

Kalkkikivialkalointi

— opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi

Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 94

Helsinki 2024



Julkaisun jakelu:

Vesilaitosyhdistys
Aleksanterinkatu 44 A
00100 Helsinki

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

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

ISBN 978-952-7545-13-3

Helsinki 2024

KUVAILEHTI							
<i>Julkaisija</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry						
<i>Tekijät</i>	Päivi Peltonen, Kalle Kakko, Jussi Lindholm						
<i>Julkaisun nimi</i>	Kalkkikivialkalointi — opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi						
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 94						
<i>Julkaisun teema</i>							
<i>Saatavuus</i>	Julkaisu on saatavissa Vesilaitosyhdistyksen verkkosivuilta.						
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Alkuperäinen vuonna 2002 julkaistu kalkkikivialkalointiopas on päivitetty ajantasalle. Oppaaseen on kerätty käyttökokemuksia vedenkäsittelylaitoksilta ja uutta tietoa muun muassa kalkkikivialkaloinnin hiilijalanjälkeen, huoltovarmuuteen ja turvallisuuteen liittyen.</p> <p>Opas sisältää hyödyllisiä tietoja kalkkikivialkaloinnista niin vesihuoltolaitoksille kuin suunnittelijoillekin. Oppaan aiheita ovat veden alkalointi yleisesti, korroosion estäminen verkostossa, kalkkivirouheiden ominaisuudet ja alkaloinnin mitoitus, haitallisten metallien ja ammoniumin poistuminen ja mikrobiologinen laadun hallinta. Kalkkikivialkaloinnin sovelluksista on perinteisen kalkkikivisuodatuksen lisäksi lisätty osio sekasuodattimista kuten mixed-bed suodatuksesta pintavesilaitoksilla.</p> <p>Kalkkikivialkalointi on turvallinen vedenkäsittelymenetelmä, koska käsiteltävän veden pH-arvo ei kohoa vaarallisen korkeaksi. Kalkkikiven laadulla on suuri vaikutus alkaloinnin toimintaan, esimerkiksi pienellä raekoolla pH-arvo kohoo nopeammin. Kalkkikivisuodatus soveltuu erinomaisesti mangaanin, alumiinin ja ammoniumin poistoon oikeissa olosuhteissa. Kalkkikivisuodatuksella voidaan poistaa myös jonkin verran rautaa. Poistuminen on tehokkaampaa pienellä raekoolla (2–54 mm). Pilotkokeissa on havaittu, että nikkeliä voidaan poistaa tehokkaasti puolipoltetulla dolomiitilla.</p> <p>Suodattimet tulee huuhdella säännöllisesti metallisakan, liukenemattoman aineksen ja hienoaineksen poistamiseksi. Kunnollinen huuhtelu vaatii samanlaisesti ilma- ja vesihuuhtelua. Kalkkikivisuodatus voidaan toteuttaa perinteisillä betonialtailla, muovisäiliöillä tai painesuodattimilla. Uusien suodattimien virtaussuunnaksi suositellaan ylhäältä alas tai alhaalta ylös suodatusta.</p>						
<i>Avainsanat</i>	<i>vedenkäsittely, alkalointi, kalkkikivi, kalkkikivisuodatus, korroosio</i>						
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry						
	<table border="1"> <tr> <td><i>ISBN</i> 978-952-7545-13-3</td> <td><i>ISSN</i> 2954-2014 (verkkojulkaisu)</td> </tr> <tr> <td><i>Sivuja</i> 38</td> <td><i>Kieli</i> suomi</td> </tr> <tr> <td></td> <td><i>luottamuksellisuus</i> julkinen</td> </tr> </table>	<i>ISBN</i> 978-952-7545-13-3	<i>ISSN</i> 2954-2014 (verkkojulkaisu)	<i>Sivuja</i> 38	<i>Kieli</i> suomi		<i>luottamuksellisuus</i> julkinen
<i>ISBN</i> 978-952-7545-13-3	<i>ISSN</i> 2954-2014 (verkkojulkaisu)						
<i>Sivuja</i> 38	<i>Kieli</i> suomi						
	<i>luottamuksellisuus</i> 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>	Päivi Peltonen, Kalle Kakko, Jussi Lindholm		
<i>Publikationens titel</i>	Kalkstensalkalisering - en guide för att minska korrosiviteten i vatten		
<i>Publikationsseriens titel och nummer</i>	Vattenverksföreningens duplikatserie nr 94		
<i>Publikationens tema</i>			
<i>Tillgänglighet</i>	Publikationen finns på Vattenverksföreningens webbsida.		
<i>Sammanfattning</i>	<p>Den ursprungliga kalkstensalkaliseringsguiden, publicerad 2002, har uppdaterats. Guiden har uppdaterats med erfarenheter från användare av ibrukvarande vattenreningsverk och nya insikter relaterade till kalkstensalkaliseringens koldioxidavtryck, driftstillförlitlighet och säkerhet.</p> <p>Denna guide ger värdefull information om kalkstensalkalisering för både vattenverksanläggningar och planerare. Guiden inkluderar allmänt om vattnets alkaliserings och korrosionsskydd i vattennätverk, egenskaper hos kalkstenkorn och dess dimensionering, avlägsnande av skadliga metaller och ammonium samt mikrobiologisk kvalitetskontroll. Guiden inkluderar också ett avsnitt om sammansatta filter, såsom mixed-bed filtrering som används vid ytvattenreningsverk.</p> <p>Kalkstensalkalisering är en säker vattenbehandlingsmetod eftersom pH-värdet på det behandlade vattnet inte stiger till farliga nivåer. Kalkstenens kvalitet påverkar i hög grad alkaliseringsprocessens prestanda; till exempel resulterar mindre kornstorlekar i en snabbare pH-ökning. Kalkstensfiltrering är mycket effektiv för att avlägsna mangan, aluminium och ammonium under rätt omständigheter. Kalkstensfiltrering kan också användas för att avlägsna järn till en viss del. Effektiviteten ökar med mindre kornstorlekar (2–54 mm). Pilotförsöken har visat att nickel kan avlägsnas effektivt med halvbränd dolomit.</p> <p>Filter måste regelbundet spolas för att avlägsna metallslam, olösliga ämnen och fina partiklar. Korrekt spolning kräver samtidig luft- och vattenspolning. Kalkstensfiltrering kan genomföras med traditionella betongbassänger, plasttankar eller tryckfilter. För nya filter rekommenderas flödesriktning uppifrån och ner eller nerifrån och upp.</p>		
<i>Nyckelord</i>	vedhantering, alkaliserings, kalksten, kalkstensfiltrering, korrosion		
<i>Finansiär/uppdragsgivare</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
	<i>ISBN</i> 978-952-7545-13-3	<i>ISSN</i> 2954-2014 (verkkojulkaisu)	
	<i>Sidantal</i> 38	<i>Språk</i> finska	<i>Konfidentialitet</i> 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	VEDEN ALKALOINTITARVE	3
3	VEDEN ALKALOINTIMENETELMÄT	4
3.1	Alkalointimenetelmät ja niiden vaikutus veden laatuun	4
3.2	Kalkkikiven ja hiilidioksidin reaktiot	5
3.3	Kalkkikiven saostuminen verkostossa	7
3.4	Veden pH:n nosto ilmastamalla	8
4	KORROOSION ESTÄMINEN	9
4.1	Yleistä	9
4.2	Vedenlaatusuositukset korroosion vähentämiseksi	9
4.3	Kalkkikivialkaloinnin vaikutus veden syövyttävyyteen	10
5	KALKKIKIVIROUHEET JA NIIDEN OMINAISUUDET	11
5.1	Kalkkikiven syntyhistoria ja esiintyminen	11
5.2	Karbonaattikivilajien nimeäminen ja alkalointiominaisuudet	11
5.3	Raekoko	12
5.4	Liukenematon aines	13
6	KALKKIKIVIALKALOINNIN TOTEUTUS	14
6.1	Suosittelava veden laatu	14
6.2	Haitallisten metallien ja ammoniumin poisto	14
6.2.1	Raudan poisto	15
6.2.2	Mangaanin poisto	16
6.2.3	Nikkelin ja alumiinin poisto	16
6.2.4	Ammoniumin poisto	16
6.3	Kalkkikivisuodatuksen toteutus	17
6.3.1	Suodatintyypit	17
6.3.2	Laitosteknisiä näkökohtia	21
6.3.3	Kalkkikiven lisäys	24
6.3.4	Kalkkikivisuodattimen mitoitus	25
6.3.5	Kalkkikivisuodatuksen tarkkailu	26
6.3.6	Pilotkokeet	27
6.4	MUUT SOVELLUSKOHTEET	29
6.4.1	Mekaaninen reaktori	29
6.4.2	Sekasuodattimet	30
6.4.3	Käänteisosmoosilaitokset	31
6.5	Hiilijalanjälki	31
7	MIKROBIOLOGISEN LAADUN HALLINTA	32
7.1	Käsitteet	32
7.2	Ulosteperäinen saastuminen	32
7.3	Suodattimessa tapahtuva mikrobikasvu	32
7.4	Suodattimen desinfiointi	33
7.4.1	Yleistä	33
7.4.2	Kuuman höyryn käyttö	33
7.4.3	Desinfiointi kloorilla	34
8	KIRJALLISUUS	35

1 JOHDANTO

Suomen pehmeitä ja happamia pohjavesiä on tarve alkaloida talousveden tuotannossa. Alkalointi nostaa veden pH-arvoa ja alkaliteettia, millä vähennetään kupari-, rauta- ja sementtiputkien syöpymistä. Kalkkikivialkalointi perustuu kalkkikiven liukemiseen veteen, mikä nostaa pH-arvon lisäksi veden alkaliteettia ja kalsiumpitoisuutta sekä poistaa hiilidioksidia.

Kalkkikivialkaloinnin käyttö on lisääntynyt voimakkaasti 1990-luvulta lähtien. Kalkkivialkaloinnin suosio perustuu paljolti menetelmän turvallisuuteen, helppohoitoisuuteen ja toimintavarmuuteen. Kalkkivialkaloinnissa ei ole yliannostuksen vaaraa, eikä veden pH tästä syystä voi nousta tasolle, joka vaarantaisi vedenkäyttäjien terveyden. Lisäksi käsitellyn veden suhteellisen tasainen pH on tärkeä verkostokorroosion estämisessä ja voi olla edullista joillekin teollisuusliittyjille. Menetelmän haittana on korkea investointikustannus kilpaileviin menetelmiin lähinnä lipeän ja soodan annostukseen verrattuna. Pienehköillä laitoksilla voidaan käyttää erilaisia säiliöratkaisuja paikalleen valettujen altain sijaan. Kalkkivialkaloinnin käyttökustannukset ovat pienet. Lisäksi kalkkivialkalointi lisää veden kovuutta toisin kuin alkalointi lipeällä tai soodalla.

Kalkkikivi on turvallinen kemikaali ihmisille ja luonnolle verrattuna lipeään, vesilaitoskalkkiin ja soodaan (syövyttäviä). Sen hiilijalanjälki on myös pienin. Kalkkikiveä lisättäessä tulee kuitenkin suojautua kalkkivipölyltä.

Kalkkivialkalointi turvaa osaltaan vesihuoltolaitosten huoltovarmuutta. Kalkkikiveä louhitaan Suomessa ja kalkkivilaitokset eivät tyypillisesti ole riippuvaisia jatkuvista kemikaalitoimituksista. Esimerkiksi kalkkivisuodatusta käyttävillä pohjavesilaitoksilla kalkkikiven lisäysväli voi olla useita vuosia. Kalkkikiveä voidaan varastoida suuria määriä turvallisesti ilman kemikaalivuotojen riskiä.

