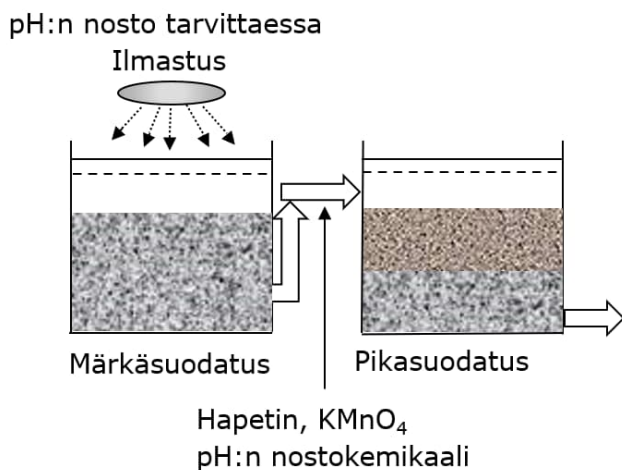
3 POHJAVEDEN HAPETUSTEKNIIKAT RAUDAN JA MANGAANIN POISTOSSA

Vesienkäsittelyssä mangaanin poisto vedestä on vaikeampaa kuin raudan poisto ja tämän vuoksi vesilaitosten jakamassa vedessä on usein mangaanin aiheuttamia laatuvirheitä mangaaninpoistokäsittelystä huolimatta. (Valvira 2020)

3.1 HAPETUS JA SUODATUS

Mikäli vedessä ei ole haitallista määrää orgaanista ainetta tms., pikasuodatuksella erotettava sakka voidaan yksinkertaisimmillaan tehdä ilman hapella. Tällöin saadaan pohjavedestä poistettua samalla hiilidioksidia ym. Ilmastusta käytettäessä hapetusmenetelmänä, veden pH on nostettava raudanpoistossa tasolle 8 ja mangaanin poistossa tasolle 9,5, jotta saadaan aikaiseksi riittävä reaktionopeus.

Mangaanin (ja raudan) kemialliseen hapettamiseen voidaan käyttää ilman happea voimakkaampia hapettimia, kuten kaliumpermanganaattia (KMnO_4). Tällöin mangaanin hapettumisaikaa saadaan lyhennettyä. Vedenkäsittelyprosessissa voidaan käyttää esim. ensin ilman happea raudan hapettamiseen ja jäljelle jäävän pelkistyneen mangaanin hapettamiseen kaliumpermanganaattia, jolloin kemikaalitarve jää pienemmäksi (VAV 1994). 2-vaihesuodatuksessa erillisiin raudan- ja mangaaninpoistosuodattimiin voidaan luoda erikseen optimaaliset olosuhteet niin Fe kun Mn poistumiselle. Yleensä ensimmäisenä vaiheena on Fe:n poisto. Kemialliseen hapettamiseen ja pikasuodatukseen voidaan yhdistää myös muita prosesseja kuten kemiallinen saostus, biologinen esikäsittely tms. (Kuva 3-1).



Kuva 3-1. Esimerkki biologiseen esikäsittelyyn yhdistämisestä kemialliseen hapettamiseen ja pikasuodatukseen. Erillistä laskeutusallasta ei tarvita kuin hyvin suurilla rauta- ja mangaanipitoisuuksilla. Erillinen allas voi olla tarpeen myös riittävän reaktioajan varmistamiseksi.

Joissain tapauksissa hapetettu mangaanidioksidisakka jää niin hienojakoiseksi, että sitä ei saada hiekkasuodattimilla pois, vaan tarvitaan erillinen flokkaus ennen suodatusta. Suodatusta ennen voidaan tarvita myös selkeytys, jos rauta ja mangaani pitoisuudet ovat suuria, yhteensä yli 2 mg/l (Alapeijari 1994). Toisaalta Ilmastuksen ja suodatuksen yh-

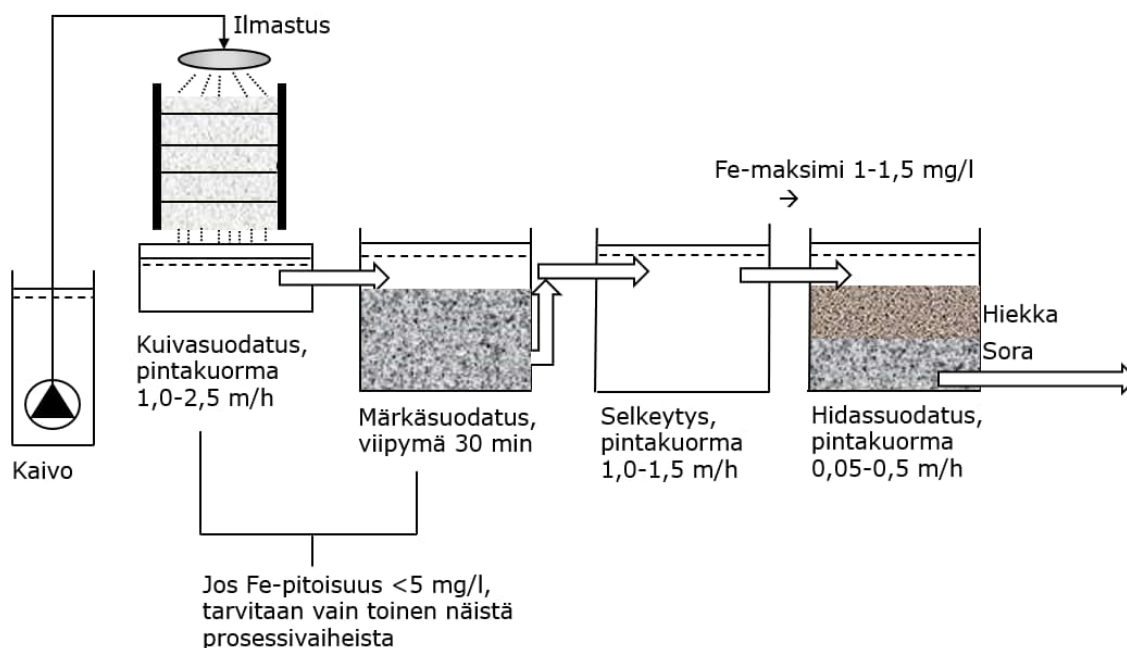
distelmä sopii joissain tapauksissa myös pohjavesille, joissa rautakonsentraatio on enintään 5 mg/l, ja vesi ei sisällä raudanpoistoa vaikeuttavia yhdisteitä, kuten mangaania, väriä, sameutta tai orgaanista ainetta (Degremont1991).

Pikasuodattimet voidaan tehdä yksikerroksisina, esim. Hk, tai kaksikerroksisina, esim. antrasiitti ja Hk tai kaksi eri Filtralite-jaetta. Mahdollista on tehdä myös useampikerroksisia suodattimia eri ominaispainoisilla ja eri raekoon massoilla tai käyttää erilaisia aktiivisia massoja osana suodatinta: mangaanidioksidi, kalkkikivi tms. Pikasuodatuksen pintakuormat ovat yleensä luokkaa 4 - 10 m/h, kun ne toimivat kemiallisen sakan poistossa. Useampikerroksisuus eri ominaispainon ja raekoon massoilla mahdollistaa pintakuorman kasvattamisen. Lisäksi eri suodatusmassojen ominaispinta-alat (m²/g) vaikuttavat suodattimen toimintaan. Eri suodatinmassojen ominaispinta-alojen suuruusluokat ovat; Hk 1 m²/g, antrasiitti 20 m²/g ja aktiivihili 1 000 m²/g (Kaiko 1998).

Monikerrossuodattimilla sakka jää tasaisemmin koko suodattimen syvyyteen, eikä kerry vain pintaosiin. Pikasuodattimien kiintoaineen pidätyskyvyksi (KgSS/m²) ennen huuhtelua onkin arvioitu: Hk-suodattimet 1, kaksikerrossuodattimet 2 ja kolmikerrossuodattimet 3 (VAV 1998).

3.2 BIOLOGINEN SUODATUS LAITOKSELLA

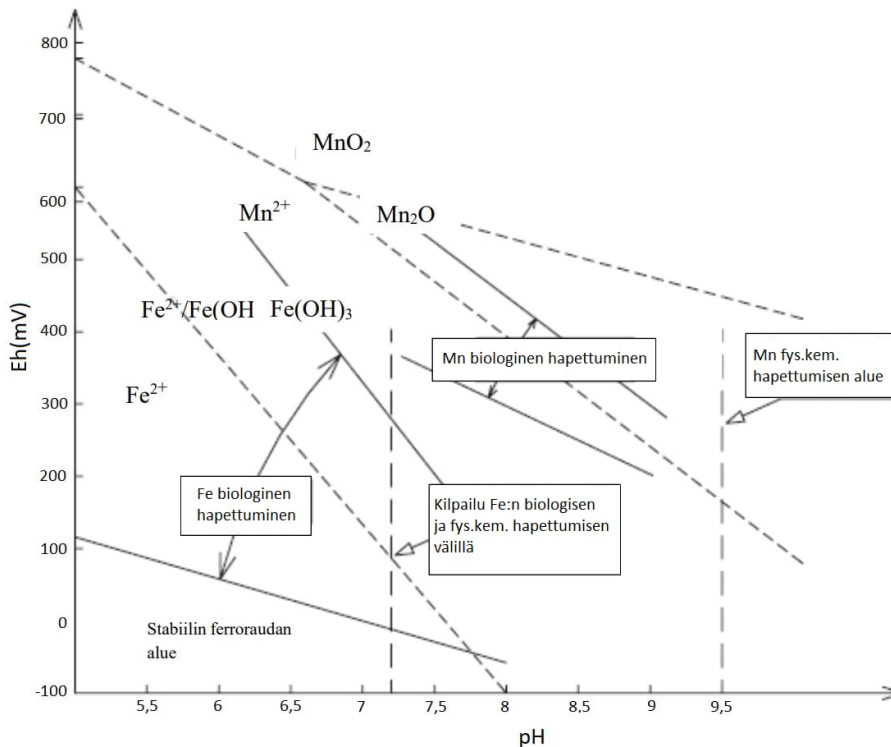
Pohjaveden raudan ja mangaanin poistoa voidaan tehdä biologisesti usealla eri tavalla. Perinteisessä menetelmässä perustana on hidassuodatus, jossa pintakuorma on pieni ja rauta poistuu suodattimen pintakerroksessa ja mangaani 10 - 20 cm syvyydessä hiekan sisällä. Suodattimelle tuleva vesi on ilmastettava ja sen rautapitoisuutta on rajoitettava esikäsitteilyllä, jotta hidassuodattimen kuorintaväli säilyy riittävän pitkänä. Esikäsitteilyyn voidaan käyttää esim. kuivasuodatinta, märkäsuodatinta ja laskeutusta (Kuva 3-2). Esikäsitteily-suodattimien täyteaine voi olla sepeli tai esim. muoviset täytekappaleet. Suodattimien tehokkaan toiminnan käynnistymiseen saattaa kulua kuukausia, hidassuodattimen mangaanin poiston herääminen voi viedä talviaikaan jopa 4 kk.



Kuva 3-2. Perinteinen biologinen raudan ja mangaanin poisto hidassuodatusprosessilla. Erillisen selkeytyksen tarve harkittava tapauskohtaisesti. Hidassuodattimelle johdettavan

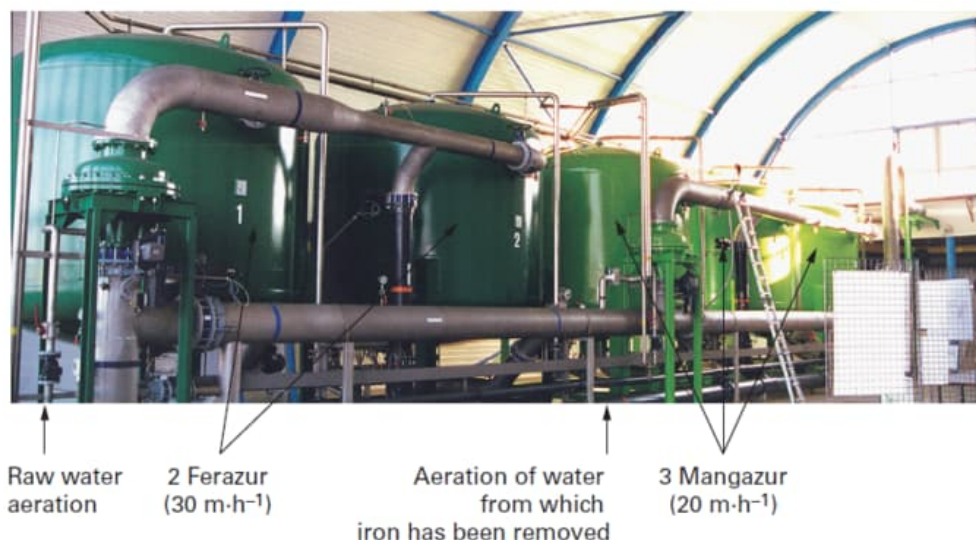
veden rautapitoisuuden rajoittamisen ansiosta suodattimen kuorinta ulkona olevilla laitoksilla vain sulan kauden aikaan.

Biologinen raudan ja mangaanin poisto voidaan tehdä myös pikasuodattimilla kaksivaiheisesti. Biologinen pikasuodatus tapahtuu alemmissa redox-potentiaali/pH -alueilla kuin kemiallinen erotus (Kuva 3-3). Suodatuksessa voidaan käyttää joissain tapauksissa suurehkoja pintakuormia: Fe 10 -70 m/h ja Mn 10 - 40 m/h. Muodostunut sakka ei myöskään tuki suodatinta niin nopeasti kuin kemiallinen sakka, huuhteluväli voi olla jopa 5 kertaa pidempi kuin kemiallisella suodatuksella, ollen max. 1 kgFe/m².



Kuva 3-3. Biologisen raudan ja mangaanin suodatuksessa käytettävät redox-potentiaali/pH alueet verrattuna kemiallisen suodatuksen toiminta-alueisiin (Mouchet 1992, muokattu).

Biologinen kaksivaiheinen pikasuodatus voidaan tehdä avosuodattimissa tai painesuodattimissa. Esim. Suez degremontin Ferazur ja Mangazur yksiköissä suodattimien pintakuormat luokka 20 – 30 m/h (Kuva 3-4).



Kuva 3-4. Biologinen Fe & Mn poisto 2-vaiheisessa biologisessa suodatuksessa, Basser modern water board, Ranska (Suez degremont 2023).

3.3 ADSORPTIOSUODATUS

Adsorptio on ilmiönä käsitelty kappaleessa 2. Hyvin useissa kemiallisissa ja biologisissa suodatuksissa adsorptio on yksi vaikuttava ilmiö. Puhtaasti adsorption optimointiin perustuvia laitosten määrä on pienehkö. Belgian Westerloon pohjavesilaitoksen pilot-prosessi on tietoisesti säädetty optimaaliseksi biologis-adsorptioprosessiksi. Siellä kaksivaiheisella hiekkasuodatuksella yhdistettynä ilmastustorniin saadaan 37 mgFe/l sisältävästä raakavedestä hyvälaatuista talousvettä käyttäen suodattimien pintakuormaa $7\frac{1}{2}$ m/h. Laitoksella 63 % poistetusta raudasta jää pysyvästi hiekkarakeiden pinnalle aiheuttaen suodatinmassan paksuuden kasvamisen (Geysen ym. 2022).