Kalkkivialkaloinnin suodatusjärjestelmistä on kerätty vuosikymmenien aikana paljolti tietoa yrityksen ja erehdyksen kautta. Lisäksi on opittu alkalointivaikutuksen riittävästä verkostomateriaalien korroosioneston kannalta sekä vaikutuksesta veden mikrobiologiseen laatuun. Kalkkivisuodatus soveltuu myös useiden metallien poistamiseen tietyin rajoituksin ja ammoniumin nitrifointiin. Kalkkiville on kehitetty myös erilaisia uusia soveltamiskohteita, esimerkiksi pintavesilaitosten hiilijalanjäljen pienentämiseen korvaamalla osittain alkaloinnissa käytettyä sammutettua kalkkia.

Vuonna 2000 käynnistyi Tekesin Vesihuolto 2001 –teknologiaohjelmassa Kalkkivialkalointi-projekti, jonka tarkoituksena oli kehittää kalkkivialkalointia ja siten lisätä vesihuoltolaitosten valmiuksia tämän uuden teknologian käyttöönottoon. Projektin päärahoittajana ja koordinoijana toimi Nordkalk Oy Ab. Kalkkivialkalointi -projektin keskeiset tulokset koottiin Vesilaitosyhdistyksen julkaisemaan Kalkkivialkalointi -oppaaseen vuonna 2002. Alkuperäisen oppaan on laatinut Maa ja Vesi Oy vastuuhenkilönään TkL Jukka Meriluoto.

Keväällä 2023 alkoi projekti Kalkkivialkalointioppaan päivittämiseksi ajan tasalle. Hanke koostui kolmesta osasta: oppaan päivitys, kalkkivisuodatuksen tutkimus ja käyttökokemusten kerääminen työpajassa. Hankkeen ohjausryhmän muodostivat Riina Liikanen (Vesilaitosyhdistys), Minna Nevalainen (Nordkalk Oy Ab), Kari Korhonen (Keski-Uudenmaan Vesi Kuntayhtymä), Anne Savolainen & Tapio Laakkonen (Joensuu Vesi), Johanna Päckilä (Lakeuden Vesi Oy), Elina Antila (Porvoon vesi), Juho Jylhä (Rautjärven kunta), Tapio Mäki (Oy Lining Ab) ja Timo Tolonen (Allwatec Oy).

Hankkeen rahoittajina toimivat Vesilaitosten kehittämisrahasto, ohjausryhmään osallistuneet vesihuoltolaitokset, Nordkalk Oy Ab ja Oy Lining Ab. Päivitetyn oppaan ovat laatineet FCG Finnish Consulting Group Oy:n Kalle Kakko, Päivi Peltonen, Jussi Lindholm ja Jorma Pääkkönen. Tekstiä oppaan päivitystä varten ovat myös tuottaneet Nordkalk Oy Ab:n Minna Nevalainen ja Oy Lining Ab:n Tapio Mäki. Hankkeen tutkimusosio toteutettiin ohjausryhmän vedenkäsittelylaitoksilla liittyen mm. kalkkikiven kulumiseen ja liukenemattoman aineksen käyttäytymiseen ja huuhteluvesiin. Hankkeen työpajaan osallistuivat ohjaus- ja työryhmän lisäksi Ari Sillanpää (Uponor Oyj), Sanna Heinonen (HS-Vesi), Jenni Heikkinen (Kuopion Vesi Oy), Heli Härkki (Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY) ja Jari Kakko & Ville Komulainen (Oulun Vesi).

Alkuperäistä opasta on täsmennetty kauttaaltaan. Oppaaseen on laadittu uutta sisältöä ja vanha teksti on päivitetty kokonaan seuraavista aihepiireistä: kalkkikivisuodatintyytit, kalkkikivisuodattimien mitoitus, hiilijalanjälki, kalkkikiven lisäys, laitostekniset näkökohdat, vedenlaatusuosituksen korroosion vähentämiseksi, kalkkikivisuodatuksen tarkkailu sekä veden pH:n nosto ilmastamalla. Kalkkikivilajeihin liittyen on tekstiä tarkennettu erityisesti dolomiitin ja puolipoltetun dolomiitin sekä liukenemattoman aineksen osuudesta. Osio koskien metallien poistoa kalkkikivisuodattimessa on uudistettu ja täydennetty raudan ja mangaanin poiston lisäksi nikkelin, alumiinin ja ammoniumin poisto. Oppaaseen on lisätty kalkkikivisuodatuksen sovelluskohteita kuten sekasuodattimet ja käänteisosmoosilaitokset.

Oppaan tarkoituksena on koota kalkkikivialkalointiin liittyvä kokemus ja tieto yksiin kansiin ja siten edistää menetelmän soveltamista ja jatkokehitystä. Opas on suunnattu kaikille kalkkikivialkaloinnista tietoa tarvitseville, kuten käyttöhenkilöstölle, suunnittelijoille ja viranomaisille. Lukemisen helpottamiseksi opastekstissä ei erikseen referoida kirjoittamisessa käytettyjä tutkimuksia tai lähteitä, vaan lähteet on listattu oppaan loppuun erikseen. Oppaan tekstin päivittämisessä on hyödynnetty myös kirjoittajien ja vesihuoltolaitosten vuosikymmenien kokemusta sekä tutkimusta kalkkikivisuoduksesta ja vesilaitosten suunnittelusta sekä uusimpia sovelluksia.

2 VEDEN ALKALOINTITARVE

Verkostokorroosiolla on jo kauan tiedetty olevan haitallisia vaikutuksia vedenjakelujärjestelmälle ja sen toiminnalle. Kustannuksiltaan merkittävin verkostokorroosion vaikutus on verkostomateriaalien käyttöiän lyheneminen vesihuoltolaitoksen ja kiinteistöjen verkostoissa. Verkostokorroosion vaikutuksesta saneeraustarve kasvaa. Pinnoittamattomissa teräs- ja valurautaputkissa esiintyvä korrosio aiheuttaa lisäksi kovien saostumien syntyminen putken sisäpinnalle, mikä pienentää putken virtauskapasiteettia.

Verkostokorroosiolla on haitallinen vaikutus myös veden laatuun. Metalliputkien yleisen syöpmisen johdosta veteen voi joutua rautaa tai kiinteistöjen sisäisissä putkissa kuparia. Lisäksi pistekorrosio voi aiheuttaa vuotoja, mutta harvemmin vaikuttaa merkittävästi veden laatuun. Kupariputkien pistekorrosioon vaikuttaa useita tekijöitä kuten putken laatu ja sisäpinnalle kiinnittyneet epäpuhtaudet, putkien asennus, käyttöönotto ja käyttö sekä vedenlaatu ja lämpötila. Viime vuosina yhtenä merkitsevä tekijänä on havaittu kupariputken sisäpinnalle kiinnittyneet partikkelit esimerkiksi rauta, joita jää epäpuhtautena putken valmistuksen yhteydessä hiekkapuhaltamalla tehdyssä puhdistuksessa. Putken sisäpinnan partikkelit ja talousveden alhainen pH-arvo altistavat pistekorrosiolle.

Korroosion ehkäiseminen on pitkään otettu huomioon talousveden laatutavoitteissa. Talousvedelle asetettuna yleisenä vaatimuksena on ollut, että vesi ei saa aiheuttaa haitallista syöpmistä. Vaatimuksen tarkoituksena on ollut ehkäistä verkostomateriaalien yleisestä syöpmisestä aiheutuva mahdollinen terveyshaitta ja turvata veden tekninen käyttökelpoisuus. Veden pH-arvolle on annettu tavoite pH 6,5, jota ei tule alittaa, ja laatuvaatimus pH 9,5 jota ei tule ylittää. Nykyisin korrosiokysymys tulee välillisesti esiin myös kuparille, lyijylle ja nikkelille asetettujen terveysperusteisten laatuvaatimusten kautta.

Suomen pohja- ja pintavedet ovat luonnostaan useimmiten syövyttäviä happamuutensa (alhainen pH) ja pehmeytensä vuoksi. Verkostokorroosion vaikutuksia voidaan vähentää seuraavin keinoin:

- Uusia kiinteistöjä rakennettaessa tai vanhoja saneerattaessa vesilaitteistoon johdettavan veden laadun on oltava suunnittelijan tiedossa laitteiston teknistä suunnittelua ja korroosion välttämistä varten.
- Materiaalitoimittajat antavat tietoa veden laadun käyttöalueista, joille heidän tuotteensa soveltuvat.
- Vesihuoltolaitos vähentää veden syövyttävyyttä asianmukaisella käsittelyllä, kuten kalkkikivialkaloinnilla.

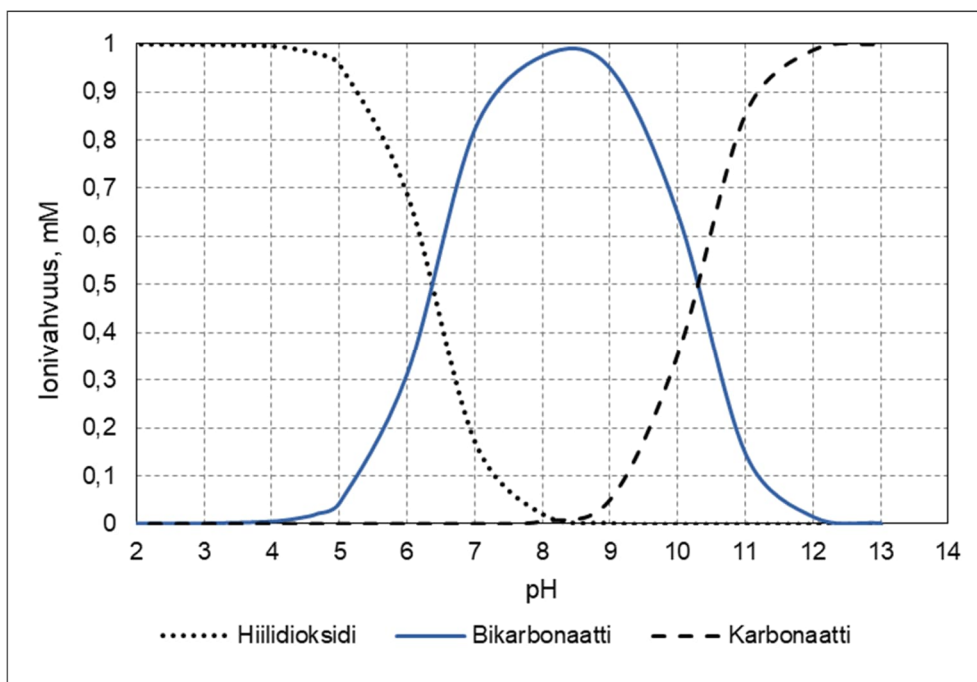
Tässä oppaassa käsitellään vesihuoltolaitoksen mahdollisuuksia verkostokorroosion vaikutusten vähentämiseksi. On kuitenkin huomattava, että veden ominaisuudet vaikuttavat eri materiaaleihin eri tavalla. Korroosion kannalta paras mahdollinen vedenlaatu on jokaiselle materiaalille jossain määrin erilainen.

3 VEDEN ALKALOINTIMENETELMÄT

3.1 ALKALOINTIMENETELMÄT JA NIIDEN VAIKUTUS VEDEN LAATUUN

Veden hiilidioksidipitoisuudella on alkaloinnissa keskeinen rooli. Vedessä esiintyy hiilidioksidia (CO_2), jota joskus kutsutaan myös vapaaksi hiilidioksidiksi, sekä sidottua hiilidioksidia. Sidotulla hiilidioksidilla tarkoitetaan veden sisältämän bikarbonaatin (HCO_3^-) ja karbonaatin (CO_3^{2-}) kokonaismäärää. Veden pH määräytyy lähinnä hiilidioksidi-, bikarbonaatti- ja karbonaattipitoisuuksien suhteellisten osuuksien perusteella (kuva 1).

Veden alkaliteetilla tarkoitetaan veden kykyä vastustaa pH-muutoksia. Talousveden alkaliteetti on käytännössä seurausta veden sisältämästä bikarbonaattipitoisuudesta, joka on vallitsevin karbonaattimuoto talousveden pH-alueella.

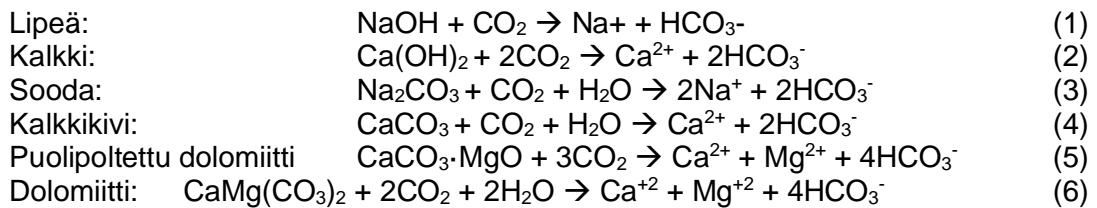


Kuva 1. Veden hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin jakautuminen riippuen veden pH-arvosta. Esimerkiksi veden pH:n ollessa 7,0 veden kokonaishiilidioksidipitoisuudesta noin 80 % on bikarbonaattina ja 20 % hiilidioksidina. Veden pH:n ollessa 8,5 veden kokonaishiilidioksidipitoisuudesta noin 100 % on bikarbonaattina ja 0 % karbonaattina tai hiilidioksidina.

Veden alkalointi toteutetaan yleensä lisäämällä veteen emästä eli ns. alkalointikemikaalia. Emäs neutraloi hiilidioksidia bikarbonaatiksi. Samalla nousee veden pH ja kalkkipohjaisissa menetelmissä kalsiumpitoisuuden kohoamisena myös kovuus. Alkaloinnissa vesilaitoksilla on yleisesti käytössä seuraavat kemikaalit:

- lipeä (natriumhydroksidi)
- sammutettu kalkki (kalsiumhydroksidi)
- poltettu kalkki (kalsiumoksidi)
- sooda (natriumkarbonaatti)
- kalkkikivi (kalsiumkarbonaatti)
- dolomiitti (kalsiummagnesiumkarbonaatti)
- puolipoltettu dolomiitti (lähinnä kalsiumkarbonaatin ja magnesiumoksidin sekoitus)

Kun tyypillistä suomalaista pehmeää ja hapanta pohjavettä (pH noin 6,0–6,5) alkaloidaan, alkaa veden hiilidioksidi sitoutua bikarbonaatiksi. Kun pH on noin 8,3, veden vapaa hiilidioksidi on käytännössä täysin muuttunut bikarbonaatiksi. Reaktioyhtälöt eri alkalointimenetelmillä ovat:



Veden pH:n ylittäessä 8,3 alkaa bikarbonaatista muodostua karbonaattia (vrt. kuva 1). Veden kalsiumpitoisuuden ja alkaliteetin muutos voidaan laskea kaavojen 1–6 avulla (taulukko 1).

Taulukko 1. Kalsiumpitoisuuden (kovuuden) ja alkaliteetin kohoaminen (mmol/l) eri alkalointimenetelmillä, kun veden pH nousee arvoon 8,3. CO_2 = veden hiilidioksidipitoisuus (mg/l) [hiilidioksidin moolimassa = 44 g/mol]

Alkalointimenetelmä	Kalsiumpitoisuuden nousu (mmol/l)	Alkaliteetin nousu (mmol/l)
Lipeä	0	CO_2 [mg/l]/44
Kalkki	CO_2 [mg/l]/88	CO_2 [mg/l]/44
Sooda	0	CO_2 [mg/l]/22
Kalkkikivi	CO_2 [mg/l]/44	CO_2 [mg/l]/22
Puolipoltettu dolomiitti	CO_2 [mg/l]/132	CO_2 [mg/l]/33
Dolomiitti	CO_2 [mg/l]/88	CO_2 [mg/l]/22

Kaavojen 1–6 ja taulukon 1 perusteella voidaan todeta, että kalkkikivi nostaa eniten kalsiumpitoisuutta ja alkaliteettia neutraloitua hiilidioksidipitoisuutta kohti. Kalkkikivellä saadaan lisättyä kaksinkertainen määrä alkaliteettia lipeään ja kalkkiin verrattuna. Lisäksi kalkkikivi nostaa kalsiumpitoisuutta kaksi kertaa enemmän kuin kalkki. Puolipoltetussa dolomiitissa on painon mukaan noin 70 % kalsiumkarbonaattia ja 25 % magnesiumoksidia, pitoisuudet vaihtelevat tuotteittain ja myös muita kalsiumin ja magnesiumin yhdisteitä esiintyy pieniä määriä. Sooda ja lipeä eivät kohota kalsiumpitoisuutta.

Käytännössä hiilidioksidipitoisuuden määrittäminen vesinäytteestä on vaativaa kaasumaisen hiilidioksidin karkaamisen takia. Hiilidioksidi vaikuttaa veden pH-arvoon, joten luotettavan pH-arvon saaminen edellyttää yhtä tarkkaa näytteenottoa kuin hiilidioksidilla. Raakaveden hiilidioksidipitoisuus voidaan laskea pH-arvon ja alkaliteetin perusteella tai Taulukon 1 perusteella, kun tunnetaan käsitellyn veden hiilidioksidipitoisuus ja kalsiumin tai alkaliteetin nousu vedenkäsittelyssä.

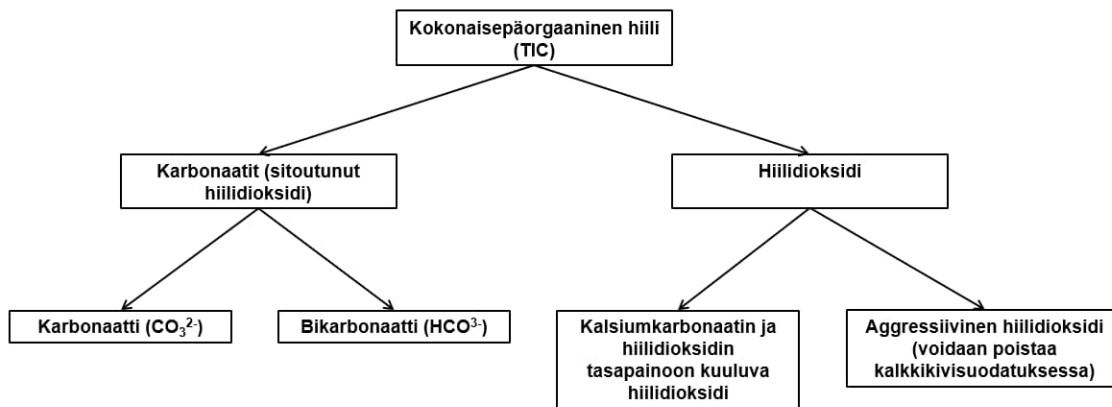
3.2 KALKKIKIVEN JA HIILIDIOKSIDIN REAKTIOT

Kalkkikiven liuetessa veteen, veden kalsium- ja bikarbonaattipitoisuus nousevat ja hiilidioksidipitoisuus laskee. Tasapainotilanteessa kalkkikiveä ei liukene ja vesi on kalkki-hiilihappotasapainossa.

Kalkkikivialkalointi on turvallista edellä mainitun reaktiotasapainon ansiosta. Alkaloitavan veden reaktio kalkkikiven kanssa etenee reaktiotasapainon saavuttamiseen asti, jolloin pH nousee vain kalkki-hiilidioksiditasapainon edellyttämään arvoon. Kalkki-hiilihappotasapainon mukainen pH-arvo merkitään usein alaindeksillä s (ts. pH_s). Tasapainotilanteen pH riippuu käsiteltävän veden laadusta. Mitä pehmeämpää on käsiteltävä vesi ja mitä vähemmän hiilidioksidia on vedessä, sitä korkeammaksi nousee veden pH,

jopa noin 10–11. Ylialkaloitumisen vaaraa muiden kemiallisten alkalointimenetelmien (esimerkiksi soodan, lipeän ja kalkin) lailla ei ole kalkkikivellä. Tämä ei kuitenkaan koske puolipoltettua dolomiittia, jota käytettäessä pH voi kohota alussa vaarallisen korkeaksi, koska siinä on jonkin verran kalsiumoksidia.

Kalsiumkarbonaattia liuottavan hiilidioksidin osuutta kutsutaan aggressiiviseksi hiilidioksidiksi. Hiilidioksidin osuutta, joka veteen jää jäljelle tasapainotilassa, kutsutaan kalkkihiilihappotasapainoon kuuluvaksi hiilidioksidiksi. Jälkimmäistä ei pystytä kalkkikivialkaloinnilla neutraloimaan. Asiaa on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Veden kokonaispääorgaaninen hiili (TIC) jakautuu hiilidioksidiin (ja hiilihappo, H_2CO_3) karbonaatteihin (karbonaatti ja bikarbonaatti).

Hiilidioksidipitoisuudesta käytetään joskus myös termejä "vapaa hiilidioksidi" tai "liuenut hiilidioksidi". Kalkkikivisuodatus poistaa aggressiivisen hiilidioksidin.

Kalkkikivialkaloinnissa veteen voi enimmillään liueta kalsiumkarbonaattia määrä, joka riippuu muun muassa veden lämpötilasta, hiilidioksidipitoisuudesta sekä kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudesta. Kalkkikivialkaloinnin kannalta tällä on kolme tärkeää seurausta:

- 1) Jos vesi on pehmeää ja sen hiilidioksidipitoisuus on pieni ja vesi viipyy kalkkivisuodattimessa riittävän kauan, raakaveden hiilidioksidi muuttuu käytännössä täysin bikarbonaatiksi. Tällöin veden pH voi ylittää arvon 8,3, eikä vedessä ole jäljellä hiilidioksidia.
- 2) Kovassa vedessä kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudet ovat korkeita ja veden hiilidioksidi neutraloituu vain osittain bikarbonaatiksi, koska raakaveden sisältämä bikarbonaatti puskuroi pH-muutoksia. Tällöin veden pH jää tasapainolanteessa alle 8,3 ja veteen jää hiilidioksidia. Jos alkaloitava vesi on kovaa ja lähellä kalkki-hiilihappotasapainoa, veden laatua (pH, alkaliteetti, kovuus) ei voida käytännössä muuttaa kalkkivialkaloinnilla.
- 3) Jos vesi on pehmeää, mutta sen hiilidioksidipitoisuus on erittäin suuri, voivat kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudet kohota kalkkikiven liukenemisen seurauksena niin suuriksi, että pH jää alle 8,3. Myös tällöin veteen jää hiilidioksidia.
- 4) Veden hiilidioksidipitoisuutta lisäämällä tai vähentämällä (ilmastus) ennen suodatusta voidaan vaikuttaa kalsium- ja bikarbonaattipitoisuuksien sekä pH-arvon nostoon sopivalle tasolle kalkkivialkaloinnilla.

Käytännössä kalkkivialkaloinnissa kalsiumkarbonaatin liukeneminen hidastuu tasapainotilan lähellä niin paljon, että veden pH jää jonkin verran alle tasapainotilan arvon

(ts. $\text{pH} < \text{pH}_s$). Mitä pienempi kalkkikiven raekoko on ja mitä pidempi on viipymä, sitä lähemmäs tasapainotilan pH-arvoa alkaloinnissa kuitenkin päästään.