3.4 MAAPERÄHAPETUS

Maaperähapetus perustuu AFRY Finland Oy:n kehittämään laitteistoon, jonka kautta maaperään saadaan imeytysveden mukana syötettyä runsaasti happea. Menetelmä perustuu maaperässä tapahtuvaan biologiseen toimintaan. Hapen lisäys vedenottamon kaivokentän maaperässä saa aikaan välittömän biologisen saostumisprosessin ja rauta-, sekä mangaanibakteerien määrän kasvun. Verrattuna raudan ja mangaanin laitosmaiseen käsittelyyn, eli yleensä biologiseen suodatukseseen laitoksella, maaperähapetuksessa raudan ja mangaanin saostuminen alkaa välittömästi, kun taas laitoksilla varsinkin mangaanibakteerikannan muodostumiseen voi mennä useita kuukausia. Muista pohjaveden hapetusmenetelmistä, kuten jälleen imeytyksestä ja VYR-menetelmästä, maaperähapetus eroaa siinä, että maaperään saadaan kulkeutumaan jopa yli 20-kertainen määrä happea niihin verrattuna samalla energiamäärällä. Muissa mainituissa menetelmissä maaperään imeytetään hapella kyllästynyttä vettä, ts. happea on vedessä sen lämpötilasta riippuen noin 10–12 mg/l, kun taas maaperähapetuksessa kyllästyneen veden lisäksi maaperään kulkeutuu moninkertainen happimäärä pienissä mikrokuplissa. Sen seurauksena hapettuneen pohjavesivyöhykkeen paksuus ja laajuus on varsin huomattava sekä muita menetelmiä oleellisesti suurempi. Maaperähapetus on kestävä keityksen mukainen menetelmä.

Maaperänhapetuksen soveltuvuus vedenottamolle arvioidaan tekemällä lähtötilanteen kartoitus eli selvitetään raakaveden laatu, kaivojen määrä ja sijainnit, kaivojen syvyydet ja ominaisantoisuudet, kaivojen käyttö ja tuotot sekä pohjavesiolosuhteet. Toistaiseksi toteutettujen maaperänhapetuskokeiden perusteella maaperän vedenjohtavuuden tulisi olla kohtalaisen hyvä, eikä pohjavedenpinta saisi olla liian lähellä maanpintaa, koska imeytyskaivossa täytyy olla vesipinnan ylentämisvaraa. Menetelmä ei sovellu kohteisiin, joissa on paineellinen pohjavesi. Kaivoja tulisi olla mielellään vähintään kolme, joista yksi on jatkuvasti tuotantokäytössä. Maaperänhapetus toteutetaan vedenottamoilla yleensä vaiheittain edeten hapetuskokeen tulosten mukaisesti. Hapetuskokeissa seurataan erityisesti veden laatua, pumpattavia ja imeytettäviä vesimääriä sekä imeytyskaivon pumpattavan veden mukana syötettävän hapen määrää. Vedenottamon lähialueelta voidaan seurata myös havaintoputkien veden happipitoisuuksia.

Menetelmää voidaan käyttää rinnan laitospesittelyn kanssa. Etuna laitospesittelyyn verrattuna on maaperänhapetuksen kustannustehokkuus. Maaperänhapetuksella voidaan saavuttaa pienemmät laitoksen kemikaali-, energia- ja suodatinmateriaalikustannukset sekä pidemmät huoltovälit. Maaperänhapetuksen osalta huoltotarve liittyy hapetuksen imeytyskaivon ja sen välittömän ympäristön elvytykseen. Samalla tavalla kuin laitospesittelyssä saostuva rauta ja mangaani aiheuttavat tukkeutumista laitoksen suodattimissa, aiheutuu maaperänhapetuksessa imeytyskaivon ja sen suodatinosan tukkeutumista. Imeytyskaivon huoltoväli riippuu pitkälti raakaveden rauta- ja mangaanipitoisuudesta. Huoltoväli voi olla useasta vuodesta muutamaan kertaan vuodessa.

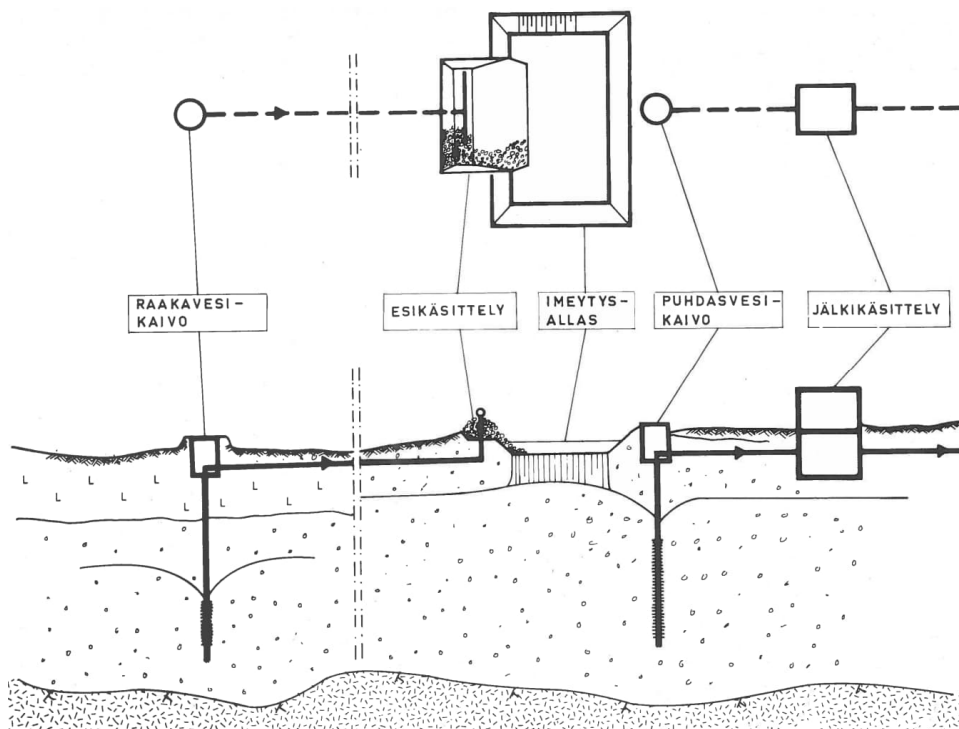
3.5 VYR-HAPETUS

VYR-tekniikka perustuu maaperässä pohjaveden pinnan alapuolella tehtävään raudan ja mangaanin poistoon hapetuksen ja suodatuksen avulla. Menetelmässä käytetään keskuskaivoa sekä sen ympärillä sijaitsevia useampia hapetuskaivoja. Kaivoalueella sijaitsevien hapetuskaivojen kautta johdetaan pohjaveteen ilmastettua pohjavettä ja raudaton vesi pumpataan keskuskaivosta laitokselle. Ilmastettavaan maaperän luodaan VYR-menetelmän avulla jakaja, joka jakaa maaperän hapettuneeseen ja hapettomaan alueeseen. Hapettuneessa maaperässä pohjavesi on lähes raudatonta ja pelkistyneessä maaperässä pohjavesi on rautapitoista. VYR-menetelmässä pohjavesi virtaa keskuskaivon ja suodattuu maaperään muodostuneen rajapinnan läpi, mikä aiheuttaa raudan ja mangaanin saostumisen maaperään. Mangaanin ja raudan saostuminen maaperään perustuu maaperän bakteerien hapettamaan vaikutukseen sekä maaperän fysikaalis-kemiallisiin prosesseihin.

VYR-menetelmässä maaperän on oltava hyvin vettäjohtavaa, jotta vesi liikkuu nopeasti ja jotta kaivot eivät tulvi yli. Hapetuskaivot vaativat myös paljon tilaa, joten vedenottoalueen tulee olla tarpeeksi laaja. VYR-menetelmässä tarvitaan lisäksi paljon vettä, jotta sitä riittää sekä hapetettavaksi että verkostoon johdettavaksi. Menetelmän käyttökokemuksen mukaan kaivojen ja maaperän tukkeutuminen on muodostunut ongelmaksi osassa kohteista. VYR-menetelmän soveltuvuus tulee testata aina paikalla tehtävien kokeiden avulla, sillä jokainen vedenottoalue on erilainen ja maaperä on merkittävässä roolissa.

3.6 JÄLLEENIMEYTYYS

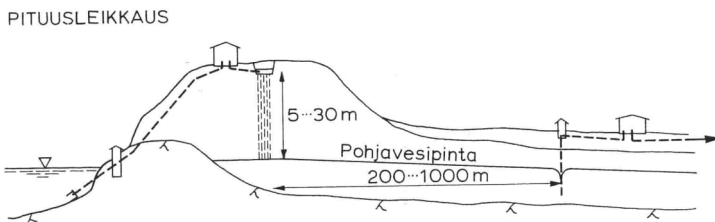
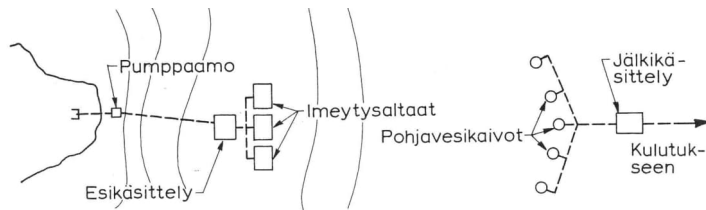
Jälleenimeytys käsittää yleensä raakaveden ottokaivon, esikäsittely-yksikön, imeytysaltaan ja puhtasvesikaivon (Kuva 3-5). Esikäsittelyllä pyritään yleensä saamaan raakave-teen happea, tuulettamaan hiilidioksidia pois sekä tarvittaessa vähentämään veden rauta- ja mangaanipitoisuutta imeytysaltaan tukkeutumisen hidastamiseksi. Menetelmä yhdistää hidassuodatuksen ja tekopohjaveden muodostamisen prosesseja. Jälleenimeytyslaitoksia tehtiin Suomessa runsaasti 1970–1980-luvuilla.



Kuva 3-5. Raudan ja mangaanin poisto jälleenimeytysmenetelmällä, periaatekuva (Hatva 1977).

3.7 TEKOPOHJAVEDEN MUODOSTAMINEN

Tekopohjaveden muodostamisella tarkoitetaan pohjavesiesiintymän luonnollisen antoi-suuden lisäämistä imeyttämällä maaperän läpäiseviin kerroksiin pintavettä (Kuva 3-6). Imeyttäminen voidaan tehdä allasimeytyksenä, rantaimetyksenä, sadetusimeytyksenä tai kaivoimeytyksenä.



Kuva 3-6. Tekopohjaveden muodostamisperiaate (RIL 1978).

Pintavettä voidaan syöttää sellaisenaan maaperään, jos sen väriluku on korkeintaan 30–50 mgPt/l ja KMnO_4 -kulutus 30–40 mg/l (RIL 1978). Happipitoisella imeytysvedellä saadaan maaperään siirrettyä happea, joka edesauttaa pohjaveden raudan ja mangaanin pidättymistä maaperää.

3.8 KALKKIKIVIALKALOINTI

Kalkkikivisuodatuksessa päätarkoitus on yleensä pohjaveden alkalointi ja kovuuden nosto. Kalkkikivisuodatuksella voidaan kuitenkin poistaa pieniä määriä pohjaveden rautaa ja mangaania. Kalkkikivisuodatukselle johdettavan veden mangaanipitoisuuden pitäisi olla alle 0,3 mg/l ja rautapitoisuuden maksimissaan yleensä 0,5 – 1,0 mg/l, joissain tapauksissa on jopa 2 mgFe/l (Horgeby 1995). Tällöin suodattimissa on oltava tehokas ilma-vesi huuhtelu. Menetelmällä on saatu hyviä tuloksia, kun kalkkikivisuodatusta edeltää mieto ilmastus. Kalkkikivisuodatuksessa raudan ja mangaanin poistuminen tapahtuu niin kemiallisten, biologisten kuin fysikaalisten prosessien toimesta.

Kalkkikiveä on mahdollista käyttää myös alkaloivana märkäsuodatuksena, eli korvataan perinteisen märkäsuodattimen sepeli/täyteaine kalkkikivirouheella. Tällöin suodattimeen on järjestettävä tehokas ilma/vesi vastavirtahuuhtelu kalkkikiven pinnan passivoitumisen estämiseksi. Alkaloiva märkäsuodatus tehostaa viimeistelysuodatuksen toimintaa, hidasuodatus tai pikasuodatus, ja pienentää sen kuormaa. (Sallanko 2000)

Paineellisten alkaloivien suodattimien käyttö on erityisen edullista pienillä laitoksilla. Tällöin saadaan alkaloinnin yhteydessä myös pienet rauta ja mangaanipitoisuudet poistettua vedestä alkaloinnin yhteydessä. Edellytyksenä pidetään pitoisuuksien olemista alle 0,5 tai 1,0 mg/l (Ala-Peijari 1993).

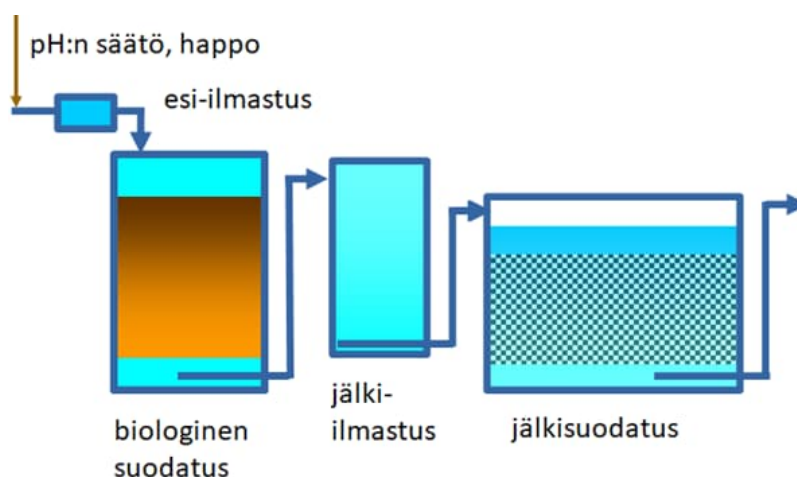
3.9 KAKSIVAIHEINEN KEMIALLINEN SAOSTUS

Mikäli pohjavedessä on runsaasti orgaanista ainetta raudan ja mangaanin lisäksi, veden käsittelyssä on turvaututtava yksivaiheista pintaveden saostamista kalliimpaan kaksivaiheeseen kemialliseen saostukseen. Tällöin perusratkaisu käsittää ensimmäisessä vai-

heessa ilmastuksen jälkeen humuksen kemiallisen saostuksen matalassa pH:ssa ja toisessa vaiheessa raudan saostuksen korkeammassa pH:ssa. Saostuskemikaalina esim. polyalumiinkloridi. Lisäksi viimeistelysuodatuksessa on saatava mangaani pois, joko biologisesti tai kemiallisesti.

3.10 ALLBIRON®-PROSESSI

Allwatec Oy:n Allbiron prosessi on lisäosineen kolmivaiheinen suodatusprosessi, jossa käytetään kemikaaleja vain pH:n säätöön (Kuva 3-7). Prosessi toimii tehokkaasti myös orgaanista ainetta sisältäville pohjavesille, KMnO_4 -luku saa olla jopa 28 – 36 mg/l. Poikkeuksellisesti ennen prosessin ensimmäistä suodatusta veden pH:ta lasketaan alueelle 4,5 - 5,5, jolloin ensimmäisessä suodatuksessa saostuva rauta kersaostaa myös runsaasti orgaanista ainetta. Ennen toista suodatusta, kalkkikivisuodatus, on jälki-ilmastus. Kalkkikivisuodatuksessa poistuu Mn ja veden pH ja kovuus nousevat. Jälkisuodatus viimeistelee myös veden laatua Fe:n ja orgaanisen aineen suhteen. Prosessi on erittäin kilpailukykyinen, varsinkin humuspitoisilla rautaa ja mangaania sisältävillä vesillä, joiden käsittelyssä tarvittaisi 2-vaiheinen kemiallinen saostus. Prosessissa muodostunut sakka on hyvin tiivistä, jolloin voidaan päästä jopa alle 2 %:n hukkavesimääriin; suodattimien huuhteluvälillä raudanpoisto voi olla jopa 10 kgFe/m^2 . Prosessia on pilotoitu useille laitoille ja täysimittakaavainen sovellus on toiminut Kovjoki Vatten AB:lla n. 2 v.



Kuva 3-7. Allbiron prosessi (Allwatec Oy).

3.11 MUUT MENETELMÄT

Seuraavassa on käytyläpi muita raudan ja mangaanin poistomenetelmiä. Esitetyt menetelmät ovat edellä mainittuja vähempi käytettyjä, eivätkä aina vaadi raudan ja mangaanin hapettamista.