3.3 KALKKIKIVEN SAOSTUMINEN VERKOSTOSSA

Vettä alkaloitaessa voivat kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudet kohota tasolle, jossa vedestä alkaa saostua kalsiumkarbonaattia (eli kalkkikiveä). Alkaloinnissa tavoiteltavaa optimi pH-arvoa voidaan arvioida kalkki-hiilihappotasapainon avulla. Vedestä ei saa saostua kalkkia haitallisia määriä kuluttajien vesilaitteisiin. Teoreettisesti kalsiumkarbonaatin saostumispotentiaalia kuvataan ns. Langelierin kyllästymisindeksin (LSI) tai Saturation index:n avulla:

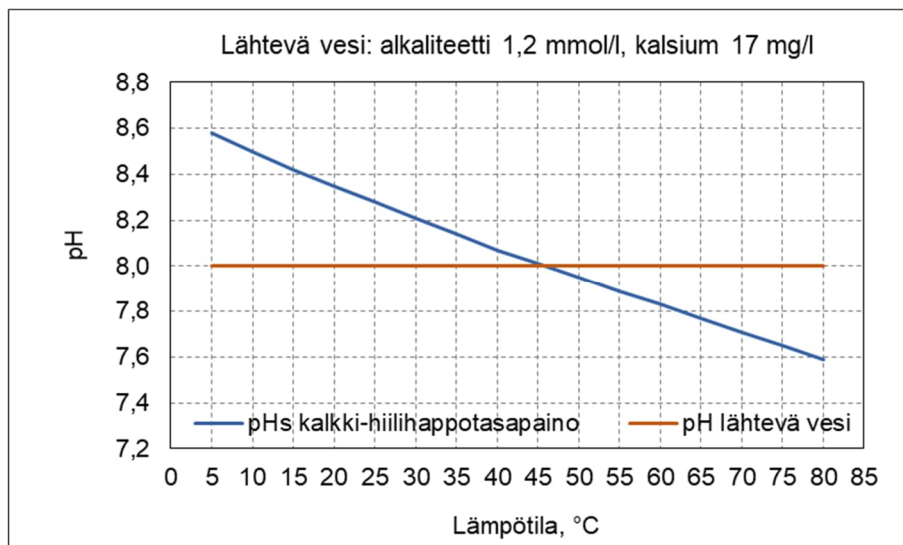
$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (7)$$

pH = mitattu pH-arvo (mittaus standardin mukaan 25 °C vedessä)
 pH_s = kalkki-hiilihappotasapainon mukainen pH-arvo

Kalsiumkarbonaattia alkaa saostua, jos indeksin arvo on positiivinen ($\text{LSI} > 0$). Jos indeksin arvo on negatiivinen ($\text{LSI} < 0$), vedessä on aggressiivista hiilidioksidia ja on täten kalsiumkarbonaattia liuottavaa. Vesilaitoksen optimi pH-arvoon vaikuttaa erityisesti veden alkaliteetti ja kalsiumpitoisuus.

Kyllästymisindeksin pH_s -arvoon vaikuttavat veden pH, kalsiumpitoisuus, alkaliteetti, lämpötila ja veden ionivahvuus. Ionivahvuus voidaan arvioida laskennallisesti esimerkiksi sähkönjohtavuuden tai liuennan kiintoainepitoisuuden avulla. Tarkemmassa laskennassa käytetään veden pääkationien ja -anionien pitoisuuksia (Ca, Mg, Na, K, SO_4 , Cl, alkaliteetti). Kyllästymisindeksin laskukaava on esitetty kokonaisuudessaan teoksessa Standard methods for the examination of water and wastewater. Laskukaava on monimutkainen ja eri lähteissä vakioiden määrittelyyn on käytetty useita menetelmiä. Internetistä löytyy myös laskureita kyllästymisindeksin laskentaan, mutta laskureiden tulokset ja tarkkuus vaihtelevat.

Veden lämpötila vaikuttaa voimakkaasti kalsiumkarbonaatin (kalkkikiven) saostumiseen. Kalsiumkarbonaattia alkaa saostua lämpimään veteen, kun pH_s -arvo ylittyy (kuva 3).



Kuva 3. Esimerkki kalkki-hiilihappotasapainosta eri lämpötiloissa. Vedestä alkaa saostua kalkkia kun lämpötila ylittää 45 °C (lähtevän veden pH ylittää pH_s -arvon).

Veden pH-arvo tai hiilidioksidipitoisuus voidaan arvioida kaavan 8 perusteella, sillä liuennon hiilidioksidin ja veden reagoidessa muodostuu bikarbonaatti-ioneja (HCO^{3-}) sekä vetyioneja (H^+) (Standard methods). Hiilidioksidi on heikko happo, joten se vaikuttaa veden aggressiivisuuteen ja veden pH-arvoon. Kaava poikkeaa oikeasta pH-arvosta sitä enemmän, mitä korkeampi on veden suolapitoisuus sekä koville vesille.

$$\text{pH} = -\log_{10} (k \cdot \text{CO}_2 / 44 / \text{HCO}^{3-}) \quad (8)$$

CO_2 = hiilidioksidipitoisuus yksikössä mg/l

HCO^{3-} = bikarbonaatin pitoisuus yksikössä mmol/l, käytännössä voidaan käyttää veden alkaliteettia, kun veden pH-arvo on 5–8,3

k = lämpötilasidonnaisen vakio, $10^{-6,36}$ lämpötilassa 25 °C.

Kalkki-hiilihappotasapainoon kuuluvan hiilidioksidin määrä voidaan laskea tasapainotilan pH_s -arvon, alkaliteetin ja kaavan 8 avulla. Aggressiivisen hiilidioksidin osuus saadaan laskettua vähentämällä tasapainoon kuuluvan hiilidioksidin määrä liuennosta hiilidioksidista. Pohjavesien hiilidioksidi on useimmiten melkein kokonaan aggressiivista hiilidioksidia.

Suomen Kuntaliiton ja VVY:n (1993 ja 2022) alkalointia koskevissa ohjeissa on suositeltu, että käsittelystä lähtevästä kylmästä vedestä ei saostu kalsiumkarbonaattia. Tällöin kyllästymisindeksi on negatiivinen. Riittävän korroosioeston varmistamiseksi veden laatua suositellaan kuitenkin muutettavan alkaloinnissa siten, että kalkkia saostuu vettä lämmitettäessä. Riippuen kohteesta lähtevän veden pH-arvo on sopivalla tasolla, kun kalkkia alkaa saostua 20–50 asteen lämpötilassa. Lämminvesilaitteiden kalkkisaostumat ovat veden alkaloinnin väistämätön ja luonnollinen seuraus.

3.4 VEDEN PH:N NOSTO ILMASTAMALLA

Veden pH-arvoa voidaan nostaa myös ilmastamalla. Ilmastuksessa vedestä poistuu hiilidioksidia ilman mukana. Ilmastus ei muuta veden alkaliteettia tai kalsiumpitoisuutta.

Ilmastus voi soveltua pH-arvon nostamiseen ilman alkalointikemikaalia esimerkiksi ennen kalkkikivisuodatusta. Jos pH-arvon nostoon käytetään ainoastaan ilmastusta, ilmastuksen on oltava riittävän voimakas, jotta suurin osa hiilidioksidista saadaan poistettua ($\text{CO}_2 < 3 \text{ mg/l}$). Käytännössä voimakas ilmastus toteutetaan aina ilmastustornissa. Pelkkä ilmastus voi riittää vedenkäsittelyksi, jos pohjaveden alkaliteetti ja kalsiumpitoisuus ovat luontaisesti sopivalla tasolla.

Ilmastus soveltuu erinomaisesti kalkkikivialkaloinnin esikäsittelyksi, jos käsiteltävässä vedessä on korkea hiilidioksidipitoisuus tai raakaveden happipitoisuutta pitää nostaa ($< 3 \text{ mg/l}$). Esikäsittelymenetelmänä ilmastuksen voimakkuus riippuu alkalointiin tavoiteltavasta hiilidioksidipitoisuudesta, jolla lähtevän veden alkaliteetti ja kalsiumpitoisuus nousevat sopivalle tasolle. Ilmastus voidaan toteuttaa muun muassa ilmastustornissa, ilmastusportailla, Dresden-suuttimilla, altaassa tai veden pudotuksella. Veden hiilidioksidipitoisuuden ilmastaminen ennen kalkkikivisuodatusta vähentää kalkkikiven kulumista taulukon 1 mukaisesti sekä vaadittavaa kontaktiaikaa.

4 KORROOSION ESTÄMINEN

4.1 YLEISTÄ

Vesi on aina jossain määrin syövyttävää eli käsittelyllä veden syövyttäviä ominaisuuksia ei voida täysin poistaa. Vedenkäsittelyn tavoitteena on luoda verkostoon olosuhteet, joissa syöpyvät materiaalit passivoituvat. Tällä tarkoitetaan sitä, että korroosiotuotteet muodostavat materiaalien pinnoille tiiviin, korroosiota hidastavan kerroksen.

4.2 VEDENLAATUSUOSITUKSET KORROOSION VÄHENTÄMISEKSI

Passivoinnin ja sitä kautta verkostokorroosion hallinnan edellyttämä veden laatu vaihtelee eri verkostomateriaaleilla. Vedenkäsittelyn avulla ei voida käytännössä saavuttaa kaikkien verkostomateriaalien kannalta optimitilannetta. Alkaloinnilla pyritäänkin saamaan veden laatu sellaiseksi, että verkostokorroosio on taloudelliset resurssit huomioiden ottaen riittävän vähäistä. Verkoston ja kiinteistöjen vesilaitteiden korroosion hallitsemiseksi on annettu useita erilaisia suosituksia veden laadusta (taulukko 2).

Taulukko 2. Veden laatusuosituksia korroosion vähentämiseksi: talousvesiasetus ja sen soveltamisohje sekä VVY:n julkaisu Hyvät toimintatavat kiinteistöjen kuparisten vesijohtojen syöpmisen ehkäisemiseksi (2022).

Muuttuja	Suomi (STM 1352/2015 ja soveltamisohje) *	Suomi (VVY 2022)	Norja (Norsk Vann 2022)	Ruotsi (LIVSFS 2022:12)
pH	yli 7,5 (6,5–9,5)	yli 7,5	8,0–8,5	6,5–9,5
Alkaliteetti (mmol/l)	yli 0,6	yli 0,6	0,6–1,0	
Kalsium (mg/l)	yli 10		15–25	alle 100
Kloridit (mg/l)	alle 25 (alle 250)	alle 25	alle 250	alle 250
Sulfaatit (mg/l)	alle 100 (alle 250)	alle 100	alle 250	alle 250
Sähkönjohtavuus, µS/cm	alle 250 (alle 2 500)		alle 2 500	alle 2500
KMnO ₄ (mg/l)	(alle 20)			alle 20
Korroosioindeksi**	yli 1,5			
Happi (mg/l)	yli 2			

* Talousvesiasetuksessa (1352/2015) esitetyt laatusuositukset on esitetty suluissa, sarakkeessa on esitetty myös Valviran talousvesiasetuksen soveltamisohjeessa (Osa II) esitettyjä suosituksia.

** Korroosioindeksi = alkaliteetti [mmol/l]/(kloridi [mg/l]/35,5 + sulfaatti [mg/l]/48), indeksia sovelletaan lähinnä pintavesilaitoksilla, joissa alkaliteetti on pieni, hiilidioksidin syötön tarpeen arviointiin verkoston rautaputkien korroosioon liittyen.

Taulukoitujen raja-arvojen lisäksi on hyvä huomioida seuraavat asiat:

- Veden pH:ksi suositellaan vähintään 7,5, joka on selvästi laatusuositetta korkeampi. Tavoite pH-arvo riippuu veden kalsiumpitoisuudesta ja alkaliteetista. Aggressiivisen hiilidioksidin määrä vedessä tulisi olla alhainen.
- Talousveden alkaliteetti tulisi olla usein suosituksia korkeampi, mieluiten vähintään 0,8 mmol/l. Alkaliteetti ei saa kuitenkaan olla liian korkea, alkaliteetista >2,5...3,0 mmol/l alkaa olla haittaa verkoston metalliosille.

- VVY:n (2020) talousvesiasetuksen soveltamisoppaassa esitetty korroosioindeksi on kehitetty pintavesilaitosten alkalointiin eikä sitä yleensä sovelleta pohjavesilaitoksille (Suomen Kuntaliitto ja VVY 1993). VVY:n julkaisu Hyvät toimintatavat kiinteistöjen kuparisten vesijohtojen syöpymisen ehkäisemiseksi ei mainitse korroosioindeksiä.
- korroosion vähentämiseksi rauta-, mangaani- ja alumiinipitoisuudet tulee olla mahdollisimman alhaiset (STM 1352/2015: rauta alle 0,2 mg/l, mangaani alle 0,05 mg/l ja alumiini alle 0,2 mg/l).