Kalvosuodatus

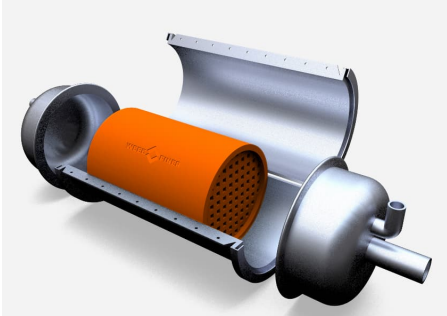
Kalvosuodatuksen hinta on laskenut vuosien saatossa, mutta vieläkin se on erityiskohdeiden menetelmä, esim. jos vedessä on myös poistettavaa kloridia, humusta tai ammoniumia. Menetelminä käytetään yleensä käänteisosmoosia tai nanosuodatusta. Kalvosuodatus vaatii yleensä veden esikäsittelyn ja myös jälkikäsittelyn, remineralisaation, koska se poistaa vedestä lähes kaikki suolat

Ioninvaihto

Ioninvaihtosuodattimia käytetään laajasti ultrapuhdastaan veden valmistukseen. Niitä voidaan käyttää myös pohjaveden radan ja mangaanin poistoon. Niiden käyttö ioninvaihtohartsin regenerointisykleineen rajoittuu kuitenkin erityistapauksiin.

Weefiner

Weefinerin 4D sieppari perustuu 3D-tulostimella tehtyyn adsorboivaan ja regeneroitavaan suodattimeen (Kuva 3-8). Se on alun perin tehty teollisuuden ainevirtojen hallintaan ja arvometallien talteenottoon. Suodatin on erittäin kompakti ratkaisu, jossa adsorptiomateriaali ja regenerointimenetelmä tehdään tapauskohtaisesti. Menetelmä on erityisen soveltuva pienten metallimäärien poistoon vedestä, kuten mangaanin poistoon pohjavedestä, mihin menetelmällä onkin jo tehty alustavia kokeita hyvin tuloksin.



Kuva 3-8. Weefiner-suodatin (Weefiner).

4 MEKAANINEN JA KEMIALLINEN KAIVON PUHDISTAMINEN

Liuenneen raudan ja mangaanin saostuessa kaivorakenteisiin ja kaivon ulkopuoliseen maaperään, aikaisemmin hyvätuottoisena pidetyn vedenottokaivon tuotto laskee asteittain, lähes huomaamatta. Vastaavasti imeytyskaivoissa imeytettävän veden määrää joudutaan vähentämään tai imeytys keskeyttämään, kun veden pinta kaivossa nousee liian korkealle.

Kaivojen tukkeutumisongelma ja siihen liittyvä tuoton hiipuminen on yleinen ongelma suurella osalla Suomen vesilaitoksia. Eräs merkittävä kuluerä kaivojen etenevässä tukkeutumisessa on kaivopumpun sähköenergian kulutuksen kasvu. Sähköenergian kulutus kasvaa, kun saman vesimäärän tuottaminen aiheuttaa tukkeutuvassa kaivossa suuren aleneman (nostokorkeuden kasvun). Liuenneen raudan ja mangaanin saostuessa kaivorakenteisiin ja kaivon ulkopuoliseen maaperään laskee aikaisemmin hyvätuottoisen kaivon tuotto asteittain, lähes huomaamatta. Kun elvytystoimet eivät enää tehoa riittävästi, joudutaan harkitsemaan uusien kaivojen rakentamista - jotka nekin tukkeutuvat vuosien kuluessa. Uuden vedenottokaivon rakentamiskustannukset voivat olla korkeat ja uusien kaivojen käyttöönottoon saatetaan tarvita myös vesiluvan muutoshakemus, mikäli vedenottolupa on myönnetty kaivokohtaisena.

Vedenottokaivoja voidaan puhdistaa eri menetelmin, yleisimmin Suomessa käytössä olevat menetelmät ovat kaivoelvytyksen mekaaninen puhdistaminen kiertovirtausmenetelmällä, harjaus, painesuihkuhuuhtelu, huuhtelupumppaus, paineilmahuuhtelu ja takaisinvirtauspumppaus. Kemiallisista menetelmistä käytössä on kemiallinen kaivoelvytys pH-neutraalilla suolapohjaisella elvytysaineella tai kemiallinen puhdistus erilaisilla happoilla. Paras tulos saavutetaan useimmiten suorittamalla sekä mekaaninen että kemiallinen puhdistus. Mekaanisella puhdistuksella päästään vaikuttamaan parhaiten kaivon sisäosaan ja siivilärakoihin, kun taas kemiallisella puhdistuksella vaikutus saadaan ulottumaan kaivoa ympäröivään maaperään. Kemiallisissa menetelmissä on tärkeää elvytyksen jälkeen huuhtelupumpata kaivoa riittävän pitkään ja varmistaa kaivoveden laatu niin pH-neutraalilla elvytyksellä kuin happokäsittelyllä toteutettuna. Lisäksi kemiallisia menetelmiä käytettäessä tulisi puhdistettavaa kaivoa lähinnä olevat muut kaivot ottaa myös pois käytöstä puhdistuksen ajaksi, jottei kemiallisessa puhdistuksessa käytettävät hapot tai pH-neutraali elvytysaine päädy muihin vedenottamon kaivoihin.

5 TYÖPAJAN TULOKSET

Hankkeen yhteydessä pidettiin työpaja, johon osallistuivat hankkeessa mukana olevien vesilaitosten edustajat. Työpajassa käytiin läpi kaikki raudan ja mangaanin poistoon liittyvät raakaveden hapetusmenetelmät ja aiheiden yhteydessä keskusteltiin myös vesilaitosten omista kokemuksista poistotekniikoiden suhteen. Seuraavassa on esitelty työpajassa kerättyjä tietoja aihealueittain sekä menetelmien hyötyjä ja haasteita.

5.1 BIOLOGINEN SUODATUS

Kokemuksia biologisesta suodatuksesta

Työpajakokemusten mukaan yhdessä biologisen suodatuksen kohteessa menetelmä on ollut käytössä 20 vuotta hyvillä käyttökokeuksilla, eikä menetelmässä ole ollut ongelmia. Myös 10 vuotta käytössä olleessa kohteessa biologinen suodatus toimii hyvin, eikä siinä ole ollut merkittäviä ongelmia. Massojenvaihdon yhteydessä tulee arvioida erityisesti mangaanin osalta, tarvitaanko ympäriä, eli vanhasta massasta talteen otettua massaa. Kokemusten mukaan ympin lisäys nopeuttaa käynnistymistä huomattavasti: uusilla massoilla käynnistyminen on kestänyt 3–4 kk ja ympin avulla prosessi on käynnistynyt 1,5 kuukaudessa. Kohteissa ympäriä on lisätty noin 10 % kokonaismäärästä ja sitä on lisätty kerroksittain, jotta se sekoittuu tehokkaasti uuden massan joukkoon. Raudan suodatus lähtee kokemusten mukaan toimimaan mangaanin poistoa nopeammin. Kokemusten mukaan rauta kiinnittyy tiukasti suodattimeen ja huuhtelussa rauta poistuu pintakerroksesta, mutta ei pohjalta. Raudan osalta huuhtelu ei välttämättä riitä ja suodattimihiekkoja pitää vaihtaa useammin. Laitoksilla on testattu erilaisia suodattimia (avo- ja säiliömallit) sekä suodattimien huuhtelutapoja ja nopeuksia, joillakin laitoksilla suodattimien huuhtelu 1krt/vk on riittänyt. Hiekkoja on vaihdettu menetelmässä noin 10 vuoden käytön jälkeen. Yhdessä kohteessa pohjaveden rautapitoisuus on kasvanut huomattavasti laitoksen käyttöönoton jälkeen, mutta biologisen suodatuksen avulla talousveden laatu on pysynyt hyvänä.

Biologisen suodatuksen hyötyjä

Työpajassa todettiin biologisen suodatuksen hyötyinä toimintavarmuus, vakaa toiminta, luotettavuus, kemikaalittomuus, vähäinen hukkavesiprosentti sekä edulliset ylläpitokustannukset. Myös helppo käytettävyys mainittiin automaation huolehtiessa toimivuudesta. Myös huuhteluvälit mainittiin pitkiksi riippuen laitoksesta ja huuhteluvälit ovat kokemusten mukaan pidempiä kuin kemiallisen sakan suodatuksessa. Kaiken kaikkiaan biologinen suodatus koettiin menetelmänä helpoksi ja hyväksi ratkaisuksi, jossa puhdistustulos on hyvä.

Biologisen suodatuksen haasteita

Haasteina biologisessa suodatuksessa koettiin suuret kustannukset rakennusvaiheessa sekä biologisen prosessin käynnistymisen hitaus uuden laitoksen käyttöönoton yhteydessä ja suodatusmassojen vaihdon yhteydessä (mangaanin suodatuksen käynnistymisen voi kestää kylmään aikaan jopa 4 kk). Menetelmässä suodattimen huuhteluvesien johtaminen pintavesistöön voi vaatia ELY-keskuksen luvan ja pintaveden tarkkailuvoitteen. Biologisen suodatuksen haasteena on laitoksen radonpitoisuuden hallinta,

minkä vuoksi radonpitoisuutta tulee tarkkailla ja suodattimille tulee rakentaa osastointi ja alipaineistus. Haasteina mainittiin myös veden happipitoisuuden muutokset ja pitoisuuksien pitäminen tasaisena. Suodatinmassojen hinnat koettiin myös korkeiksi.

5.2 MAAPERÄHAPETUS

Kokemuksia maaperähapetuksesta

Menetelmän käyttöönoton yhteydessä useassa kohteessa on rakennettu uusia kaivoja. Lisäksi mainittiin, että joissain kohteissa kaikki menetelmän vaatimat järjestelyt saatiin tehtyä omana työnä lukuun ottamatta uuden kaivon rakentamista. Menetelmästä on saatu hyviä käyttökokemuksia ja menetelmää on testattu eri tuotantomäärillä. Yhdessä kohteessa on seurattu myös vaikutuksia läheisiin yksityiskaivoihin, vaikutuksia ei ole todettu. Useassa kohteessa testiajoissa putkitukset on tehty pintavetoina.

Maaperähapetuksen hyödyt

Työpajaan osallistuneiden mukaan maaperähapetus on helppokäyttöinen ja luotettava menetelmä, joka toimii sekä raudan että mangaanin poistamiseen. Menetelmän kemikaalittomuus ja helppo huollettavuus nousivat myös menetelmän hyötyinä. Menetelmän kustannustehokkuus laitospäivittelyyn verrattuna otettiin myös esille. Menetelmän käyttöönotto ei vaadi yleensä lupamenettelyä. Menetelmä toimii myös osana laitospäivittelyä ja voi olla osa laitoslaajennusta. Paikasta riippuen, menetelmän vaikutusalue voi olla varsin laaja.

Maaperähapetuksen haasteet

Maaperähapetuksen haasteina mainittiin maaperän ja kaivon tukkeutuminen osassa kohteista. Menetelmä vaatii lisäksi teknisiä muutoksia vanhaan järjestelmään sekä tilaa teknisille muutoksille. Lisäksi menetelmä voi vaatia tilaa uusille kaivoille. Haasteina mainittiin myös se, että menetelmä vaatii joissain tapauksissa aikansa käynnistykseen.

5.3 VYR-HAPETUS

Kokemuksia VYR-hapetuksesta

Työpajassa esittelyjen kokemusten mukaan VYR-hapetus on toiminut yhdessä kohteessa hyvin 1990-luvulta alkaen. Kohteeseen on kuitenkin myöhemmin rakennettu yksi kaivo huonotuottoisen kaivon korvaajaksi. Menetelmä toimii myös matalissa kaivoissa, joissa pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa. VYR-hapetuksen toteutuksessa on useita eri vaihtoehtoja ja menetelmään siirtyessä kaivojen roolitukseen voi tulla muutoksia. Ilmastuksen avulla veden pH on noussut joissain tapauksissa n. yhden yksikön. Lisäksi mainittiin, että kun veden kulutus on suurta, raudan ja mangaanin kanssa voi tulla ongelmia.

VYR-hapetuksen hyödyt

Työpajassa VYR-hapetuksen hyötyinä todettiin helppohoitoisuus, hyvä raudan ja mangaanin poistokyky, menetelmän pitkäikäisyys, huollon vähäinen tarve sekä kemikaalittomuus. Kokemusten mukaan VYR-hapetuksen rakentaminen on edullinen investointi ja myös menetelmän käyttökustannukset ovat edulliset.

VYR-hapetuksen haasteet

Työpajassa esille tulleiden kokemusten mukaan VYR-hapetuksessa voidaan joutua käyttämään 1,5-kertainen määrä vettä itse prosessiin. Lisäksi, jos yksi kaivo on huollossa, koko prosessi keskeytyy. Tämän takia menetelmä vaatii varavesilähteen/varavesikaivoja katkosten ajaksi, koska muuten veden laatu huononee, jos hapetus pysähtyy. Kokemusten mukaan menetelmä ei ole kopioitavissa toiselle laitokselle ja menetelmässä ei ole tarpeeksi säätömahdollisuuksia. Lisäksi menetelmä vaatii laajan tilan vedenottamalla. Pohjavedenpinnan korkeuden muutokset aiheuttavat myös ajoittain ongelmia, jos pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa. Maaperän ja kaivojen tukkeutuminen mainittiin myös menetelmän haasteina.

5.4 KEMIALLINEN KÄSITTELY

Kokemuksia kemiallisesta käsittelystä

Työpajassa kerättyjen kokemusten mukaan menetelmä on biologiseen suodattukseen verrattuna kemikaaliriippuvainen. Menetelmässä joudutaan käsittelemään kemikaaleja käsin ja kemikaalien syöttö koettiin tarkkuutta ja ammattitaitoa vaativaksi. Lisäksi mainittiin lipeän ylisyyttövaara. Kokemusten mukaan myös kaliumpermanganaatin laatu vaihtelee; sisältää paakkuja, aine ei sekoitu kunnolla ja osa painuu pohjalle. Myös kemikaalina käytettävän alumiinin joukossa on ajoittain puupellettiä mukana, jolloin saostus ei toimi.

Pohjaveden rauta- ja mangaanipitoisuudet vaihtelevat, jolloin kemiallisen käsittelyn toteutus riippuu pohjaveden laadusta. Yhden kaivon ollessa pois käytöstä voi pohjaveden laatu muuttua merkittävästi. Lisäksi osassa kohteista myös järviveden laatu rantaimetyymisen kautta vaikuttaa käsittelytarpeeseen. Myös erilaiset toimituskatkokokset vaikuttavat puhdistustulokseen. Kemikaalien saatavuuteen vaikuttaa myös maailmantilanne.

Kemiallisen käsittelyn hyötyjä

Työpajaan osallistuneiden mukaan kemiallinen menetelmä on toimiva, mutta vaativa tapa poistaa pohjavedestä rautaa ja mangaania. Tietyissä kohteissa menetelmä koettiin helposti ohjattavaksi prosessiksi. Menetelmä soveltuu hankalaksi koetuille vesille.

Kemiallisen käsittelyn haasteita

Kemiallisen menetelmän investointi- ja käyttökustannukset ovat kokemusten mukaan korkeat ja menetelmä vaatii asianmukaisia tiloja. Lisäksi kemiallisen menetelmän käyttö vaatii osaamista ja myös varalla tulee olla ammattitaitoisia henkilöitä. Kokemusten mukaan menetelmässä on jossain kohteissa paljon huollettavaa. Kokemusten mukaan orgaaninen aines voi vaikeuttaa mangaanin poistoa. Ilmastushuoneita on pestävä säännöllisesti ja selkeytysaltaita huuhdeltava säännöllisesti. Kemikaalimitaus on myös oltava kunnossa. Lisäksi on tarkistettava kemikaalin syötön toimivuus ja oikea annostus. Kemikaalin saatavuudessa voi esiintyä myös ongelmia. Menetelmän käytössä on otettava huomioon myös useita työturvallisuuteen liittyviä kohtia.

5.5 ALLBIRON®-MENETELMÄ

Kokemuksia Allbiron-menetelmästä

Työpajakokemusten mukaan menetelmä vaatii paljon tutkimusta ja testausta (noin 1,5 vuotta), joihin kuuluvat mm. kuormitustestit ja kemikaalimäärien testaus. Huolellinen pilotointi on hyödyllistä laitossuunnittelun kannalta ja piloteista on hyviä kokemuksia. Menetelmän pilotointivaiheesta on kokemusten mukaan kuitenkin korkeat kustannukset. Menetelmässä lasketaan veden pH:ta, jotta rauta ei hapetu kemiallisesti. Menetelmä on erityisen toimiva ja tehokas niissä kohteissa, jossa pohjaveden rautapitoisuus on korkea. Menetelmä vaatii hapettomat olosuhteet. Hapettoman pohjaveden käyttöönotto voi olla taloudellisempaa kuin puolihyvän veden käyttöönotto. Menetelmässä käytetään alkuhappoa, jonka syötöstä on mahdollista päästä kokonaan eroon.

Allbiron-menetelmän hyötyjä

Työpajakokemusten mukaan Allbiron-menetelmä on toimiva menetelmä hapettomille vesille. Menetelmän avulla rauta, mangaani sekä orgaaninen aines saadaan pois vedestä hyvin. Menetelmän lisäksi ei tarvita erillistä humuksen poistoa. Kemialliseen käsittelyyn verrattuna työturvallisuus paranee, käyttökustannukset pienenevät ja kemikaalisyötöt ja huuhteluvesien määrät pienenevät huomattavasti. Menetelmä voi myös mahdollistaa vanhojen vedenottokohteiden uudelleen käyttöönoton, esimerkiksi täysin hapettomat kohteet, jotka ovat aikanaan todettu mahdottomiksi toteuttaa. Perinteisesti heikkolaatuisena pidettyjen vesien käsittely voidaan mahdollisuuksien mukaan muuttaa taloudellisesti kannattavaksi. Lisäksi vedenottolupien saannin vaikeutuessa voi olla kannattavampaa kunnostaa vanha vedenotto kuin perustaa uusi.

Allbiron-menetelmän haasteita

Menetelmän käyttöönotto ja operointi vaatii sitoutumista, panostusta ja asiantuntemusta. Menetelmän soveltuvuus on melko rajallinen, sillä vaatii hapettoman veden. Hapekkaan ja hapettoman veden sekoittumisesta seuraa ongelmia, ja tämän vuoksi selvittettävä tulee ottamolle sekä hapetonta että hapekasta vettä. Jos prosessiin tulee hapekasta vettä, prosessi ei toimi kunnolla. Tämän vuoksi hapekkaalle vedelle tulee tehdä oma käsittely. Menetelmään siirtyminen toisesta menetelmästä voi vaikuttaa verkoston pesäkelukumäärään tai sakan irtoamiseen. Menetelmä vaatii viemäroinnin ja huuhteluvesien muodostuminen tulee ottaa myös huomioon. Kokemusten mukaan mangaanin poiston käynnistyminen on kestänyt noin 2 kk ja raudan osalta 2 vk. Hapon käsittelyssä on otettava huomioon työturvallisuuteen liittyvät asiat.

5.6 ESIMERKKIKOhteiden VEDENLAATUTIEDOT JA PROSESSIKUVAUS/MENETELMÄ

Seuraavaan on koottu esimerkkilaitosten käyttämät raakaveden käsittelymenetelmät, vedenlaadun tiedot ennen ja jälkeen veden käsittelyn, sekä todettu mitä haasteita ja etuja

veden käsittelyyn liittyy. Tiedot on koottu myös liitteeseen 2. Taulukko 5-1 on koottu laitosten tulevan raakaveden laatuparametrien vaihteluvälit ja Taulukko 5-2 vastaavat vaihteluvälit käsittelyn jälkeen.

Taulukko 5-1. Tuleva raakavesi, laatuparametrien vaihteluvälit

	Vedenot- tomäärä m ³ /d	Rauta µg/l	Mangaani µg/l	TOC mg/l	Happi mg/l	pH
vaihteluväli	6–12 600	<10–18 000	0,57–860	0,5–4,4	0–13,3	6,3–7,7

Taulukko 5-2. Laatuparametrien vaihteluvälit raudan ja mangaanin poiston jälkeen

	Rauta µg/l	Mangaani µg/l	TOC mg/l	Happi mg/l	pH
vaihteluväli	0,03–270	0–11	0,5–4	5,1–13,4	4,7–8,2

Laitos 1.

Laitoksen 1 vedenottomäärä on vuorokausikeskiarvona laskettuna n. 2 120 m³/d. Laitoksen raakavesi käsitellään hapetuksen lisäksi natriumhypokloriitilla sekä sooda-alkaloineilla.

Vesilaitokselle tulevan raakaveden keskimääräinen kokonaisrautapitoisuus oli v. 2022 n. 10,6 µg/l ja kokonaismangaanipitoisuus n. 13,7 µg/l. Käsittelyn veden rautapitoisuus oli alle laboratorion määrittämissä (<10 µg/l) ja mangaanipitoisuus oli n. 1,6 µg/l. Raakaveden keskimääräinen happipitoisuus oli ennen käsittelyä n. 9,7 mg/l ja käsittelyn jälkeen n. 10,9 mg/l, ja pH ennen käsittelyä n. 6,6 ja käsittelyn jälkeen 7,9.

Laitoksella on käytössä maaperähapetus kaivojen kautta. Prosessin yhteydessä tunnistettu haaste on maaperän "tukkeutuminen" raakavesikaivojen ympärillä. Tukkeutuminen vaatii muutoksia laitoksella, jos rakennetaan vanhaan järjestelmään. Haasteena tunnistettiin myös se, että prosessi vaatii kolme raakavesikaivoa.

Prosessin etuina todettiin halvat ylläpitokustannukset ja helppokäyttöisyys, luotettavuus sekä se, että prosessi ei vaadi kemikaaleja.

Laitos 2.

Laitoksen 2 vedenottomäärä on vuorokausikeskiarvona laskettuna n. 3 350 m³/d. Laitoksen raakaveden käsittelymenetelminä ovat suodatus (hiekkä ja antrasiitti), hapetus ilmastuksella, natriumhypokloriitin annostelu sekä alkalointi.

Vesilaitokselle tulevan raakaveden kokonaisrautapitoisuus oli v. 2022 keskimäärin n. 305 µg/l ja kokonaismangaanipitoisuus n. 113 µg/l. Käsittelyn veden keskimääräinen rautapitoisuus oli 12 µg/l ja mangaanipitoisuus alle laboratorion määrittämissä (<1 µg/l). Raakaveden keskimääräinen happipitoisuus oli ennen käsittelyä n. 2,8 mg/l ja käsittelyn jälkeen n. 8 mg/l, ja pH oli ennen käsittelyä n. 6,4 ja käsittelyn jälkeen 8,1.

Laitoksella on käytössä pienimuotoinen maaperähapetus ilmastuksella. Prosessin yhteydessä tunnistettu haaste on epäselvyys suodatusmateriaalien käyttöistä. Tois- tai kolmas antrasiittia on kerran lisätty prosessiin (käyttöikä nyt 10 v). Haasteina tunnistettiin myös suodattimien huuhteluviesien johtaminen, raakavesikaivojen siivilöiden huolto, isot kustannukset rakennusvaiheessa sekä tilan tarve.

Prosessin etuina todettiin, että se on toimiessaan luotettava eikä kemikaaleja tarvita.

Laitos 3.

Laitoksen 3 vedenottomäärä on vuorokausikeskiarvona laskettuna n. 6 540 m³/d. Laitoksen raakaveden käsittelymenetelminä ovat ilmastus, kalkin syöttö, hämmennys, selkeytys, pH:n säätö ja hiekkasuodatus sekä desinfiointi. Laitoksen raakavesi pumpataan il-

mastushuoneisiin, joissa vesi hapettuu, hiilidioksidi poistuu ja rauta alkaa osittain saostumaan. Pääosa raudasta ja mangaanista poistetaan selkeytysaltaissa pH:ssa 9,5. Selkeytysaltaista vesi johdetaan hiekkasuodattimiin, joihin jää kaikki selkeytysaltaista karkaava rauta ja mangaani.

Vesilaitokselle tulevan raakaveden kokonaisrautapitoisuus oli v. 2023 (välillä tammi-syyskuu) keskimäärin n. 14 200 µg/l ja kokonaismangaanipitoisuus n. 800 µg/l. Käsitellyn veden keskimääräinen rautapitoisuus oli n. 17 µg/l ja mangaanipitoisuus n. 1,7 µg/l. Raakavesi oli ennen käsittelyä hapetonta ja käsittelyn jälkeen happipitoisuus oli n. 11 mg/l, ja pH oli ennen käsittelyä n. 6,7 ja käsittelyn jälkeen 8,2.

Prosessin haasteina todettiin seuraavia seikkoja:

- kalkin annosteluun ei saa tulla pitempiaikaista häiriötä ja ilmastushuoneita on pestävä määrääjain
- selkeytysaltaiden virtauslamellit sakkaantuvat raudasta ja ne on pestävä määrääjain
- hiekkasuodattimia on huuhdeltava usein, sakkakuorman kesto vain n. 0,2 kg/m²
- hiekkasuodattimille ei saa johtaa suuria määriä klooria
- raudan ja mangaanin poistossa ei ole ollut isompia haasteita vuosien aikana, suurin haaste on ollut ajoittainen huono vedenlaatu, mm. hajusta ja mausta on valitettu, johtuu ilmeisesti humuksesta sekä fosfaatista, Nykyisellä prosessilla ei voida poistaa humukseen sitoutunutta rautaa

Prosessin etuina todettiin, että prosessi on suhteellisen stabiili ja helposti ohjattava.

Laitos 4.

Laitoksen 4 vedenottomäärä on vuorokausikeskiarvona laskettuna n. 1 030 m³/d. Raakavesi käsitellään ns. VYR-menetelmällä, jossa raakavesi otetaan vuorotellen yhdestä ottamon kolmesta raakavesikaivosta kulloinkin noin vuorokauden ajan. Kaivosta otettu ilmastettu vesi johdetaan takaisin maaperään toisen kaivon läheisyyteen. Maaperässä vedessä oleva rauta ja mangaani saostuvat maaperään. Verkostoon lähtevä vesi otetaan kolmannelta kaivosta. Ennen verkostoon johtamista vesi ilmastetaan vielä uudelleen, osa vedestä pehmennetään ioninvaihtimilla kovuuden pienentämiseksi ja lähtevä vesi desinfioidaan UV-valolla mikrobiologisen laadun varmentamiseksi.

Vesilaitokselle tulevan raakaveden kokonaisrautapitoisuus oli v. 2022 keskimäärin n. 4 300 µg/l ja kokonaismangaanipitoisuus n. 530 µg/l. Käsitellyn veden keskimääräinen rautapitoisuus oli n. 10 µg/l ja mangaanipitoisuus n. 4,5 µg/l.

Prosessin haasteina todettiin, että VYR- menetelmässä kaivon huolto-/laiterikko tilanteessa koko prosessin hapetus estyy. Lisäksi haasteena on, että happipitoisuuden säätäminen ei ole mahdollista.

Prosessin etuina todettiin, että se on saostuskemikaaliton ja yksinkertainen puhdistusprosessi.

Laitos 5.

Laitoksen 5 vedenottomäärä on vuorokausikeskiarvona laskettuna n. 10 700 m³/d. Raakavesi käsitellään kaksivaiheisella biologisella pikahiekkasuodatuksella (ilmastus ja suodatus). Ensimmäisessä vaiheessa vedestä poistetaan rautaa ja toisessa vaiheessa mangaania. Rauta- ja mangaanisuodatimet huuhdellaan säännöllisesti. Suodattimien pesuvesi sakkoineen johdetaan vedenottamoalueella sijaitsevaan huuhteluvesialtaaseen, josta vesi edelleen pumpataan DynaSand-hiekkasuodatuslaitteistoon raudan ja mangaanin poistoon. Tämän jälkeen vesi johdetaan toiseen altaaseen, josta se imeytyy maaperään. Myös ensimmäisestä altaasta vettä imeytyy maaperään. Huuhteluvesialtaiden pohjalle muodostuneet rauta- ja mangaanisuoatumat poistetaan ja vastaavamäärä ns. "muuraushiekkää" lisätään vuosittain. Laitoksella ei käytetä kemikaaleja vedenpuhdistuksessa. Raakavesi desinfioidaan UV-käsittelyllä.

Vesilaitokselle tulevan raakaveden kokonaisrautapitoisuus oli v. 2022 keskimäärin n. 1 960 µg/l ja kokonaismangaanipitoisuus n. 520 µg/l. Käsitellyn veden keskimääräinen rauta- ja mangaanipitoisuus oli n. 11 µg/l.

Prosessin haasteina todettiin, että raakaveden rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat kasvaneet laitoksen käynnistämisen jälkeen. Muina haasteina oli rautasuodattimien tukkeutuminen ja läpäisevyyden huonontuminen, sekä rautasakan muodostuminen jo heti suodattimien pinnalle. Ennen rautasuodattimia olevan esi-ilmastuksen happipitoisuuden säätäminen käsin todettiin myös haasteeksi.

Prosessin etuina todettiin, että se on saostuskemikaaliton ja yksinkertainen puhdistusprosessi.

Laitos 6.

Laitoksen 6 vedenottomäärä on vuorokausikeskiarvona laskettuna n. 12 600 m³/d (teko-pohjavesilaitos). Laitoksen raakaveden käsittelymenetelminä ovat ilmastus, suodatus (filtralite-massa), kalkkikivialkalointi ja UV-desinfiointi.

Vesilaitokselle tulevan raakaveden kokonaisrautapitoisuus oli aikavälillä 3/2019-9/2022 keskimäärin n. 275 µg/l (liukoinen Fe 25 µg/l) ja kokonaismangaanipitoisuus n. 62 µg/l (liukoinen Mn 12 µg/l). Käsitellyn veden keskimääräiset kokonaisrauta- ja mangaanipitoisuudet olivat alle laboratorion määrittämissä rajat (Fe <15 µg/l ja Mn <3 µg/l). Raakaveden happipitoisuus oli ennen käsittelyä 5,6 mg/l ja käsittelyn jälkeen n. 6,8 mg/l, ja pH ennen käsittelyä n. 6,7 ja käsittelyn jälkeen 8.

Prosessin haasteina todettiin huuhtelutarpeen tiheys. Muutama kaivo, jossa on paljon rautaa ja mangaania tukkii nopeasti suodattimen.

Laitos 7.

Laitoksen 7 vedenottomäärä on vuorokausikeskiarvona laskettuna n. 8 100 m³/d. Laitoksen raakaveden käsittelymenetelminä ovat kalkkikivialkalointi ja UV-desinfiointi.

Vesilaitokselle tulevan raakaveden kokonaisrautapitoisuus oli aikavälillä 3/2019-9/2023 keskimäärin n. 55 µg/l ja kokonaismangaanipitoisuus n. 12 µg/l. Käsitellyn veden keskimääräiset kokonaisrauta- ja mangaanipitoisuudet olivat alle laboratorion määrittämissä rajat (Fe <15 µg/l ja Mn <3 µg/l). Raakaveden happipitoisuus oli ennen käsittelyä 6,9 mg/l ja käsittelyn jälkeen n. 7,7 mg/l, ja pH oli ennen käsittelyä n. 6,8 ja käsittelyn jälkeen 7,7.

Prosessissa ei tunnistettu haasteita.

Laitos 8.

Laitoksen 8 vedenottomäärä on vuorokausikeskiarvona laskettuna n. 6 m³/d. Laitoksen raakaveden käsittelymenetelminä ovat kevyt ilmastus, hiekkasuodatus, ilmastus ja kalkkikivisuodatus.