Talousvesi ei ole välttämättä haitallisesti syövyttävää, vaikka vesi ei täyttäisikään annettuja suosituksia. Tällöin on kuitenkin syytä harkita verkostomateriaalien korroosion seurannan lisäämistä.

4.3 KALKKIKIVIALKALOINNIN VAIKUTUS VEDEN SYÖVYTTÄVYYTEEN

Kalkkikivialkalointi nostaa muihin alkalointimenetelmiin verrattuna eniten sekä kovuutta että alkaliteettiä neutraloitua hiilidioksidipitoisuutta kohden. Asiaa on tarkasteltu taulukossa 3, johon on laskettu tyypillisen suomalaisen pohjaveden laatu, kun vettä on alkaloitu eri menetelmillä.

Taulukko 3. Saavutettavissa oleva veden laatu eri alkalointimenetelmillä. Raakavesi kuvaa veden laatua ennen alkalointia.

	Raakavesi	Kalkkikivi	Lipeä	Sooda	Kalkki
pH	6,4	8,3*	yli 8,3	Yli 8,3	yli 8,3
Hiilidioksidi (mg/l)	15	n. 0,5	0	0	0
Alkaliteetti (mmol/l)	0,34	1,0	0,7	1,0	0,7
Kalsium (mg/l)	10	23	10	10	17
Kloridi (mg/l)	8	8	8	8	8
Sulfaatti (mg/l)	16	16	16	16	16
Korroosioindeksi	0,6	1,8	1,3	1,8	1,3

* pH riippuu käytännössä suodattimen mitoituksesta (viipymästä) ja kalkkikivirouheen raekokojakaumasta

Kalkkikivialkaloinnilla ei saavuteta vedenlaadusta ja alkaloinnin mitoituksesta johtuen välttämättä pH-arvoa 8,3, vaan pH jää tasolle 7,5–8,0. Tällöin myös alkaliteetti ja kovuus jäävät jonkin verran pienemmiksi kuin mitä esim. taulukossa 3 mainitussa esimerkissä on esitetty. Käytännössä vaikutus kovuuteen ja alkaliteettiin kyseisellä pH-vaihtelulla on kuitenkin pieni (alle 10 %) (vrt. kuva 1), mikä voi kuitenkin olla merkitsevä valurautaputkien korroosion kannalta.

Kalkkikivialkaloinnin vaikutusta verkostomateriaalien korroosioon on tutkittu sekä laboratorio- että kenttämittakaavassa. Tulosten perusteella tehdyt johtopäätökset:

- Kalkkikivialkaloidussa vedessä pH vaihtelee vain vähän, mikä parantaa passiivoin suojakerroksen tiivyyttä.
- Veden pH:lle annettu suositus (yli 7,5) on riittävä vähentämään verkostomateriaalien yleistä korroosiota. Kalkkikivialkaloinnissa tulisi tavoitella suosituksen mukaista pH-arvoa (yli 7,5).

5 KALKKIKIVIROUHEET JA NIIDEN OMINAISUUDET

5.1 KALKKIKIVEN SYNTYHISTORIA JA ESIINTYMINEN

Kaikki kalkkituotteet ovat peräisin kalkkikivestä tai dolomiittikivestä. Ne ovat kalsium- ja magnesiumkarbonaattipitoisia kivilajeja, joita esiintyy runsaasti eri puolilla maapalloa. Skandinavian peruskallioalueella niitä esiintyy kuitenkin rajoitetusti. Suomessa esiintyy muutamia hyödynnettävissä olevia kalkkikiviesiintymiä, näistä tunnetuimpia lienevät Paraisten, Lappeenrannan ja Lohjan esiintymät.

Nuoremmat kalkkikivet ovat muodostuneet esihistoriallisena aikana eläneiden vesieliöiden (mm. korallit, simpukat) tukirangoista ja kuorista miljoonia vuosia kestävässä geologisissa prosesseissa. Ennen nykyisin tavattavien fossiilien tai kehittyneempien eliömuotojen syntyä noin 600 milj. vuotta sitten, kalkkikiviä on pääasiassa syntynyt leväkerrostumista. Tällaiset lähes kaksi miljardia vuotta vanhat kerrostumat ovat maapallon pitkän geologisen historian aikana altistuneet mullistaville muodon ja laadun muutoksille osana esimerkiksi vuorijonojen kehityskaarta. Suomen kalkkikiviesiintymät ovat vanhoja ja ne ovat muodostuneet noin 1–2 miljardia vuotta sitten, mutta esim. Ruotsista löytyy alle 100 miljoonan vuoden ikäisiä nuorempia kalkkikiviesiintymiä. Eri esiintymien syntyhistoria ja muodostumisolosuhteet ovat voineet erota paljonkin toisistaan. Tästä syystä kalkkikiven kemiallinen koostumus ja liukoisuus eli reaktionopeus hiilidioksidin kanssa voivat vaihdella riippuen kalkkikiven alkuperästä

Alkaloinnissa käytettävä kalkkikivirouhe ei ole kokonaan kalsiumkarbonaattia, vaan se sisältää jonkin verran myös muita yhdisteitä. Kalkkikivirouheen kalsiumkarbonaattipitoisuus Suomessa on tyypillisesti yli 93 %. Raskasmetallien pitoisuudet ovat erittäin alhaiset.

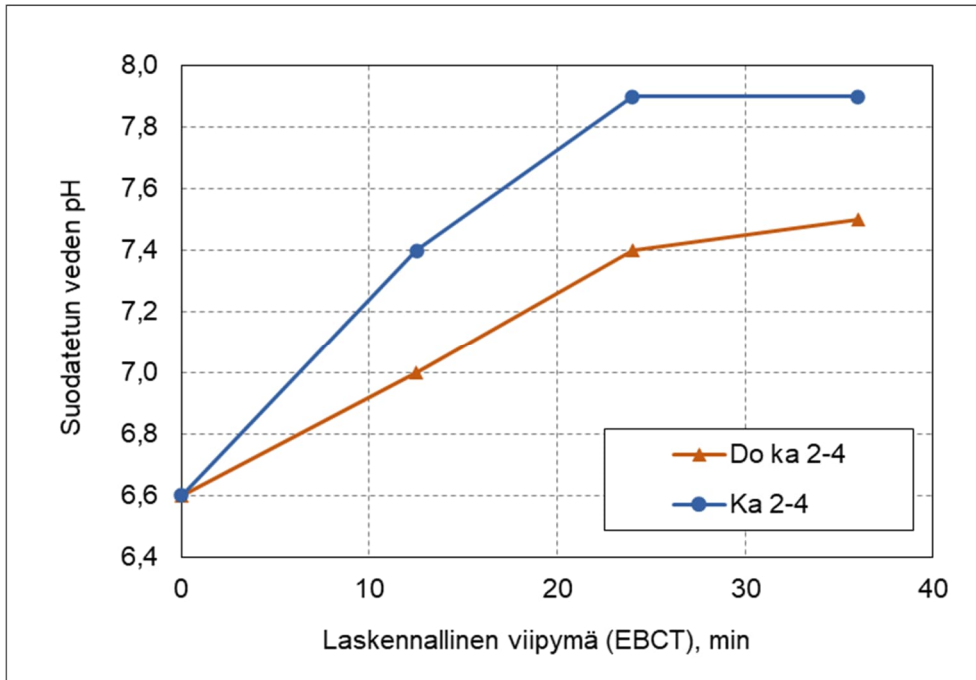
Talousvesiasetuksen mukaan talousveden käsittelyssä käytettävien aineiden on täytettävä vähintään EN-standardien mukaiset vaatimukset. Talousveden valmistuksessa käytettävän kalkkikiven on täytettävä standardien EN 1017:2014+A1:2017 (*Chemicals used for treatment of water intended for human consumption - Half-burnt dolomite*) ja EN 1018:2021 (*Chemicals used for treatment of water intended for human consumption. Calcium carbonate*) vaatimukset. Alkalointirouheiden laatu tulee selvittää standardin EN 12485:2017 (*Chemicals used for treatment of water intended for human consumption - Calcium carbonate, high-calcium lime, half-burnt dolomite, magnesium oxide, calcium magnesium carbonate and dolomitic lime - Test methods*) mukaisesti.

5.2 KARBONAATTIKIVILAJIEN NIMEÄMINEN JA ALKALOINTIOMINAISSUUDET

Eri karbonaattikivilajit luokitellaan niiden sisältämän magnesiumpitoisuuden (Mg) perusteella. Koska magnesiumpitoisuus määritetään tavallisesti magnesiumoksidina (MgO), eri kivilajit jaotellaan seuraavasti:

- kalkkikivi (kalsiumkarbonaatti), MgO-pitoisuus < 2 %
- dolomiittinen kalkkikivi, MgO-pitoisuus 2–9 %
- dolomiitti, MgO-pitoisuus > 9 % (puhdas dolomiitti 22 %).

Dolomiitin käyttö veden alkaloinnissa on vähäistä. Dolomiittialkalointi ei nosta yhtä paljon veden kalsiumpitoisuutta kuin kalkkikivialkalointi, joten dolomiitti soveltuu myös kovemmille vesille. Testattujen dolomiittierien liukenemisnopeus veteen on selvästi kalkkikiveä pienempi (kuva 4). Alkalointi dolomiittisuodattimella edellyttää siten selvästi suurempaa suodatintilavuutta kuin kalkkikivialkalointi. Dolomiitista liukeneva magnesium on hyväksi terveydelle.



Kuva 4. Esimerkki kalkkikiven ja dolomiitin alkalointitehosta. Ka 2-4 = kalkkikivi raekoko 2-4 mm, Do 2-4 = dolomiitti raekoko 2-4 mm. Tehollinen viipymä = veden kontaktiaika rouheen kanssa (min).

Puolipoltettu dolomiitti valmistetaan kuumentamalla noin 800 asteeseen, jolloin magnesiumkarbonaatti hajoaa magnesiumoksidiksi. Poltossa muodostuu myös hieman kalsiumoksidia, joka reagoi veden kanssa hyvin nopeasti muodostaen hyvin emäksistä kalsiumhydroksidia (=vesilaitoskalkkia). Puolipoltettu alkalointimassa nostaa veden pH:n jopa vaarallisen korkeaksi (pH 11–12), kun alkalointimassaa otetaan käyttöön ja vedenotto suodatukseen pysähtyy. pH:n nousu vähenee, kun kalsiumoksidi on kulunut massasta pois. Tämä täytyy huomioida suunnittelussa ja käyttöönotossa. Puolipoltetulla dolomiitilla tarvittava viipymä on pienempi kuin kalkkikivellä.

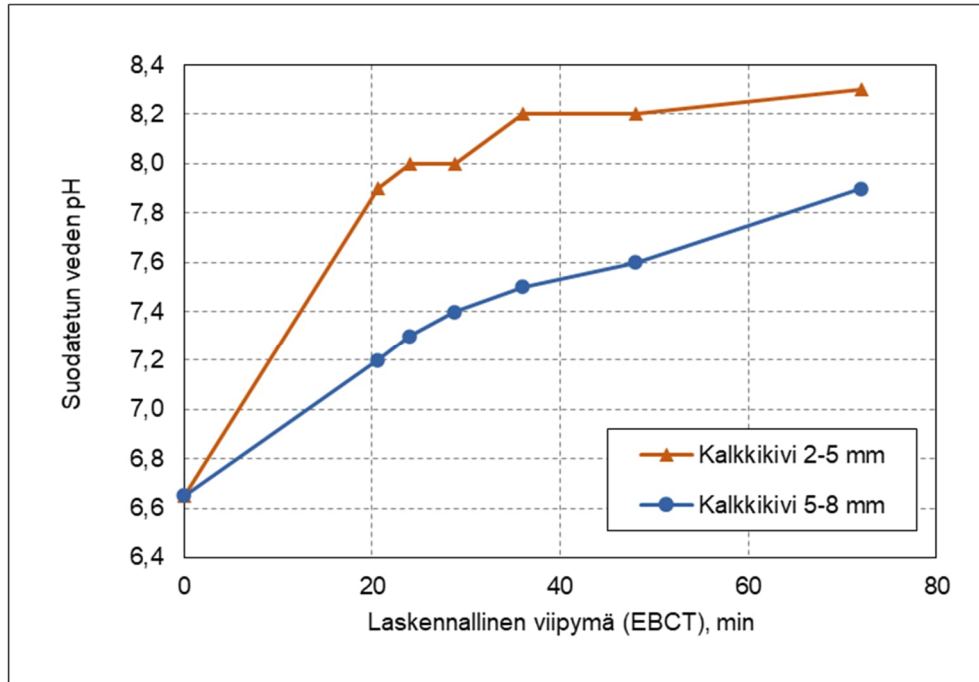
5.3 RAEKOKO

Kalkkivirouheen raekoko vaikuttaa merkittävästi reaktionopeuteen. Mitä pienempi on raekoko, sitä nopeammin vesi alkaloituu. Tämä johtuu siitä, että kalkkikiven kontaktipinnan suuruus on kääntäen verrannollinen raekokoon eli kontaktipinta kasvaa raekoon pientyessä. Suodattimen kalkkivirouheen raekokoa vaihtamalla voidaan vaikuttaa alkalointitehoon (kts. kuva 5). Pienemmälle raekoolle voidaankin mitoittaa noin puolet pienemmät kalkkivisuodattimet. Käytännössä pienten raekokojen (2–5 mm ja 1–3 mm) käyttö onkin tästä syystä yleistynyt. Kunnallisilla laitoksilla yleisimpiä raekokoja ovat 2–5 mm ja 5–8 mm. Vanhemmilla laitoksilla voidaan käyttää vielä suurempaa raekokoa 8–16 mm, mutta tämä on nykyään jo harvinaista. Suurempaa raekokoa (5–8 mm) käytetään etenkin laitoksilla, joissa suodatussuunta on vaakavirtaan ja suodattimien huuhtelujärjestelmä ei ole riittävän tehokas.

Koska kalkkivirouheen raekoolla on suuri merkitys alkaloitumiseen, rouhetta hankittaessa on syytä kiinnittää huomiota raekokojakaumaan. Toimittajalta tulisi vaatia tiedot tarjottujen rouheiden raekokojakaumasta, jotta voitaisiin varmistua jakauman tasaisuudesta. Jos esim. 1–3 mm tuote sisältää pääasiassa lähellä 3 mm olevaa raetta, se vä-

hentää alkaloitumisnopeutta tasaisen raekokojakauman omaavaan tuotteeseen verrattuna. Tällöin haluttuun veden laatuun ei välttämättä päästä suunnitellulla suodatintilavuudella.

Kuvassa 6 on esitetty tuloksia pohjavedellä tehdyistä pilotkokeista. Raekoolla 2–5 mm käsiteltävän veden pH-arvo nousee huomattavasti nopeammin. Huomattavaa on kuitenkin, että kun pH-arvo lähestyy 8:aa eli lähemmäs kalkki-hiilihappotasapainoa, sen nouseminen hidastuu.



Kuva 5. Raekoon vaikutus alkaloitumisnopeuteen. Tarkastellut raekoot: 2–5 mm ja 5–8 mm. Veden laskennallinen viipymä tyhjässä altaassa (EBCT, min) verrattuna suodatetun veden pH-arvoon. Raakaveden hiilidioksidipitoisuus 12 mg/l ja kalsiumpitoisuus 6 mg/l.

5.4 LIUKENEMATON AINES

Laitoksille toimitetun kalkkikiven mukana on vaihtelevia osuuksia liukenematonta ainesta. Liukenematon aines määritetään suolahappoon liukenemattomana paino-osuutena kalkkikivestä. Tyypillinen liukenemattoman aineksen määrä Suomessa tuotetuissa kalkkivirouheissa on 2–5 %. Markkinoilla on myös ulkomailla tuotettua kalkkikiveä, jonka liukenemattoman aineksen pitoisuus on pienempi, jopa < 1 %.

Kalkkivisuodatuksessa liukenemattoman aineksen määrä suodatusmateriaalissa vaikuttaa suodattimien mitoittamiseen ja huuhteluihin. Liukenematonta ainesta kertyy suodattimeen ajan kuluessa ja kalkkikiven liuetessa, joten suodattimia tulee huuhdella säännöllisesti. Liukenematon aines on eri kokoisina rakeina. Suurempia partikkeleita ei saada poistettua suodattimen huuhtelussa. Tärkeää on saada poistettua huuhteluissa pienet partikkelit, jotka voivat todennäköisemmin aiheuttaa suodattimien tukkeutumista.

6 KALKKIKIVIALKALOINNIN TOTEUTUS

6.1 SUOSITELTAVA VEDEN LAATU

Kalkkikivialkalointi soveltuu parhaiten pehmeille vesille. Tällöin tavoiteltava veden laatu saavutetaan kohtuullisella viipymällä. Kalkkikivialkalointi sopii erinomaisesti raakavesille, joiden:

- alkaliteetti on alle 0,8 mmol/l
- hiilidioksidipitoisuus on 5–20 mg/l

Kalkkikivisuodattimen suunnittelun alkuun on tehtävä teoreettisesti saatavan tuoteveden laadun ja kalkkikiven kulumisen laskenta. Tulosten perusteella voidaan selvittää, onko kalkkikivisuodatus mahdollinen ja tarvitaanko esikäsitelyä.

Jos raakaveden hiilidioksidipitoisuus ylittää 20 mg/l, voi olla tarve poistaa ilmastamalla sitä ennen suodatusta sopivalle tasolle. Veden ilmastamiseksi on olemassa useita menetelmiä (kts. kappale 3.4). Sopivan ilmastusmenetelmän valintaan vaikuttaa hiilidioksidin poistotavoite.

Mitä suurempia ovat raakaveden kovuus ja alkaliteetti, sitä huonommin kalkkikivialkalointi soveltuu. Käytännössä kalkkikivialkalointia ei kannata käyttää, jos veden alkaliteetti on yli 1,5 mmol/l. Veden pH:n nostaminen voidaan tällöin toteuttaa esim. ilmastustornissa ilmastamalla.

Jos raakaveden alkaliteetti on erittäin pieni (alle 0,3 mmol/l) ja vedessä on vain vähän hiilidioksidia (alle 5 mg/l), voi veden pH-arvo kalkkikivialkaloinnissa nousta lähelle arvoa 9 ja jopa hieman yli. Jos sekä hiilidioksidipitoisuus että alkaliteetti ovat pienet, suodatukseen menevään veteen voidaan annostella hiilidioksidia. Jos veden pH kalkkikivialkaloinnin jälkeen on liian korkea, alkalointitehoa voidaan vähentää suurentamalla raekokoa, lisäämällä veteen jonkin verran hiilidioksidia tai johtamalla osa käsiteltäväksi aiotusta vedestä alkaloinnin ohii. Ohitusta ei tehdä, jos suodattimelle tulevassa vedessä on haitallisessa määrin rautaa, mangaania tai nikkeliä. Ohitettava osuus on yleensä pieni, noin 0–10 % tulevan veden virtaamasta.

Kalkkikivisuodatus soveltuu erinomaisesti useille pohjavesille ja tekopohjavesille. Pintavesilaitoksilla ovat yleistyneet kalkkikiveä sisältävät sekasuodattimet (kts. kappale 6.4.2). Kalkkikivisuodattimia käytetään myös pohja- tai pintavettä käyttävillä käänteis-osmoosilaitoksilla (kts. kappale 6.4.3).

6.2 HAITALLISTEN METALLIEN JA AMMONIUMIN POISTO

Kalkkikivisuodatusta voidaan käyttää raudan, mangaanin, alumiinin ja nikkelin poistamiseen vedestä. Niiden poistuminen perustuu saostumiseen kalkkikiven pinnalle. Valmiiksi saostuneena esiintyviä metalleja ei välttämättä voida poistaa tehokkaasti kalkkikivisuodatuksessa. Suodatuksen olosuhteiden on oltavat oikeanlaiset, jotta käsiteltävä metalli saostuu ja pidättyy suodattimeen. Saostumisen optimiolosuhteet riippuvat yhdisteestä, mutta tärkeimpiä tekijöitä ovat oikea pH ja riittävä happipitoisuus (rauta ja mangaani). Metallien pidättyminen suodattimeen on huomioitava suodattimien huuhteluvälissä, vaikka yleensä kalkkikiven liukenemattoman aineksen poistaminen suodattimesta on huuhteluvälin kannalta merkittävämpi. Korkeita metallipitoisuuksia tulee vähentää esikäsitelyllä ennen kalkkikivisuodatusta.

6.2.1 Raudan poisto

Raudan poisto kalkkikivisuodatuksessa perustuu liukoisen ferroraudan (Fe^{+2}) hapettumiseen. Ferrorautaa (Fe^{+2}) esiintyy usein pohjavesissä. Esimerkiksi kemiallisen hapettumisen reaktioyhtälö on seuraava:



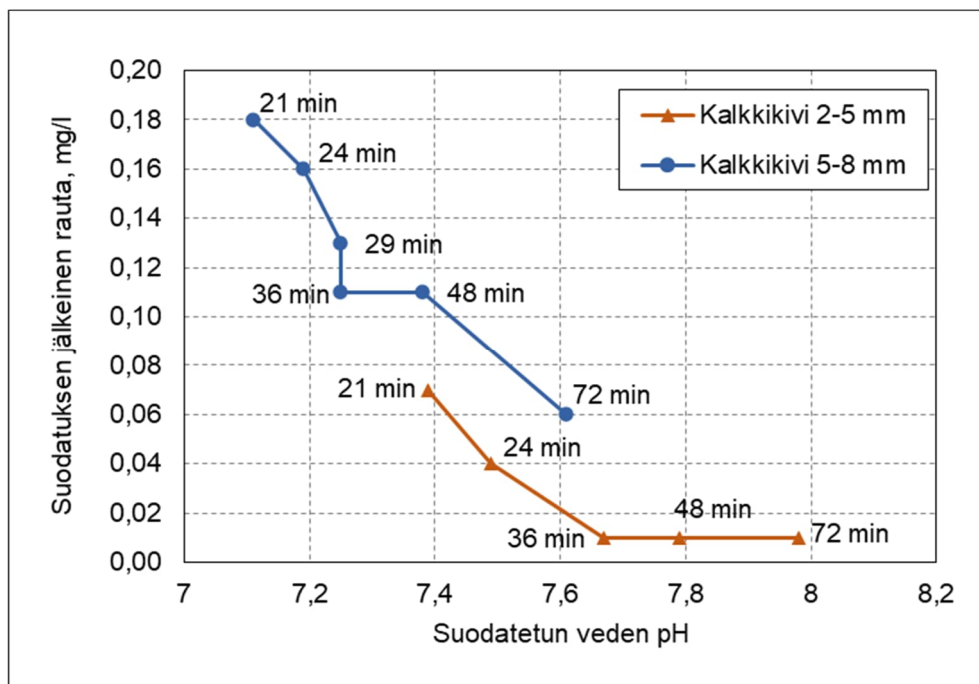
Raudan kemiallinen hapettuminen kuluttaa happea ja alkaliteettia:

- 1 mg Fe /l kuluttaa happea 0,14 mg O_2 /l.
- 1 mg Fe /l kuluttaa alkaliteettia noin 0,036 mmol/l.

Kalkkikivisuodatus ei sovi hapettuneen tai orgaaniseen aineeseen sitoutuneen raudan poistamiseen. Jos liukoinen rauta hapettuu ennen kalkkikivisuodatusta, esimerkiksi voimakkaassa ilmastuksessa, hienojakoiseen muotoon, rauta ei välttämättä poistu tehokkaasti.

Jos käsiteltävässä raakavedessä esiintyy rautaa useita milligrammoja litrassa, on suositeltavaa, että rauta poistetaan ennen kalkkikivisuodatusta, esimerkiksi hiekkasuodatuksella, koska raudan poistuma kalkkikivisuodatuksessa ei ole riittävän hyvä.