Vesilaitokselle tulevan raakaveden kokonaisrautapitoisuus oli aikavälillä 5/2020-10/2020 keskimäärin n. 18 µg/l ja kokonaismangaanipitoisuus n. 0,65 µg/l. Käsitellyn veden keskimääräiset rauta- ja mangaanipitoisuudet olivat laskeneet n. 0,05 µg/l. Raakavesi oli ennen käsittelyä lähes hapetonta (0,12 mg/l) ja käsittelyn jälkeen happipitoisuus oli n. 11,4 mg/l. Raakaveden pH oli ennen käsittelyä n. 6,6 ja käsittelyn jälkeen 7,9.

Prosessin haasteina todettiin, että prosessin käynnistyminen vie aikaa. Prosessi on myös herkkä muutoksille, kun alkaliteetti on matala, jolloin pieni muutos hapon syötössä tekee ison muutoksen veden laadussa.

Prosessin etuina todettiin pieni kemikaalin kulutus, yksinkertainen prosessi ja pieni tilantarve.

6 KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET

Monilla suomalaisilla pohjavesilaitoksilla raakaveden laatu ei sellaisenaan täytä talousveden laatutavoitteita raudan ja mangaanin osalta. Vesilaitosyhdistyksen jäsenille lähetettiin hankkeen puitteissa raudan ja mangaanin saostumista ja käsittelyä koskeva (liite 1) kysely maaliskuussa 2024. Kyselyssä pyrittiin selvittämään suomalaisten pohjavesilaitosten raudan ja mangaanin poistamiseen liittyviä prosesseja, niiden toimivuutta, ajotapoja, ilmastusmääriä, kemikalointitarpeita, prosessienergiatarpeita, kemikaalikustannuksia ja mangaanin ja raudan reduktioita. Kyselyyn vastattiin anonyymisti ja siihen vastasi yhteensä 20 vastaajaa.

Kyselyssä oli yhteensä 109 kysymystä, mutta kysymysten määrä väheni kyselyn edessä vastaajan tekemien valintojen mukaan. Kyselyyn vastasi vesilaitoksia eri puolilta Suomea ja vastausten mukaan pohjavedenottoon perustuvien käsittelylaitosten mitoitusvirtaamat olivat keskimäärin 1 650 m³/d ja toteutuneet virtaamat keskimäärin 875 m³/d (Taulukko 6-1).

Taulukko 6-1. Käsittelylaitosten mitoitusvirtaamat ja toteutuneet virtaamat.

	Käsittelylaitoksien mitoitusvirtaama m ³ /d	Käsittelylaitoksien toteutuneet virtaamat m ³ /d
Max	18000	10691
Min	360	150
Med	1650	875
Ave	2965	1743

Vastanneista 85 % arvioi tietävänsä miten rautaa ja mangaania poistetaan pohjavedestä, ja loput kaipasivat lisätietoa aiheesta ja erityisesti uusista menetelmistä. Vastanneista 70 % poistaa pohjavesilaitoksen vedestä rautaa ja 70 % mangaania. Käsittelimättömän raakaveden keskimääräinen rautapitoisuus vaihteli välillä 0,27–10 mg/l ja mangaanipitoisuus välillä 0,07–0,52 mg/l.

Yhteensä 75 % vastaajista ilmoitti, että pohjavesilaitoksen käsittelemättömässä raakavedessä on orgaanista ainesta ja vastaajien pohjavesilaitosten käsittelemättömän raakaveden keskimääräinen humuspitoisuutta indikoiva KMnO₄ -luku oli 1,5–15 mg/l. Raakaveden pH oli vastaajien laitoksilla keskimäärin 6,1–7,6.

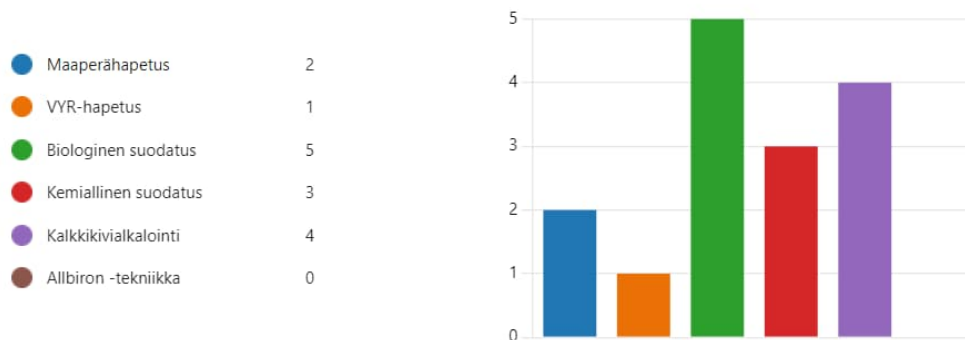
Kyselyyn vastanneista 75 % joutui käsittelemään pohjavesilaitostensa raakavettä raudan ja mangaanin poistamiseksi. Mainittuja käsittelymenetelmiä olivat:

- Kaksivaiheinen biologinen pikahiekkasuodatus, jossa vesi käsitellään ilmastamalla ja suodattamalla. Ensimmäisessä vaiheessa vedestä poistetaan rautaa ja toisessa vaiheessa mangaania.
- Kaksikerrossuodatus n. 10 m/h pintakuormalla ja paksu suodatinkerros, josta puolet antrasiittiä ja puolet kvartsihiekkää. Lisäksi kevennetty VYR-hapetus.
- Ilmastus, kalkkimaidonannostelu, hämmennys, selkeytys, CO₂ annostelu ja hiekkasuodatus.
- Hiilidioksidin poisto, hämmennys, sedimentointi ja hiekkasuodatus.
- pH:n lasku, kevyt ilmastus, hiekkasuodatus (raudan ja humuksen poisto), alkalointi sekä mangaaninpoisto kalkkimurskesuodattimessa.
- Ilmastus, hiekkasuodatus (Natwat biologis-kemiallis-fysikaalinen strippaus-hapetus-suodatusmenetelmä)

Kyselyyn vastanneiden pohjavesilaitoksissa raakavettä käsitellään raudan ja mangaanin poistamiseksi biologisella suodatuksella (33 %), kalkkikivialkaloinnilla (27 %), kemiallisella suodatuksella (20 %), maaperähapetuksella (13 %) sekä VYR-hapetuksella (7 %) (Kuva 6-1).

15. Millä menetelmällä pohjavesilaitoksenne käsittelemätöntä raakavettä käsitellään raudan ja/tai mangaanin poistamiseksi? Mikäli laitoksellanne on useampi käsittelymenetelmä, vastaa kyselyyn uudestaan koskien muita menetelmiä.

[More Details](#)



Kuva 6-1. Raakaveden käsittelymenetelmien jakautuminen vastanneiden laitosten kesken.

Kysely koostui aiheeseen liittyvistä yleisistä kysymyksistä ja sen jälkeen vastaajalla oli mahdollisuus vastata oman pohjavesilaitoksen raudan ja mangaanin poistoon liittyviin vedenkäsittelyä koskeviin kysymyksiin. Seuraavassa yhteenveto vastauksista vedenkäsittelymenetelmittäin.

Maaperähapetus

Vastaajien (2 kpl) mukaan laitoksilla on ollut käytössä maaperähapetus yli 10 vuotta. Menetelmän hyötyinä mainittiin raudanpoiston tehokkuus ja menetelmän edulliset ylläpitokustannukset, luotettavuus sekä kemikaalittomuus. Tulosten mukaan maaperähapetus toimii hyvin 50 %:lla laitoksista ja erityisesti menetelmä toimii mangaanin poistossa (100 %), mutta menetelmän raudan poistokykyyn oli tyytyväisiä 50 %. Vastanneiden laitoksissa maaperähapetuksessa on käytössä 1–3 kaivoa. Menetelmän haasteina mainittiin maaperän tukkeutuminen raakavesikaivojen ympärillä, teknisten muutosten tekeminen vanhalle laitokselle sekä useamman kaivon vaativa menetelmä. Maaperän tukkeutumista on pyritty hoitamaan kaivojen pesujen ja elvytysten avulla.

VYR-hapetus

VYR-hapetukseen vastanneiden (1 kpl) mukaan menetelmä on ollut käytössä 30-40 vuotta, käytössä on kolme kaivoa ja vettä ilmastetaan porrasilmastuksella. Vastausten mukaan menetelmä toimii sekä raudan että mangaanin poistossa.

Biologinen suodatus

Biologinen suodatus toimii kyselyyn vastanneiden (5 kpl) pohjavesilaitoksissa pääsääntöisesti hyvin. Laitoksista yhteensä 20 % on käytössä 1-vaiheinen suodatus ja 80 % on

käytössä 2-vaiheinen suodatus. Biologisen suodatuksen kokonaissuodatuspinta-alat vaihtelivat välillä 9–30 m². Biologisen suodatuksen 1-vaiheen kokonaissuodatuspinta-ala oli 88,5 m² ja 2-vaiheen kokonaissuodatuspinta-ala oli 126 m². Suodatettavan veden happipitoisuudet ja pH:n vaihtelut on esitetty Taulukko 6-2.

Taulukko 6-2. Biologisen suodatuksen pH ja happipitoisuudet menetelmän eri vaiheissa.

Biologinen suodatus, vaihe	mgO ₂ /l (min-max)	pH (min-max)
Suodatettavan veden happipitoisuus	0,6-2	
Suodatettavan veden happipitoisuus, 1-vaihe	0,5-1	
Suodatettavan veden happipitoisuus, 2-vaihe	8-9	
Suodatettavan veden pH		5,8-8,5
Suodatettavan veden pH, 1-vaihe		ei tiedossa
Suodatettavan veden pH, 2-vaihe		7,4

Biologisen suodatuksen prosessisäädöistä mainittiin esi- ja pohjailmastuksen hapen määrän säätäminen ja pitäminen optimina, suodatetun veden johtaminen UV:n läpi ja natriumhypokloriitin ja ammoniumsulfaatin lisäykset (syöttösuhdetta säädettävä), virtaussäätö (pinnanmittaus/paine-eromittaus), pH:n säätö, hiilidioksidien poistosäätö ja automatisoitu suodattimien huuhtelu päivittäin. Biologisen suodatuksen pH:n säätökemikaaleista mainittiin sooda, CO₂ ja rikkihappo (37 %).

Kyselyyn vastanneiden pohjavesilaitoksissa biologisen suodatuksen kunnossapitotöihin kuuluvat suodattimien tukkeutumisen tarkkailu, huuhteluohjelman säätö, hiekan vaihto, antrasiittihiekan lisäys/vaihto, suodatussuutinten vaihto, vastavirtahuuhtelu 1krt/vko / säännöllinen huuhtelu, mekaaninen puhdistus ja kompuroiden huollot. Lisäksi suodatinaltaan ollessa tyhjänä tarkistetaan suodattimen välitila ja suodatinpohjan tiivistysten kunto. Yhden vastauksen mukaan suodatinyksikkö ei tarvitse juuri mitään huoltoa vaan ainoastaan kaivon ja käsittelylaitoksen raakavesiputkia joudutaan aika-ajoin pussuttamaan ja huuhtelemaan.

Kyselytulosten mukaan 40 % pohjavesilaitoksista on tarvinnut vaihtaa biologisen suodatuksen suodatusmassoja. Näistä yhden vastauksen mukaan rautasuodattimien hiekkojen vaihtoväli on 7–8 vuotta, mutta mangaanisuodattimien hiekat ovat olleet käytössä jo 16 vuotta. Toisen vastauksen mukaan suodatusmassojen vaihtoväli on 10–15 vuotta. Vastaaajien pohjavesilaitoksissa suodatusmassana on käytetty hiekka-antrasiittia (60 %), kvartsihiekkää (20 %) ja Filtralite dolomiittirouhetta, singel (20 %).

Biologisen suodatuksen huuhteluvesien määrä (%) suhteessa raakaveden ottoon on ollut tulosten mukaan arviolta 1–30 %. Biologisessa suodatuksessa käytetyksi vaihteluväliksi mainittiin 1–17 vrk. Yhdessä vastauksessa mainittiin, että rautasuodattimien huuhteluväli on 3 vrk ja mangaanisuodattimien 17 vrk. Kaikkien vastanneiden laitoksissa vesi ilmastettiin ennen biologista suodatusta, vettä ilmastetaan pohjailmastuksella tai ilmastusaltaalla (2 kpl), putousilmastimella (2kpl), ilmastuskaapilla (1 kpl) ja suihkuilmastuksella (1 kpl).

Kemiallinen suodatus

Vastausten mukaan kemiallinen suodatus toimii pääsääntöisesti hyvin kaikissa laitoksissa (3 kpl) ja kaikissa laitoksissa oli käytössä 1-vaiheinen suodatus. Kemiallisen suodatuksen kokonaissuodatuspinta-ala oli yhdessä laitoksessa 124 m² ja yhteen laitokseen kuului kolme kpl 12 m² hiekkasuodatinta, joiden edellä on pystyselkeyttimet n. 35 m². Suodatettavan veden happipitoisuudeksi mainittiin 1,5 ja 5 mgO₂/l ja pH vaihteli välillä

6,9-8. Suodatettavan veden pH 1-vaiheen kemiallisessa suodatuksessa oli yhdessä laitoksessa 6,9 ja suodatuksessa käytettävä 1-vaiheen suodattimien vaihteluväli on 1-10 vrk.

Kemiallisen suodatuksen huuhteluvesien määrä (%) suhteessa raakaveden ottoon oli arviolta 4–15 %. Vastausten mukaan kemiallisen suodatuksen prosessisäätöihin kuuluvat pH:n säätö, koagulanttiannostuksen säätö, hapetuskemikaalin annostelu sekä saostuskemikaalin annostelu tarvittaessa. Kaikkien kyselyyn vastanneiden kemiallisessa suodatuksessa käytetään saostuskemikaalia ja kemikaaleina käytetään sammutettu kalkkia ja natriumhydroksidia. Vastausten mukaan kemiallisessa suodatuksessa 67 % käyttää hapetuskemikaalia ja kemikaalina käytetään kaliumpermanganaattia. Lisäksi kemiallisessa suodatuksessa käytetään polyalumiinikloridia ja alumiinihydroksidia. Kunnossapitotöinä kemiallisessa suodatuksessa mainittiin viikoittainen vastavirtahuuhtelu (ilma+ vesi), kemikaalin syöttöpumppujen säätöä ja osien vaihtoa.

Kyselytulosten mukaan 33 % pohjavesilaitoksista on tarvinnut vaihtaa kemiallisen suodatuksen suodatusmassoja, suodatusmassojen vaihtoväliksi kerrottiin 30 vuotta. Vastaajien pohjavesilaitoksissa kemiallisen suodatuksen suodatusmassana on käytetty hiekkaa (67 %) ja hiekka-antrasiittia (33 %). Kyselyyn vastanneiden laitoksista 67 % ilmasti veden ennen suodatusta ja ilmastukseen käytettiin ilmastuskaappia.

Kalkkikivialkalointi

Kyselytulosten mukaan kalkkikivialkalointi toimii vastanneiden (4 kpl) pohjavesilaitoksissa pääsääntöisesti hyvin. Kalkkikivialkaloinnin suodatinmassan kokonaistilavuus vaihteli vastauksissa välillä 30–72 m³. Kalkkikivialkaloinnin kunnossapitotöiksi mainittiin ilma- ja vesihuuhtelut, vastavirtahuuhtelut ja ajoittainen kalkkikiven lisäys. Tulosten mukaan 75 % pohjavesilaitoksista on tarvinnut vaihtaa kalkkikivialkaloinnin suodatusmassoja ja niiden lisäysväliksi on ilmoitettu 60 kk. Kalkkikivialkaloinnissa huuhteluvesien määrä (%) suhteessa raakaveden ottoon on ollut tulosten mukaan arviolta 0,001–2 %. Menetelmässä käytetty huuhteluväli vaihtelee vastausten mukaan välillä 7–365 vrk. Laitoksista 25 % ilmastaa veden ennen suodatusta ja vesi ilmastetaan ilmastuskaappin avulla. Raakaveden happipitoisuus on yhden vastauksen mukaan 2,2 mgO₂/l ja CO₂-pitoisuus 12 mg/l.

Käsitelty vesi

Vastausten mukaan käsitellyn veden pH vaihtelee välillä 6,4–8,4 (ka 7,5). Käsitellyn veden KMnO₄-luku vaihtelee välillä 4–20 mg/l (ka 14 mg/l) ja TOC-arvot vaihtelevat välillä 0,6–1 mg/l. Yhden laitoksen käsittelyn veden COD on keskimäärin 1,1 mg/l. Käsitellyn veden CO₂-pitoisuus vaihteli välillä 0,5–25 ja vapaa hiilidioksidipitoisuus välillä 0,9–3,7 mg/l.

7/20 vastaajaa ilmoitti, että laitoksella ei ole ongelmia korkean rautapitoisuuden vuoksi. Suurimmat haasteet korkeaan rautapitoisuuteen liittyivät putkistojen tukkeutumiseen (6 kpl), suodattimien tukkeutumiseen (6 kpl), kaivojen tukkeutumiseen (4 kpl), raakavesilinjojen tukkeutumiseen (4 kpl), hulevesien määrään (2 kpl), huuhteluvesien johtamiseen (1 kpl) ja riittämättömään raudanpoistokykyyn (1 kpl).

Mangaanin osalta yhteensä 8/20 vastaajasta ilmoitti, että laitoksella ei ole ongelmia korkeaan mangaanipitoisuuteen liittyen. Suurimmat haasteet korkeaan mangaanipitoisuuteen liittyivät kaivojen tukkeutumiseen (4kpl), raakavesilinjojen tukkeutumiseen (4 kpl), putkistojen tukkeutumiseen (4 kpl), suodattimien tukkeutumiseen (4 kpl), huuhteluvesien



Vesihuoltolaitosten
kehittämisrahasto

määrään (2 kpl), riittämättömään mangaaninpoistokykyyn (2 kpl) ja huuhteluvesien johtamiseen (1 kpl).

7 TEKNIKOIDEN VERTAILU

Oheisessa taulukossa (Taulukko 7-1) on vertailtu erilaisia raakaveden hapetukseen liittyviä raudan ja mangaanin poistomenetelmiä ja niiden ominaisuuksia. Kaikki mainitut menetelmät soveltuvat raudan ja mangaanin poistoon, mutta menetelmien välillä on eroa mm. pohjaveden ja maaperän ominaisuuksien kannalta, tilantarpeessa, investointi- ja käyttökustannuksissa sekä kemikaalien käyttötarpeissa. Tiedot perustuvat kirjallisuuteen sekä hankkeen työpajassa ja kyselytutkimuksessa kerättyihin tietoihin.

Taulukko 7-1. Raakaveden hapetukseen liittyvien raudan ja mangaanin poistomenetelmien ja niiden ominaisuuksien vertailu (jatkuu seuraavalla sivulla).

Raudan ja mangaanin poistotekniikoiden vertailu	Biologinen suodatus	Maaperähapetus	VYR-hapetus	Kemiallinen käsittely	Allbiron
Korkea mangaanipitoisuus	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu erittäin hyvin
Matala mangaanipitoisuus	Soveltuu hyvin	Soveltuu erittäin hyvin	Soveltuu erittäin hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuva
Korkea rautapitoisuus	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu erittäin hyvin
Matala rautapitoisuus	Soveltuu hyvin	Soveltuu erittäin hyvin	Soveltuu erittäin hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuva
Humuspitoinen raakavesi	Soveltuu hyvin, varauksin	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu erittäin hyvin, varauksin	Soveltuu erittäin hyvin
Kemikaalien tarve	Kemikaaliton	Kemikaaliton	Kemikaaliton	Useita kemikaaleja	pH:n säätökemikaalit
Prosessienergian tarve	Pieni-keskimääräinen	Pieni	Pieni	Pieni-keskimääräinen	Pieni-keskimääräinen
Ilmastovaiikutukset	Kestävän kehityksen mukainen	Kestävän kehityksen mukainen	Kestävän kehityksen mukainen	Kemikaalien käyttö lisää ilmastovaiikutuksia	Kemikaalien käyttö lisää ilmastovaiikutuksia
Edut	Toimintavarma, luotettava, kemikaaliton, vähäinen hukkavesiprosentti sekä edulliset ylläpitokustannukset. Helppo käytettävyyttä (automaattisointi) ja pitkät huuhteluvälit.	Helppokäyttöinen, luotettava, kemikaalittomuus, helppo huollettava. Kustannustehokas laitostekniikoiden verrattuna ja menetelmän käyttö ei vaadi yleensä lupamenettelyä.	Helppohoitoinen, hyvä raudan ja mangaanin poistokyky, pitkäikäinen, vähäinen huollon tarve sekä kemikaalittomuus. Edulliset investointikulut ja käyttökustannukset.	Toimiva ja joissain kohteissa helposti ohjattava menetelmä poistaa pohjavedestä rautaa ja mangaania. Menetelmä soveltuu hankalaksi koetuille vesille. Erilaisia kemikalointi/proseesivaihtoehtoja.	Toimiva menetelmä hapettomille vesille. Kem. käsittelyyn verrattuna kemikaalisytöt ja huuhteluviesien määrät pienenevät huomattavasti. Menetelmä voi myös mahdollistaa vanhojen vedenottokehteiden uudelleen käyttöönoton. Erittäin kilpailukykyinen 2-vaihe saostusta vaativille org. aineita ja Fe & Mn sisältäville vesille.

Raudan ja mangaanin poistotekniikoiden vertailu	Biologinen suodatus	Maaperähapetus	VYR-hapetus	Kemiallinen käsittely	Allbiron
Haasteet	Biologisen prosessin käynnistymisen hitaus (ympin käyttö voi nopeuttaa). Happipitoisuuden muutokset ja pitoisuuksien pitäminen tasaisena. Ilmastuksessa vapautuva radon, ilmastimen sakan pesu ja mahdollisten selkeytysaltaiden letkutustarve.	Maaperän ja kaivon tukkeutuminen osassa kohteista. Menetelmä vaatii teknisiä muutoksia vanhaan järjestelmään sekä tilaa teknisille muutoksille sekä uusille kaivoille. Ei soveltuva jos pohjavesipinta ylhäällä.	Voidaan joutua käyttämään suuri määrä vettä itse prosessiin. Yhden kaivon huolto voi keskeyttää prosessin (vedenlaatu huononee, jos hapetus pysähtyy). Vaatii laajan tilan vedenottamolla ja säätömahdollisuudet voivat olla vähäiset. Pohjavedenpinnan korkeuden muutokset voi aiheuttaa ongelmia, jos pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa. Maaperän ja kaivojen tukkeutuminen osassa kohteita.	Investointi- ja käyttökustannukset ovat korkeat ja vaatii asianmukaisia tiloja. Käyttö vaatii osaamista ja myös varalla tulee olla ammattitaitoisia henkilöitä. Huollontatarve osassa kohteita suuri. Kemikaalimittaus ja syöttö vaatii huolellisuutta. Kemikaalin saatavuudessa voi esiintyä myös ongelmia. Menetelmän käytössä on otettava huomioon myös useita työturvallisuuteen liittyviä kohtia. Ilmastuksessa vapautuva radon, ilmastimen sakan pesu ja mahdollisten selkeytysaltaiden letkutustarve.	Korkeat pilotointi- ja investointikustannukset. Menetelmän käyttöönotto ja operointi vaatii sitoutumista, panostusta ja asiantuntemusta. Menetelmään siirtyminen toisesta menetelmästä voi vaikuttaa verkoston pesäkelukumäärään tai sakan irtoamiseen. Mangaanin poiston käynnistyminen on kestänyt noin 2kk ja raudan osalta 2vk. Hapon käsittelyssä on otettava huomioon työturvallisuuteen liittyvät asiat. Ilmastuksessa vapautuva radon, ilmastimen sakan pesu.
Rajoitteet	Orgaaninen aines voi vaikeuttaa Fe & Mn mangaanin poistoa. Suodattimien huuhteluvesien hallinta.	Vedenottamon rajallinen tila, maaperän huono vedenjohtavuus.	Vedenottamon rajallinen tila, maaperän huono vedenjohtavuus, huonotuottoiset kaivot sekä varavesilähteen puute.	Orgaaninen aines voi vaikeuttaa Fe & Mn poistoa. Suodattimien huuhteluvesien hallinta. Vaatii ammattitaitoisen henkilöstön.	Ei hapellisille pohjavesille. Suodattimien huuhteluvesien hallinta
Edellytykset toteuttamiselle	Pilotkoeajot voi vaatia jopa 4 kk, jotta Mn-poisto herää.	Vaatii hyvät vedenjohtavuudet vedenottamolla ja pohjaveden pinta ei saa olla lähellä maanpintaa. Vaatii tilaa vedenottamolla.	Vaatii laajan tilan vedenottamolla, varavesilähteen huoltojen varalta, paljon vettä ja hyvät vedenjohtavuudet vedenottamolla.	Ammattitaitoinen henkilöstö ja aikaa menetelmän huoltotoimille.	Vaatii hapettomat pohjavedet. Ammattitaitoinen henkilöstö ja aikaa menetelmän huoltotoimille. Pilotkoajojen vaatima aika.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kyselyn tulosten (20 vastausta) perusteella vastanneiden laitosten käsittelemättömän raakaveden keskimääräinen rautapitoisuus vaihteli välillä 0,27–10 mg/l ja mangaanipitoisuus välillä 0,07–0,52 mg/l. Vastaavasti keskimääräinen humuspitoisuutta indikoiva KMnO_4 -luku oli 1,5–15 mg/l ja pH keskimäärin 6,1–7,6. Kyselyyn vastanneista vesilaitoksista 75 % joutui käsittelemään pohjavesilaitostensa raakavettä raudan ja/tai mangaanin poistamiseksi. Kyselyyn vastanneiden pohjavesilaitoksissa raakavettä käsiteltiin raudan ja mangaanin poistamiseksi biologisella suodatuksella (33 %), kalkkiviialkaloinnilla (27 %), kemiallisella suodatuksella (20 %), maaperähapetuksella (13 %) sekä VYR-hapetuksella (7 %). Laitoksilla suurimmat haasteet raakaveden korkeasta rautapitoisuudesta liittyivät putkistojen tukkeutumiseen, suodattimien tukkeutumiseen, kaivojen tukkeutumiseen, raakavesilinjojen tukkeutumiseen, huuhteluvesien määrään ja johtamiseen sekä riittämättömään raudanpoistokykyyn. Vastaavasti suurimmat haasteet korkeasta mangaanipitoisuudesta liittyivät kaivojen tukkeutumiseen, raakavesilinjojen tukkeutumiseen, putkistojen tukkeutumiseen, suodattimien tukkeutumiseen, huuhteluvesien määrään, riittämättömään mangaaninpoistokykyyn ja huuhteluvesien johtamiseen.

Tulosten perusteella laitosten kyky poistaa raakavedestä rautaa ja mangaania on suhteellinen hyvä, mutta ongelmia esiintyy myös. Riippuen käytetystä menetelmästä, osalla laitoksista poistomenetelmät vaativat paljon ammattitaitoa ja työtä, kun taas osalla toiminta on automatisoitu tehokkaaksi helpottamaan laitosten pyörittämistä.

LÄHTEET

- Ala-Peijari, T. (1994). Raudan ja mangaanin poisto pohjavesilaitoksilla. Vesitalous, nro 4, s. 14-16.
- AWWA. (2015). American Water Works Association, Iron and manganese removal handbook. 207 s.
- Ala-peijari, T. (1993). Raudan ja mangaanin poisto pienillä laitoksilla. Kunnalliselämä, nro 6, s. 10-14.
- Ala-Peijari, T. (1994). Raudan ja mangaanin poisto pohjavesilaitoksilla. Vesitalous nro 4, s. 14-16.
- Begum, B., Cevanna, N. Chandra, P. & Sultana, R. 2018. Assesment of biological iron removal from the ground water. Journal of Plant and Environmental research, 3:12.
- Degremont. (2007). Water treatment handbook vol 1 & 2. Paris, Degremont. 1717 s.
- Friman, T. (2021). Maaperähapetus – ympäristöystävällinen ja edullinen menetelmä kaivoveden laadun parantamiseen. Vesitalous 62: 28–30.
- Geysen, D., Huysman, K. & Joris, K. (2022). Biological-adsorptive iron removal: sustainably producing drinking water from heavily iron-laden groundwater. IW World Water gongres, Copenhagen, Extended abstract.
- Hatva, T. & Efraimsson, J. (1977). Raudan ja mangaanin poisto pohjavedestä jälleeni-meytysmenetelmällä. Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti, tutkimus 37. 104 s.
- Horgeby, G. (1995). Handbook för behandling av sura, järn- och manganhaltiga brunnsvatten. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för vattensörjnings- och avloppsteknik. Raport 1995:3.
- Kaiko. 1988. Vesikirja. 5. painos.
- Mouchet, P. (1991). From conventional to biologocal removal of iron and manganese in France. J. Am. Water Works Association, vol 8, s. 158-167.
- Piispanen, J. & Sallanko, J. (2011). Effect of silica on iron oxidation and flock formation. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 46_10, 1092-1101.
- RIL. 1978. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. vedenpuhdistamoiden suunnitteluohteet. RIL 116. 173 s.
- Rintala J. (2010). Ilmastonmuutos ja pohjaveden hankinta. Suomen ympäristökeskus.
- Saarinen, S. (1981). Jälleeni-metys pohjaveden raudan ja mangaanin poistossa. Vesi-hallituksen monistesarja 1981:63, 87 s.
- Sallanko, J. (2000). Alkaloiva märkäsuodatus rautapitoisten pohjavesien käsittelyssä. Oulun yliopisto, vesi ja ympäristötekniikan laboratorio, julkaisu A17, 68 s.
- Sharma,S. (2021). Adsorptive iron removal from groundwater. CRV Press, 214 s.

Suezdegremont (2023). Suezdegremont water handbook. <https://www.suezwaterhandbook.com/>

Valvira (2020). Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira, Talousvesiasetuksen soveltamisohje, Osa III, Enimmäisarvojen perusteet. 6.10.2020. Dnro V/33102/2020.

<https://valvira.fi/documents/152634019/172742999/Talousvesiasetuksen-soveltamisohje-osa-3.pdf/06944d2b-133f-32a6-b7dc-c4aae3c75dee/Talousvesiasetuksen-soveltamisohje-osa-3.pdf?t=1692701391600>

VAV. (1994). Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen. Driksvattenteknik, Grundvatten. Publikation P71, 174 s.

VAV. 1998. Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen. Dricksvattenteknik – formelsamling och räkneexempel. 68 s.

Vienonen, S., Rintala J., Orvonmaa E. ja Maunula M. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa. Suomen ympäristö 24 | 2012.

LIITTEET

LIITE 1 KYSELYLOMAKE

LIITE 2 ESIMERKKIKOhteiden VEDENLAATUTIEDOT JA PROSESSIKU-
VAUS/MENETELMÄ

Raakaveden hapetus raudan ja mangaanin poistossa

Monilla suomalaisilla pohjavesilaitoksilla raakaveden laatu ei sellaisenaan täytä laatutavoitekriteerejä raudan ja mangaanin osalta. Hankkeen tavoitteena on edistää tietoisuutta eri tekniikoista raudan ja mangaanin poistossa sekä tekniikoiden toimivuudesta erilaisissa olosuhteissa. Tämä kyselylomake on yksi osa hanketta ja kysely lähetetään suomalaisille pohjavesilaitoksille täytettäväksi. Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto rahoittaa hanketta.

Kyselyssä pyritään selvittämään suomalaisten pohjavesilaitosten raudan ja mangaanin poistamiseen liittyviä prosesseja, niiden toimivuutta, ajotapoja, ilmastusmääriä, kemikalointitarpeita, prosessienergiatarpeita, kemikaalikustannuksia ja mangaanin ja raudan reduktioita.

Kyselyyn voi vastata anonymisti ja kyselyn tulokset esitetään hankkeen loppuraportissa yleisellä tasolla siten, ettei yksittäisiä laitoksia tai vastauksia voida tunnistaa. Kyselyssä saatua tietoa käsitellään luottamuksellisesti.