Rauta pidättyy suodattimiin paremmin pienellä raekoolla (esim. 2–5 mm), kuten nähdään kuvassa 6. Sama ilmiö on mahdollinen myös muiden metallien kohdalla. Kuitenkin myös suuremmalla raekoolla (5–8 mm) voidaan poistaa rautaa, jos viipymä on tarpeeksi suuri.



Kuva 6. Tuloksia pilotkokeista kalkkikiven raekoon vaikutuksesta raudan poistoon. Tarkastellut raekoot: 2–5 mm ja 5–8 mm. Raakaveden rautapitoisuus oli 1,3 mg/l. Tulosten yläpuolella on esitetty veden laskennallinen viipymä (EBCT) minuuteissa.

Raudanpoisto on suositeltavaa testata paikan päällä pilotkokeilla, koska vedenlaadulla ja paikallisilla olosuhteilla on suuri vaikutus poistumaan. Joskus alhaisetkin orgaanisen aineen pitoisuudet voivat huonontaa poistumista.

6.2.2 Mangaanin poisto

Mangaania voidaan poistaa kalkkikivisuodatuksessa. Mangaani hapettuu suodattimessa ja saostuu mangaanidioksidina (MnO_2). Tehokas mangaanin poisto vaatii korkean happipitoisuuden (vähintään 7–8 mg/l) ja tarpeeksi korkean pH-arvon. Jos mangaania on moninkertaisesti tavoitepitoisuuteen nähden, on suositeltavaa, että pH-arvo ylittää 8. Mangaanin poistuminen heikkenee alle pH-arvon 8,0 ja loppuu pH-arvossa < 7,5. Mangaanin poisto voi toimia myös alhaisemmissa happipitoisuuksissa (jopa 4–5 mg/l), jos pH-arvo on riittävän korkea eikä vedessä ole ammoniumia tai rautaa kuluttamaan happea. Mangaanin poisto perustuu suodattimen mangaania hapettavaan bakteerikantaan tai jo saostuneen mangaanidioksidin katalyyttiseen vaikutukseen. Mangaaninpoisto käynnistyy yleensä noin 1–3 kuukaudessa riippuen mm. pH-arvosta. Mangaanin poisto käynnistyy nopeammin korkeassa pH-arvossa, joten prosessin käynnistysvaiheessa on suositeltavaa nostaa pH-taso selvästi yli 8 jopa yli 9. Biologisen mangaanin poiston bakteereille voi olla haitallista, jos suodattimien huuhteluvedessä on klooria (jatkuva klooraus alavesisäiliöön).

6.2.3 Nikkelin ja alumiinin poisto

Nikkelin ja liukoisen alumiinin korkeat pitoisuudet ovat Suomen pohjavesissä rautaan ja mangaaniin verrattuna harvinaisempia. Sitoutuneessa muodossa olevaa alumiinia, esimerkiksi saviaineksessa, ei voida poistaa kalkkikivisuodatuksessa. Nikkeli ja alumiini saostuvat kalkkikivisuodattimissa hydroksideina.

Liukoista alumiinia voi olla vedessä, jos pH on selvästi alle 6. Alumiini saostuu alumiinihydroksidiksi pH-arvoissa 6–8,5. Kun pH nousee yli 8,5, alumiinin liukoisuus kasvaa. Kalkkikivisuodatuksella voidaan siis poistaa liuennutta alumiinia.

Nikkelin poistoa on tutkittu kalkkikivisuodattimissa vähän. Nikkelin tehokas saostuminen vaatii korkean pH-arvon, yli pH 9. Osittaista nikkelin poistoa varten suodatuksen pH-arvon on oltava lähellä 8,5. Veden pH-arvon nosto vaadittavalle tasolle on mahdollista kalkkikivellä, jos käsiteltävä vesi on erittäin pehmeää ja hiilidioksidipitoisuus on alhainen.

Pohjaveden nikkelinpoiston pilotkokeissa on saatu lupaavia tuloksia suodatuksella, jossa massana käytettiin puolipoltettua dolomiittia (Allwatec Oy ja Eurajoen vesihuolto-laitos). Puolipoltetulla dolomiitilla pH nousee riittävän korkeaksi ja nikkeli poistuu hyvin. Suodatinmassan kuluessa havaittiin vielä hyvä nikkelin poistuminen pH-arvossa 8. Nikkelin poisto oli selvästi tehokkaampaa puolipoltetulla dolomiitilla kuin kalkkikivellä samoissa pH-arvoissa. Puolipoltetulla dolomiitilla viipymä suodattimessa voidaan mitoittaa pienemmäksi kuin kalkkikivellä.

6.2.4 Ammoniumin poisto

Pohjavesissä ammoniumia esiintyy hapettomissa olosuhteissa. Ammonium poistuu kalkkikivisuodattimessa biologisesti nitrifikaatiolla. Ammoniumtyypen poistaminen kuluttaa happea ja alkaliteettia:

- 1 mgNH₃-N/l kuluttaa happea 4,6 mg O₂/l mg/l.
- 1 mgNH₃-N/l kuluttaa alkaliteettia 0,075 mmol/l

Ammoniumin hapenkulutus tulee huomioida ilmastuksen mitoituksessa ennen kalkkikivisuodatusta, mikäli kalkkikivisuodatuksella poistetaan myös mangaania. Ammoniumin nitrifikaatio käynnistyy ennen mangaanin hapettumisen käynnistymistä. Nitrifikaatiossa ammoniumista muodostuu veteen nitraattia:



Nitraattipitoisuuden nousu on yleensä suhteellisen vähäinen. Nitraatin laatuvaatimus on ≤ 50 mg/l ja ammoniumin laatuvaatimus $\leq 0,5$ mg/l. Esimerkiksi 1 mg/l ammoniumista muodostuu noin 3,5 mg/l nitraattia. Klooripitoinen huuhteluvesi voi häiritä nitrifikaatiota.

6.3 KALKKIKIVISUODATUKSEN TOTEUTUS

6.3.1 Suodatintyypit

6.3.1.1 Avosuodattimet

Perinteisessä paikalla valettuna betonirakenteena toteutetussa avosuodattimessa veden virtaussuunta on ylhäältä alas tai päinvastoin. Huuhtelu tapahtuu kummassakin vaihtoehdossa alhaalta ylös.

Ylhäältä alas suodattavassa vaihtoehdossa vesi tuodaan suodattimen yläosaan. Vesi voidaan johtaa suodattimeen aivan kalkkikivikerroksen pintaan sijoitettavan huuhteluveden poistokourun kautta, jolloin vesi jakautuu tehokkaasti koko suodatinpinta-alalle.

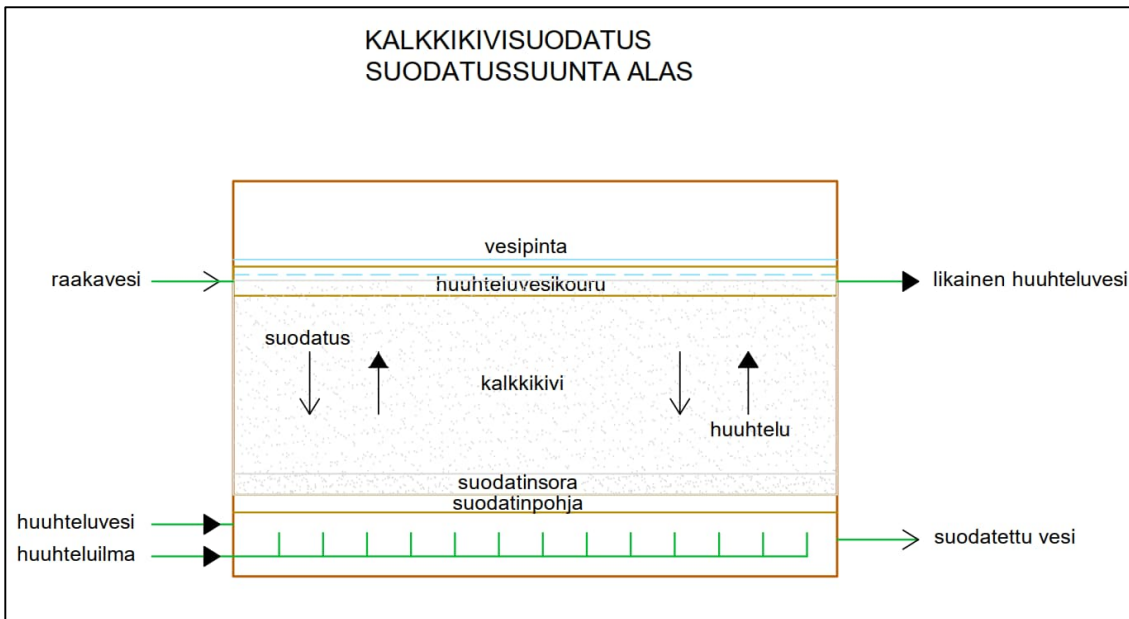
Suodatettaessa ylhäältä alas epäpuhtauksien päätyminen suodattimeen on helposti havaittavissa suodattimen pinnalta.

Suodattimen huuhtelu tapahtuu ”vastavirtaan”, eli alhaalta ylös. Huuhteluvesi ja -ilma tuodaan suodatinpohjan alapuolelle ja jaetaan joko suuttimien tai erityisten suodatinpohjaelementtien läpi kalkkikivikerrokseen. Huuhteluveden poisto tapahtuu em. huuhteluveden poistokourun kautta.

Suunnittelussa huomioitavia yksityiskohtia:

- Jotta suodatin ei pääse tyhjenemään ja kuivumaan pienillä virtaamilla tai virtaaman pysähtyessä kokonaan, poisto suodattimesta voidaan johtaa ylivuodon kautta tai pintaa hallitaan purkuputkeen asennettavalla pintamittaukseen kytkeyllä säätöventtiilillä.
- Hienojakoisen kalkkikiven ja sakan kulkeutumista suodatetun veden mukana suodatinpohjan läpi on mahdollista vähentää asentamalla kalkkikivirouheen alle hieman suodatinpohjan suuttimien tai suodatinpohjaelementtien rakoleveyttä suuremman raekoon sorakerros.
- Perinteisessä suutinpohjaratkaisussa em. sorakerros myös suojaa muovisia suuttimia vaurioilta käytön (ja suodattimen alkutäytön) aikana.
- Perinteistä betoni- tai teräselementtirakenteista suutinpohjaa käytettäessä huuhteluilman tasainen jakautuminen koko suodatinpinta-alalle voidaan varmistaa rakentamalla ilmanjakoputkisto koko suodattimen pohja-alalle suutinpohjan alapuoliseen ryömintätilaan. Huuhteluvedelle ei tarvita vastaavia putkistojärjestelyjä.
- Hygieeniset riskit on poistettava: lika-aineiden kulkeutuminen ilman, sadeveden tms. välityksellä estettävä.

Seuraavassa kaaviokuvassa 7 on esitetty kalkkikivisuodatin, joka on varustettu nk. perinteisellä suodatinpohjalla suodatinsorakerroksineen.