Jos vesilaitoksellanne on käytössä useampi laitos, joissa on vedenkäsittely raudan- tai mangaanin poistamiseksi, vastaa silloin samaan kyselyyn uudestaan. Kyselyyn vastaaminen kestää noin 15 minuuttia. Vastausaikaa on 31.3.2024 asti.

Kyselyyn vastanneiden kesken arvotaan kolme palkintoa. Mikäli haluat osallistua arvontaan, voit jättää yhteystietosi kyselyn lopussa. Yhteystietoja ei tallenneta eikä yhdistetä annettuihin tietoihin.

Kiitos ajastanne ja vastauksistanne!

Mikäli haluatte lisätietoa hankkeesta, vastaamme mielellämme kysymyksiinne.

Timo Friman

Projektipäällikkö, Vesipalvelut
matkapuh. +358 50 405 9521
timo.friman@afry.com

Jarmo Sallanko

Projektipäällikkö, Vesihuoltosuunnittelu
matkapuh. +358 40 556 9331
jarmo.sallanko@afry.com

Maria Nygård-Hämäläinen

Projektipäällikkö, Vesipalvelut
matkapuh. +358 40 063 3918
maria.nygard-hamalainen@afry.com

AFRY

PL 4, 01621 Vantaa
Käyntiosoite: Jaakonkatu 3, 01620 Vantaa
afry.com

* Required

1. Pohjavedenottamon sijainti

- ☐ Ahvenanmaa
- ☐ Etelä-Karjala
- ☐ Etelä-Pohjanmaa
- ☐ Etelä-Savo
- ☐ Kainuu
- ☐ Kanta-Häme
- ☐ Keski-Pohjanmaa
- ☐ Keski-Suomi
- ☐ Kymenlaakso
- ☐ Lappi
- ☐ Pirkanmaa
- ☐ Pohjanmaa
- ☐ Pohjois-Karjala
- ☐ Pohjois-Pohjanmaa
- ☐ Pohjois-Savo
- ☐ Päijät-Häme
- ☐ Satakunta
- ☐ Uusimaa
- ☐ Varsinais-Suomi

2. Vedenkäsittelylaitoksen mitoitusvirtaama (m³/h) *

3. Vedenkäsittelylaitoksen toteutunut keskivirtaama, m³/d *

4. Mille tasolle arvioit oman tietämyksesi raudan ja mangaanin poistotekniikoiden suhteen? *

☐ Tiedän, miten rautaa ja mangaania voi poistaa pohjavedestä.

☐ Haluan lisätietoa raudan ja mangaanin poistamisesta.

5. Jos haluat lisätietoa raudan ja mangaanin poistamisesta, kirjaa tähän mistä erityisesti haluat lisätietoa.

6. Tarvitseeko pohjavesilaitoksenne käsittelemättömästä raakavedestä poistaa rautaa? *

☐ Ei

☐ Kyllä

7. Pohjavesilaitoksenne käsittelemättömän raakaveden keskimääräinen rautapitoisuus arviolta (mg/l)? *

8. Tarvitseeko pohjavesilaitoksenne käsittelemättömästä raakavedestä poistaa mangaania? *

☐ Kyllä

☐ Ei

9. Pohjavesilaitoksenne käsittelemättömän raakaveden keskimääräinen mangaanipitoisuus arviolta (mg/l)? *

10. Onko pohjavesilaitoksenne käsittelemättömässä raakavedessä orgaanista ainesta? *

☐ Kyllä

☐ Ei

11. Pohjavesilaitoksenne käsittelemättömän raakaveden keskimääräinen KMnO_4 -luku arviolta (mg/l)? *

12. Pohjavesilaitoksenne käsittelemättömän raakaveden pH keskimäärin? *

13. Käsitelläänkö pohjavesilaitoksenne käsittelemätöntä raakavettä raudan ja/tai mangaanin poistamiseksi? *

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

14. Mikäli laitoksellanne on käytössä useampi raudan ja/tai mangaanin käsittelymenetelmä, kuvaile tässä lyhyesti menetelmät.

15. Millä menetelmällä pohjavesilaitoksenne käsittelemätöntä raakavettä käsitellään raudan ja/tai mangaanin poistamiseksi? Mikäli laitoksellanne on useampi käsittelymenetelmä, vastaa kyselyyn uudestaan koskien muita menetelmiä. *

- ☐ Maaperähapetus
- ☐ VYR-hapetus
- ☐ Biologinen suodatus
- ☐ Kemiallinen suodatus
- ☐ Kalkkikivialkalointi
- ☐ Allbiron -tekniikka

16. Toimiiko maaperähapetus hyvin? *

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei

17. Kuinka kauan maaperähapetus on ollut toiminnassa? *

- ☐ 0-5 vuotta
- ☐ 5-10 vuotta
- ☐ yli 10 vuotta

18. Kuinka monta kaivoa maaperähapetuksessa on käytössä? *

19. Toimiiko maaperähapetus raudan poistossa? *

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei

20. Toimiiko maaperähapetus mangaanin poistossa? *

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei

21. Onko maaperähapetus -menetelmässä todettu ongelmia, minkälaisia? *

22. Onko maaperähapetus -menetelmään tehty muutoksia, mitä? *

23. Kerro menetelmän hyödyistä. *

24. Kerro menetelmän haitoista. *

25. Toimiiko VYR-hapetus hyvin? *

☐ Kyllä

☐ Ei

26. Kuinka kauan VYR-hapetus on ollut toiminnassa? *

☐ 0-10 vuotta

☐ 10-20 vuotta

☐ 20-30 vuotta

☐ 30-40 vuotta

☐ Yli 40 vuotta

27. Kuinka monta kaivoa VYR-hapetuksessanne on käytössä? *

28. Millä menetelmällä vettä ilmastetaan? *

☐ Ilmastustorni

☐ Pohjailmastus ja/tai ilmastusallas

☐ Putousilmastin

☐ Ilmastuskaappi

☐ Suihkuilmastus

☐ Paineilmastus

29. Toimiiko VYR-hapetus raudan poistossa? *

☐ Kyllä

☐ Ei

30. Toimiiko VYR-hapetus mangaanin poistossa? *

☐ Kyllä

☐ Ei

31. Toimiiko biologinen suodatus pääsääntöisesti hyvin? *

☐ Kyllä

☐ Ei

32. Onko biologisessa suodatuksessa käytössä 1- vai 2-vaiheinen suodatus? *

☐ 1-vaiheinen

☐ 2-vaiheinen

33. Mikä on biologisen suodatuksen kokonaissuodatuspinta-ala (m²)? *

34. Mikä on biologisen suodatuksen 1-vaiheen kokonaissuodatuspinta-ala (m²)? *

35. Mikä on biologisen suodatuksen 2-vaiheen kokonaissuodatuspinta-ala (m²)? *

36. Mikä on suodatettavan veden happipitoisuus biologisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

37. Mikä on suodatettavan veden pH biologisessa suodatuksessa?

38. Mikä on suodatettavan veden happipitoisuus 1-vaiheen biologisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

39. Mikä on suodatettavan veden happipitoisuus 2-vaiheen biologisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

40. Mikä on suodatettavan veden pH 1-vaiheen biologisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

41. Mikä on suodatettavan veden pH 2-vaiheen biologisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

42. Minkälaisia prosessisäätöjä biologisessa suodatuksessa tarvitaan? *

43. Jos biologisessa suodatuksessa käytetään pH:n säätökemikaaleja, mitä kemikaalia käytetään?
Jos kemikaaleja ei käytetä, jätä kohta tyhjäksi.

44. Minkälaista kunnossapitoa biologisessa suodatuksessa tarvitaan? *

45. Onko biologisen suodatuksen suodatusmassoja vaihdettu? *

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

46. Mikä on biologisessa suodatuksessa suodatusmassojen vaihtoväli (vuosina)?

47. Mikä suodatusmassa on käytössä biologisessa suodatuksessa? *

- ☐ Hiekka
- ☐ Antrasiitti
- ☐ Hiekka-antrasiitti
- ☐ Kalkkikivi
- ☐ Other

48. Kuinka suuri on biologisen suodatuksen huuhteluvesimäärä (arvio, % raakaveden otosta)? *

49. Mikä on biologisessa suodatuksessa käyttämänne huuhteluväli (vrk)? *

50. Ilmastetaanko biologisessa suodatuksessa vesi ennen suodatusta? *

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

51. Millä menetelmällä vettä ilmastetaan?

- ☐ Ilmastustorni
- ☐ Pohjailmastus ja/tai ilmastusallas
- ☐ Putousilmastin
- ☐ Ilmastuskaappi
- ☐ Suihkuilmastus
- ☐ Paineilmastus

52. Toimiiko kemiallinen suodatus pääsääntöisesti hyvin? *

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei

53. Onko kemiallisessa suodatuksessa käytössä 1- vai 2-vaiheinen suodatus? *

☐ 1-vaiheinen

☐ 2-vaiheinen

54. Mikä on kemiallisen suodatuksen kokonaissuodatuspinta-ala (m2)?

55. Mikä on kemiallisen suodatuksen 1-vaiheen kokonaissuodatuspinta-ala (m2)?

56. Mikä on kemiallisen suodatuksen 2-vaiheen kokonaissuodatuspinta-ala (m2)? *

57. Mikä on suodatettavan veden happipitoisuus kemiallisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

58. Mikä on kemiallisen suodatuksen ilmastuksessa saavutettu happipitoisuus (mgO₂/l)?

59. Mikä on suodatettavan veden pH kemiallisessa suodatuksessa?

60. Mikä on pH-tavoitteenne kemiallisessa suodatuksessa?

61. Mikä on suodatettavan veden happipitoisuus 1-vaiheen kemiallisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

62. Mikä on suodatettavan veden happipitoisuus 2-vaiheen kemiallisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

63. Mikä on kemiallisen suodatuksen ilmastuksessa saavutettu happipitoisuus (1 suodatusvaihe, mgO₂/l)?

64. Mikä on kemiallisen suodatuksen ilmastuksessa saavutettu happipitoisuus (2 suodatusvaihe, mgO₂/l)?

65. Mikä on suodatettavan veden pH 1-vaiheen kemiallisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

66. Mikä on suodatettavan veden pH 2-vaiheen kemiallisessa suodatuksessa (mgO₂/l)?

67. Mikä on kemiallisessa suodatuksessa käyttämänne suodattimien huuhteluväli (vrk)? *

68. Mikä on kemiallisessa suodatuksessa käyttämänne 1-vaiheen suodattimien huuhteluväli (vrk)? *

69. Mikä on kemiallisessa suodatuksessa käyttämänne 2-vaiheen suodattimien huuhteluväli (vrk)? *

70. Kuinka suuri on kemiallisen suodatuksen huuhteluvesimäärä (arvio, % raakaveden otosta)? *

71. Minkälaisia prosessisäätöjä kemiallisessa suodatuksessa tarvitaan? *

72. Käytetäänkö kemiallisessa prosessissa pH:n säätökemikaalia? *

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

73. Mitä pH:n säätökemikaalia käytätte kemiallisessa prosessissa? *

74. Käytetäänkö kemiallisessa prosessissa hapetuskemikaalia? *

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

75. Mitä hapetuskemikaalia käytätte kemiallisessa prosessissa?

76. Jos käytätte kemiallisessa suodatuksessa vielä jotain muuta kemikaalia, kirjatkaa tähän.

77. Minkälaista kunnossapitoa kemiallisessa suodatuksessa tarvitaan?

78. Onko kemiallisen suodatuksen suodatusmassoja vaihdettu? *

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

79. Kuinka usein kemiallisen suodatuksen suodatusmassoja on vaihdettu (vaihtoväli vuosissa)? *

80. Mikä suodatusmassa on käytössä kemiallisessa suodatuksessa? *

- ☐ Hiekka
- ☐ Antrasiitti
- ☐ Hiekka-antrasiitti
- ☐ Kalkkikivi
- ☐ Other

81. Ilmastetaanko kemiallisessa suodatuksessa vesi ennen suodatusta? *

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

82. Millä menetelmällä vettä ilmastetaan?

- ☐ Ilmastustorni
- ☐ Pohjailmastus ja/tai ilmastusallas
- ☐ Putousilmastin
- ☐ Ilmastuskaappi
- ☐ Suihkuilmastus
- ☐ Paineilmastus

83. Toimiiko kalkkikivialkalointi pääsääntöisesti hyvin?

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

84. Mikä on kalkkikivialkaloinnin suodatinmassan kokonaissuodatustilavuus (m3)?

85. Minkälaista kunnossapitoa kalkkikivialkaloinnissa tarvitaan? *

86. Onko kalkkikivialkaloinnissa käytettäviä suodatusmassoja lisätty? *

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

87. Kuinka usein kalkkikivialkaloinnin suodatusmassoja on lisätty (lisäysväli kk)?

88. Kuinka suuri on kalkkikivialkaloinnin huuhteluvesimäärä (arvio, % raakaveden otosta)? *

89. Mikä on kalkkikivialkaloinnissa käyttämä huuhteluväli (vrk)? *

90. Ilmastetaanko kalkkikivialkaloinnissa vesi ennen suodatusta? *

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä

91. Millä menetelmällä vettä ilmastetaan?

- ☐ Ilmastustorni
- ☐ Pohjailmastus ja/tai ilmastusallas
- ☐ Putousilmastin
- ☐ Ilmastuskaappi
- ☐ Suihkuilmastus
- ☐ Paineilmastus

92. Mikä on suodatettavan veden happipitoisuus kalkkikivisuodatuksessa (mgO₂/l)?

93. Mikä on suodatettavan veden CO₂-pitoisuus kalkkikivisuodatuksessa (mgO₂/l)?

94. Toimiiko Albiron -menetelmän suodatus pääsääntöisesti hyvin?

95. Onko Albiron -menetelmässä käytössä alkalointi?

96. Jos Albiron -menetelmässä on käytössä alkalointi, mitä alkalointia käytetään?

☐ Kalkkikivisuodatus

☐ Lipeä

☐ Other

97. Mitä happoa Albiron -menetelmässä käytetään?

98. Kuinka paljon Albiron -menetelmässä kuluu happoa (g/m³)?

99. Minkälaista kunnossapitoa Albiron -menetelmässä tarvitaan? *

100. Mikä suodatusmassa Albiron -menetelmässä on käytössä? *

☐ Hiekka

☐ Antrasiitti

☐ Hufo tms. täyttekappale

☐ Kalkkikivi

☐ Other

101. Kuinka suuri on Allbiron -menetelmän huuhteluvesimäärä (arvio, % raakaveden otosta)? *

102. Mikä on käsitellyn veden rautapitoisuus keskimäärin (mg/l)?

103. Mikä on käsitellyn veden mangaanipitoisuus keskimäärin (mg/l)?

104. Mikä on käsitellyn veden pH keskimäärin?

105. Mikä on käsitellyn veden KMnO₄-luku keskimäärin?

106. Mikä on käsitellyn veden CO₂-pitoisuus keskimäärin (mg/l)?

107. Mitkä ovat suurimmat haasteet liittyen korkeaan rautapitoisuuteen?

- ☐ Ei ongelmia rautapitoisuuden kanssa
- ☐ Kaivojen tukkeutuminen
- ☐ Raakavesilinjojen tukkeutuminen
- ☐ Putkistojen tukkeutuminen
- ☐ Suodattimien tukkeutuminen
- ☐ Huuhteluvesien johtaminen
- ☐ Huuhteluvesien määrä
- ☐ Prosessi ei poista rautaa riittävällä tasolla
- ☐ Other

108. Mitkä ovat suurimmat haasteet liittyen korkeaan mangaanipitoisuuteen?

- ☐ Ei ongelmia mangaanipitoisuuden kanssa
- ☐ Kaivojen tukkeutuminen
- ☐ Raakavesilinjojen tukkeutuminen
- ☐ Putkistojen tukkeutuminen
- ☐ Suodattimien tukkeutuminen
- ☐ Huuhteluvesien johtaminen
- ☐ Huuhteluvesien määrä
- ☐ Prosessi ei poista mangaania riittävällä tasolla
- ☐ Other

109. Mikäli haluat osallistua arvontaan, jätä yhteystietosi tähän. Yhteystietoja ei tallenneta eikä yhdistetä annettuihin tietoihin.

This content is neither created nor endorsed by Microsoft. The data you submit will be sent to the form owner.

 Microsoft Forms

Liite 2. Laatutulokset laitoksittain

Laitos	1		
Laitostyyppi	pohjavesilaitos		
Raakavedenotto	m ³ /d	2120	lähtevä määrä keskiarvo 2022
	m ³ /h	88	lähtevä määrä keskiarvo 2022

Vesilaitokselle tulevan raakaveden laatu (3 kaivoa)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	10,0	14,0	10,6	1 - 12 / 2022	4
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	1,0	77,0	13,7	1 - 12 / 2022	4
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	0,5	1,4	0,8	1 - 12 / 2022	4
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	5,8	13,3	9,7	1 - 12 / 2022	4
Lämpötila	°C					
pH		6,5	6,9	6,6	1 - 12 / 2022	4
redox-potentiaali	V					

Veden laatu käsittelyn jälkeen (raudan ja mangaanin poiston jälkeen)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	< 10	< 10	< 10	1 - 12 / 2022	4
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	< 1	3,5	1,6	1 - 12 / 2022	4
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	0,5	0,8	0,7	1 - 12 / 2022	4
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	9,1	13,4	10,9	1 - 12 / 2022	4
Lämpötila	°C					
pH		7,6	8	7,9	1 - 12 / 2022	12
redox-potentiaali	V					
kalsium		15	17	16	1 - 12 / 2022	4

Prosessi raudan ja/tai mangaanin poistolle

	Maaperähapetus
Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat raudan poistoon	Ei esiinny raakavedessä
Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat mangaanin poistoon	Maaperän hapetus, kaivojen kautta.
Prosessin haasteet	Maaperän "tukkeutuminen" raakavesikaivojen ympärillä. Vaatii teknillisiä muutoksia laitoksella, jos rakennetaan vanhaan järj. Vaatii vähintään kolme raakavesikaivoa.
Prosessin edut	Halpa ylläpito, helppo käyttää / luotettava. Ei tarvita kemikaaleja.

Laitos		2		
Laitostyyppi		pohjavesilaitos		
Raakavedenotto	m ³ /d	3354	lähtevä määrä	keskiarvo 2022
	m ³ /h	140	lähtevä määrä	keskiarvo 2022

Vesilaitokselle tulevan raakaveden laatu (5 kaivoa)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	18,0	500,0	305,5	1 - 12 / 2022	4
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	47,0	180,0	113,2	1 - 12 / 2022	4
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	1,1	2,0	1,6	1 - 12 / 2022	4
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	0,8	6,5	2,8	1 - 12 / 2022	4
Lämpötila	°C					
pH		6,3	6,7	6,4	1 - 12 / 2022	4
redox-potentiaali	V					

Veden laatu käsittelyn jälkeen (raudan ja mangaanin poiston jälkeen)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	< 10	18	12	1 - 12 / 2022	4
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	< 1	< 1	< 1	1 - 12 / 2022	4
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	1,5	1,9	1,7	1 - 12 / 2022	4
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	7,7	8,3	8	1 - 12 / 2022	4
Lämpötila	°C					
pH		8	8,2	8,1	1 - 12 / 2022	12
redox-potentiaali	V					
kalsium	mg/l	10	12	11	1 - 12 / 2022	4

Prosessi raudan ja/tai mangaanin poistolle

Biologinen suodatus

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat raudan poistoon

Suodatus (hiekkä ja antrasiitti), ilmastus ja pienimuotoinen maaperänhapetus
--

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat mangaanin poistoon

Suodatus (hiekkä ja antrasiitti), ilmastus ja pienimuotoinen maaperänhapetus
--

Prosessin haasteet

Suodatuksen toimivuus -> suodatinmateriaalien vaihto (mikä on käyttöikä?). Nyt lisätty kerran antrasiittia. Käyttöikä nyt n. 10 vuotta. Suodattimen huuhteluvesien johtaminen. Raakavesikaivojen siivöiden huolto. Isot kustannukset rakennusvaiheessa ja tilan tarve

Prosessin edut

Toimiessaan luotettava. Ei tarvita kemikaaleja.

Laitos		3
Laitostyyppi		<i>pohjavesilaitos</i>
Raakavedenotto	m ³ /d	6540
	m ³ /h	272

Vesilaitokselle tulevan raakaveden laatu

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	13000	18000	14222	01/2023 - 09/2023	9
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	740	860	806	01/2023 - 09/2023	6
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	2,3	4,2	3	10/2015 - 10/2022	8
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	hapeton	hapeton	hapeton		
Lämpötila	°C	5,4	5,9	5,7	01/2023 - 09/2023	9
pH		6,6	6,7	6,65	01/2023 - 09/2023	9
redox-potentiaali	V					

Veden laatu käsittelyn jälkeen (raudan ja mangaanin poiston jälkeen)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	8,7	23	17,4	01/2023 - 09/2023	11
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	1	3,3	1,7	01/2023 - 09/2023	5
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	2,9	4	3,4	10/2015 - 10/2022	7
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	10	12	11	01/2023 - 09/2023	4
Lämpötila	°C	5,9	6,8	6,4	01/2023 - 09/2023	11
pH		8	8,2	8,15	01/2023 - 09/2023	11
redox-potentiaali	V					

Prosessi raudan ja/tai mangaanin poistolle

Raakavesi pumpataan ilmastushuoneisiin joissa vesi hapettuu sekä hiilidioksidi poistuu ja rauta alkaa osittain saostumaan. Pääosa raudasta ja mangaanista poistetaan selkeytysaltaissa pH:ssa 9,5. Selkeytysaltaista vesi johdetaan hiekkasuodattimiin, johon jää kaikki selkeytysaltaista karkaava rauta ja mangaani.

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat raudan poistoon

Selkeytysaltaiden pH sekä hiekkasuodattimien huuhtelun parametrit.

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat mangaanin poistoon

Selkeytysaltaiden pH sekä hiekkasuodattimen mikrobiologinen toiminta.

Prosessin haasteet

Kalkin annosteluun ei saa tulla pitempiaikaista häiriötä. Ilmastushuoneita pestävä määräajoin. Selkeytysaltaiden virtauslamellit sakkaantuvat raudasta ja ne on pestävä määräajoin. Hiekkasuodattimia huuhdeltava myös usein, sakkakuorman kesto vain n.0,2 kg/m2. Hiekkasuodattimille ei saa myöskään johtaa suuria määriä klooria. Raudan ja mangaanin poistossa ei ole ollut isompia haasteita vuosien aikana. Suurin haaste on ollut ajoittainen huono vedenlaatu mm. hajusta ja mausta on valitettu. Johtuu ilmeisesti humuksesta sekä fosfaatista. Nykyisellä prosessilla ei voida poistaa humukseen sitoutunutta rautaa.

Prosessin edut

Suhteellisen stabiili ja helposti ohjattava prosessi.

Laitos		4
Laitostyyppi		Pohjavesilaitos
Raakavedenotto	m ³ /d	1026
	m ³ /h	43

Vesilaitokselle tulevan raakaveden laatu

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l			4300	11/2023	kertanäyte pv-putkesta
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l			530	11/2023	kertanäyte pv-putkesta
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l			2,6	11/2023	kertanäyte pv-putkesta
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l			0,07	11/2023	kertanäyte pv-putkesta
Lämpötila	°C			7,6	11/2023	kertanäyte pv-putkesta
pH				7,5	11/2023	kertanäyte pv-putkesta
redox-potentiaali	V					

Veden laatu käsittelyn jälkeen (raudan ja mangaanin poiston jälkeen)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	5	40	10	1/2022 - 12/2022	10
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	0	23,5	4,5	1/2022 - 12/2022	10
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	0,9	1,1	1	1/2022 - 12/2022	10
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l					
Lämpötila	°C	5,1	9,3	6,7	1/2022 - 12/2022	10
pH						
redox-potentiaali	V					

Prosessi raudan ja/tai mangaanin poistolle

VYR-hapetus

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat raudan poistoon

Happipitoisuuden tarkkailu/ pitäminen riittävällä tasolla

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat mangaanin poistoon

Happipitoisuuden tarkkailu/pitäminen riittävällä tasolla
--

Prosessin haasteet

VYR- menetelmässä kaivon huolto-/laiterikko tilanteessa koko prosessin hapetus estyy.
Happipitoisuuden säätäminen ei ole mahdollista.

Prosessin edut

saostuskemikaaliton ja yksinkertainen puhdistusprosessi.
--

Laitos		5
Laitostyyppi		tekopohjavesilaitos
Raakavedenotto	m ³ /d	10691
	m ³ /h	445

Vesilaitokselle tulevan raakaveden laatu

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	1767	2273	1960	1/2022 - 12/2022	48
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	480	552	522	1/2022 - 12/2022	48
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	1,9	2,1	2,0	1/2022 - 12/2022	12
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	0,02	0,31	0,12	1/2022 - 12/2022	12
Lämpötila	°C	5,5	6,4	5,8	1/2022 - 12/2022	52
pH		7,6	7,7	7,6	1/2022 - 12/2022	52
redox-potentiaali	V					

Veden laatu käsittelyn jälkeen (raudan ja mangaanin poiston jälkeen)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	8	13	11	1/2022 - 12/2022	104
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	8	12	11	1/2022 - 12/2022	104
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	1,7	1,9	1,8	1/2022 - 12/2022	52
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l					
Lämpötila	°C	5,0	7,1	5,9	1/2022 - 12/2022	52
pH		7,5	7,6	7,5	1/2022 - 12/2022	52
redox-potentiaali	V					

Prosessi raudan ja/tai mangaanin poistolle

Biologinen suodatus

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat raudan poistoon

happipitoisuuden pitäminen optimaalisena ja tasaisena

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat mangaanin poistoon

happipitoisuuden pitäminen optimaalisena ja tasaisena

Prosessin haasteet

Raakaveden rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat kasvaneet laitoksen käynnistämisen jälkeen.

Prosessin edut

saostuskemikaaliton ja yksinkertainen puhdistusprosessi.

Laitos		6
Laitostyyppi		tekopohjavesilaitos
Raakavedenotto	m ³ /d	12 600
	m ³ /h	

Vesilaitokselle tulevan raakaveden laatu

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	< 10	2000	275,3	3/2019 - 9/2022	16
Liukoinen rauta	µg/l	< 15	93	25	3/2019 - 9/2020	8
Kokonaismangaani	µg/l	< 3	450	62	3/2019 - 9/2022	16
Liukoinen mangaani	µg/l	< 3	51	12	3/2019 - 9/2020	8
TOC	mg/l	1	3,6	1,7	3/2019 - 9/2022	16
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	< 0,2	12	5,6	3/2019 - 9/2022	16
Lämpötila	°C	2,3	8,2	6,5	3/2019 - 9/2022	16
pH		6,4	7,2	6,7	3/2019 - 9/2022	16
redox-potentiaali	V					

Veden laatu käsittelyn jälkeen (raudan ja mangaanin poiston jälkeen)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	< 15	28	< 15	1/2019 -12/2022	48
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	< 3	4	< 3	1/2019 -12/2022	48
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l					
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	5,1	8,6	6,8	1/2019 -12/2022	48
Lämpötila	°C	5,7	8,6	7	1/2019 -12/2022	48
pH		4,7	8,2	8	1/2019 -12/2022	48
redox-potentiaali	V					

Prosessi raudan ja/tai mangaanin poistolle

Ilmastus, suodatus (filtralite-massa), kalkkikivialkalointi, UV-desinfiointi
--

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat raudan poistoon

Happi, pH, mikrobitointi, lämpötila, TOC, alkalointi
--

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat mangaanin poistoon

Samat

Prosessin haasteet

Huuhtelun tiheys. Muutama kaivo jossa paljon rautaa ja mangaania, tukkii nopeasti suodattimen

Prosessin edut

--

Laitos		7
Laitostyyppi		tekopohjavesilaitos
Raakavedenotto	m ³ /d	8 100
	m ³ /h	

Vesilaitokselle tulevan raakaveden laatu

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	< 10	1100	54,9	3/2019 - 9/2022	16
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	< 3	67	11,9	3/2019 - 9/2022	16
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l	1,1	4,2	2,53	3/2019 - 9/2022	16
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	1,6	7,8	6,85	3/2019 - 9/2022	16
Lämpötila	°C	4	8,3	6,2	3/2019 - 9/2022	16
pH		6,3	7	6,8	3/2019 - 9/2022	16
redox-potentiaali	V					

Veden laatu käsittelyn jälkeen (raudan ja mangaanin poiston jälkeen)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)
Kokonaisrauta	µg/l	< 15	270	< 15	1/2019 - 12/2022	48
Liukoinen rauta	µg/l					
Kokonaismangaani	µg/l	< 3	11	< 3	1/2019 - 12/2022	48
Liukoinen mangaani	µg/l					
TOC	mg/l					
COD _{Mn}	mg/l					
Happi	mg/l	6,3	10	7,7	1/2019 - 12/2022	48
Lämpötila	°C	5,9	8,2	6,7	1/2019 - 12/2022	48
pH		7,3	8	7,7	1/2019 - 12/2022	48
redox-potentiaali	V					

Prosessi raudan ja/tai mangaanin poistolle

kalkkikivialkalointi, UV-desinfiointi

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat raudan poistoon

Happi, pH, mikrobitoiminta, lämpötila, TOC, alkalointi
--

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat mangaanin poistoon

--

Prosessin haasteet

--

Prosessin edut

--

Laitos		8		Huom.
Laitostyyppi		Pohjavesilaitos		Vedenlaatutuloksia poimittu harkiten
Raakavedenotto	m ³ /d	6		pilotin mitoitusajoista johtuen.
	m ³ /h	0,25		

Vesilaitokselle tulevan raakaveden laatu

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)	
Kokonaisrauta	µg/l	18	19	18,4	5/2020 - 10/2020	15	
Liukoinen rauta	µg/l	16	18	17	10/2023	2	Lisänäyte
Kokonaismangaani	µg/l	0,57	0,74	0,65	5/2020 - 10/2020	15	
Liukoinen mangaani	µg/l	0,55	0,61	0,58	10/2023	2	Lisänäyte
TOC	mg/l	3,7	4,4	4,0	5/2020 - 10/2020	15	
COD _{Mn}	mg/l						
Happi	mg/l			0,12	5/2020	1	
Lämpötila	°C			4,7	5/2020	1	
pH		6,4	6,7	6,6	5/2020 - 10/2020	16	
redox-potentiaali	V						

Veden laatu käsittelyn jälkeen (raudan ja mangaanin poiston jälkeen)

		minimi	maksimi	keskiarvo	tulosten aikaväli (kk/vvvv)	mittausten määrä (min 2)	
Kokonaisrauta	µg/l	0,03	0,06	0,05	6/20-10/20	6	
Liukoinen rauta	µg/l			<0,02	10/20	1	
Kokonaismangaani	µg/l	ei tod.	0,10	0,05	8/20-10/20	10	
Liukoinen mangaani	µg/l						
TOC	mg/l	1,3	2,0	1,5	6/20-10/20	14	
COD _{Mn}	mg/l						
Happi	mg/l	9,7	13	11,4	6/20-10/20	12	
Lämpötila	°C						
pH		7,8	8,1	7,9	6/20-10/20	9	
redox-potentiaali	V						

Prosessi raudan ja/tai mangaanin poistolle

Kevyt ilmastus, hiekkasuodatus, ilmastus, kalkkikivisuodatus
--

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat raudan poistoon

prosessin käynnistymien, pH:n säätö

Tunnistetut tekijät, jotka vaikuttavat mangaanin poistoon

Prosessin haasteet

prosessin käynnistyminen
Prosessin käynnistyminen vie aikaa. Herkkä muutoksille kun alkaliteetti oli matala, jolloin pieni muutos hapon syötössä teki ison muutoksen veden laadussa

Prosessin edut

Pieni kemikaalin kulutus, yksinkertainen prosessi, pieni tilantarve