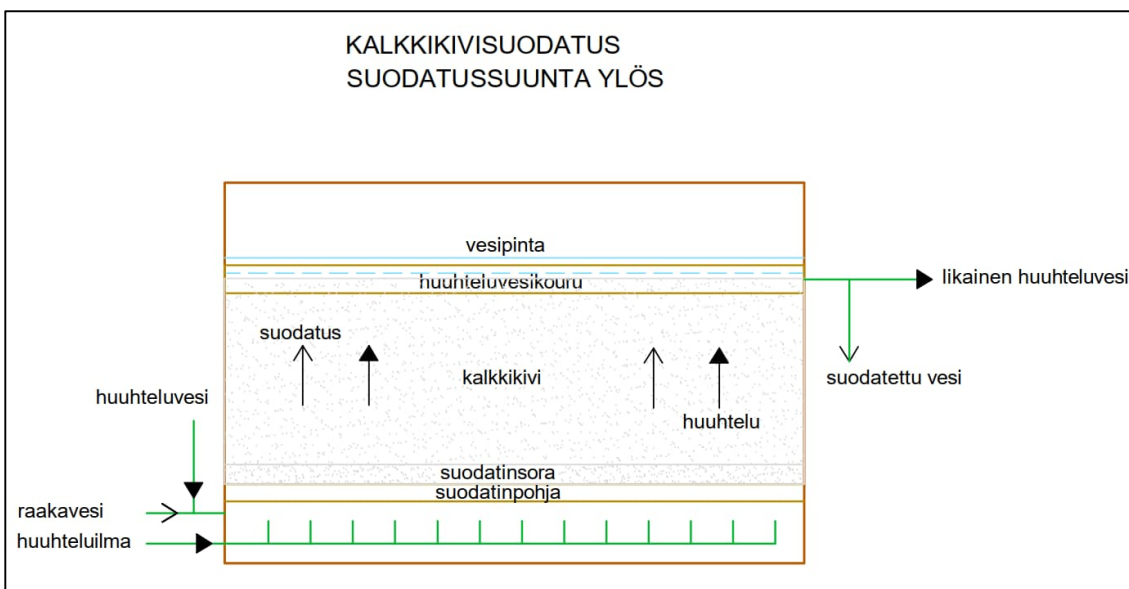


Kuva 7. Kalkkikivisuodatus, suodatussuunta alas.

Vaihtoehtoinen toteutustapa on suodatin, jossa vesi virtaa sekä suodatuksessa että huuhtelussa **alhaalta ylös**. Tässä vaihtoehdossa raakavesi, huuhteluvesi- ja ilma tuodaan suodatinpohjan alapuolelle ja sekä suodatettu vesi että liikainen huuhteluvesi poistuvat huuhteluveden poistokourun kautta.

Tämän vaihtoehdon etuna on, että suodattimen purkupuolelle ei tarvita erikseen vesipinnan säätöä, kun vesipinta jää ylivuotoreunan tasoon pumppauksen pysähtyessä. Haittapuolena on, että mahdollinen saostuvan raudan tai mangaanin kertyminen suodattimen alaosaan, jossa se jää helposti havaitsematta.

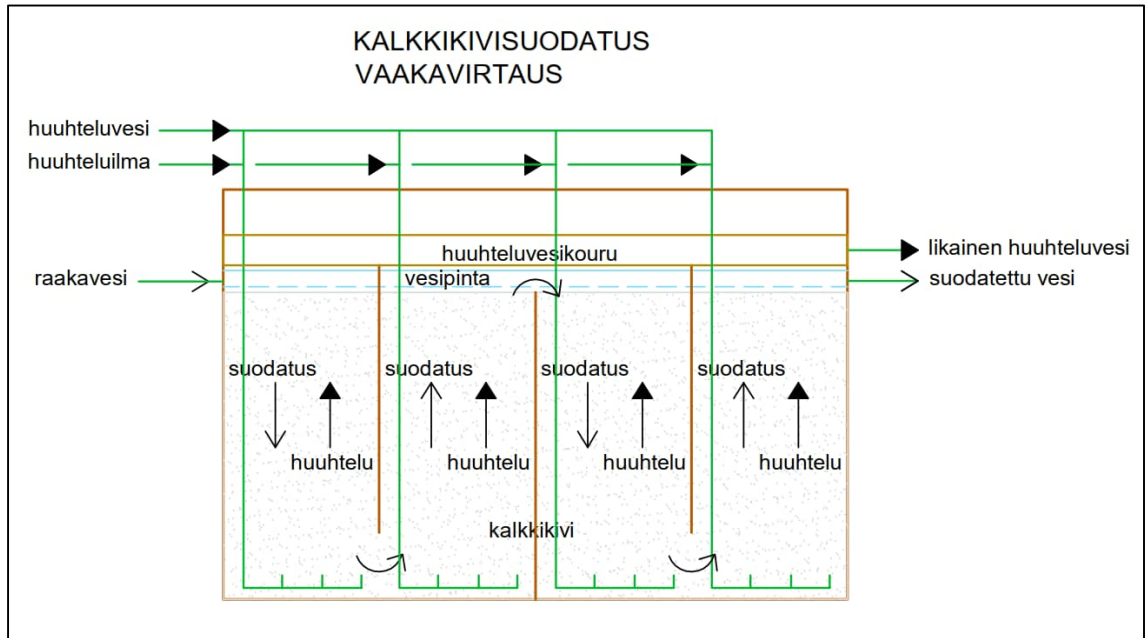
Seuraavassa kaaviokuvassa 8 on esitetty alhaalta ylös suodattava kalkkikivisuodatin.



Kuva 8. Kalkkikivisuodatus, suodatussuunta ylös.

Edellisten lisäksi kalkkikivisuodattimia on toteutettu nk. **vaakavirtasuodattimina**, joissa käsiteltävä vesi johdetaan vuorotellen ala- tai yläosastaan avoimien virtausväliseinin

varustetun altaan läpi päästä päähän. Tämä suodatintyyppi on edellä kuvattuja toteutuksia alttiimpi alkalointitehoa heikentäville oikovirtauksille. Lisäksi vaakavirtasuodattimien käytössä on esiintynyt huuhteluongelmia, jotka ovat pahimmillaan johtaneet suodattimien tukkeutumiseen. Näistä syistä vaakavirtasuodatin ei ole suositeltava vaihtoehto. Seuraavassa kaaviokuvassa 9 on esitetty vaakavirtasuodattimen toimintaperiaate.



Kuva 9. Kalkkikivisuodatus, vaakavirtaus

6.3.1.2 Painesuodattimet

Edellä kuvattujen, painovoimaiseen vedenjohtamiseen perustuvien avosuodattimien lisäksi kalkkikivisuodatus voidaan toteuttaa painesäiliöihin sijoitettuna.

Painesuodattimet ovat omilla jaloillaan seisovia teräslieriöitä, jotka käsittävät kaikki vastaavat toiminnot kuin avosuodattimet koottuna valmiiksi kokonaisuudeksi. Käyttökohteesta ja yksilöllisistä tarpeista riippuen erilaisia säiliömateriaaleja sekä sisä- ja ulkopuolisia pinnoitteita on saatavilla.

Tyypillisesti painesuodatintoitukseen sisältyy myös esivalmistettu etuputkisto venttiileineen, joka käsittää valmiit putkiyhteet suodatettavalle ja suodatetulle vedelle, tulevalle ja poistuvalla huuhteluvvedelle sekä -ilmalle. Jos suodattimien huuhtelu raakavedellä on mahdollista suodatetun veden sijaan, tämä on helppo järjestää painesuodattimen etuputkiston putki- ja venttiilijärjestelyillä.

Painesuodatuksen etuna on, että vesi voidaan tarvittaessa johtaa koko prosessin läpi suoraan jakeluverkkoon ilman välipumppauksia. Paineellinen prosessikokonaisuus mahdollistaa tarvittaessa helposti myös useamman peräkkäisen prosessivaiheen toteuttamisen ilman välipumppaustarpeita.

Painesuodattimet voidaan varustaa myös ilmastustoiminnolla (hapetus, hiilidioksidi ei kuitenkaan vähene), mikäli sellainen prosessikokonaisuuteen tarvitaan.

Painesuodatuksen perustuva käsittelyprosessi on kokonaan suljettuna järjestelmänä avosuodatuksen nähden vähemmän herkkä ulkoisille epäpuhtauksille.

Painelaitteita koskeva lainsäädäntö ja erityisvaatimukset tarkastuksineen tulee huomioida painesuodattimia käytettäessä.

6.3.1.3 Muovisäiliöratkaisut

Edellä kuvattujen vaihtoehtojen lisäksi kalkkikivisuodatus on mahdollista toteuttaa myös muovisäiliöihin. Muovinen suodatin on yleensä pystymallinen säiliö, tyypillisesti sisähalkaisijaltaan noin 3000 mm.

Toimintaperiaatteeltaan muovisäiliöratkaisut vastaavat edellä kuvattuja avosuodattimia. Muovisäiliössä ei kuitenkaan yleensä ole erillistä suodatinpohjarakennetta, vaan suodatetun veden poistoputkistot sekä huuhteluveden ja -ilman putkistot sijoitetaan säiliön pohjalle suodatinmateriaalin alle asennettavaan suodatinsorakerrokseen.

Varsinkin pienemmillä vesilaitoksilla (pienehkö kalkkikivimäärä ja suodatinyksiköiden lukumäärä) muovisäiliö voi olla hyvä vaihtoehto vesitiiviille betonirakenteille alhaisempien rakennuskustannustensa ansiosta.

Erillisistä maahan asennettavista muovisäiliöistä rakennettu laitoskokonaisuus on perinteisiä vesilaitostoteutuksia ”modulaarisempi” ja sitä on jokseenkin yksinkertaista muokata mahdollisesti myöhemmin muuttuvien tarpeiden mukaan esimerkiksi lisäsuodattimia asentamalla.

Kokonaisuus käsittää useita toisistaan erillisiä suodatinyksiköitä, alavesisäiliön/-säiliötä ja vesilaitosrakennuksen (laitetila mm. pumpuille, kompressoreille, desinfiointilaitteille, sähköistykselle ja automaatiolle), joiden välille tarvittava alueputkisto ja -kaapelointi tulee huomioida laitosalueen tilankäytössä, putkistojen suojaamisessa yms.

Suunnittelussa huomioitavia yksityiskohtia:

- Kennorakenteisena toteutettuna muovisäiliöllä on hyvä rakenteellinen kestävyys ja lämmöneristävyys. Kennorakenne suojaa myös ulkoisilta vaurioilta: ulkopinnan vaurioituessa kennorakenteen sisempi pinta voi säilyä ehjänä. Erityisesti säiliöiden suorat pääty- ja pohjalevyt on hyvä rakentaa kennorakenteisesta levyistä muodonmuutosten välttämiseksi.
- Suodatinsäiliöille on useita erilaisia asennustapoja: maan päälle, osittain tai kokonaan maan alle kaivamalla/pengertämällä. Maan alle sijoituvissa toteutuksissa tulee huomioida nosteen vaikutus tyhjään säiliöön soveltuvalla ankkurointimenetelmällä.
- Säiliöiden muovilaadun tulee olla talousvesikäyttöön soveltuva (PE-100) eikä kierrätetyn materiaalin käyttö ole suositeltavaa. Käytettävien materiaalien tulee täyttää lainsäädännössä asetettavat vaatimukset.
- Valittaessa säiliön sisäpintaan vaalea värisävy, veden pinnankorkeus säiliössä ja mahdolliset epäpuhtaudet on helppo havaita myös silmämääräisesti.
- Läpivientien ja putkiyhteiden toteutukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kaikki läpiviennit suositellaan toteutettaviksi muovihitsattuina PEH-liitoksina. Hitsausten tulee olla nk. tuplahitsauksia liitoshitsauksella säiliön sisä- ja ulkopuolella.
- Erillisinä yksiköinä ulkotiloissa sijaitsevien suodatinsäiliöiden murtosuojaukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota (lukitukset, magneetti-/luukkukoskettimet, aluevalvonta kameroin jne.). Vastaava vaatimus koskee kaikkia varsinaisen vesilaitosrakennuksen ulkopuolelle sijoitettavia käynti- ja huoltoluukkuja rakennus-/valmistusmateriaalista riippumatta.

- Suodatukseen tulevan veden jakoputkistot, suodatetun veden poistoputkistot sekä huuhteluvesi- ja -ilmaputkistot tulee sijoittaa suodattimeen tasaisesti ja riittävän tiheällä jaolla siten, että varmistetaan veden ja ilman jakautuminen koko suodatinpinta-alalle sekä suodatuksen että huuhtelun aikana.
- Suodatinsäiliön sisäpuolisten putkistojen materiaaliksi suositellaan haponkestävää terästä, jolloin saavutetaan muovia paremmin mittatarkat poraukset ja pohjaputkistosta tulee kestävämpi, eikä kalkkikiven massa aiheuta painumia tai muodonmuutoksia.

6.3.2 Laitosteknisiä näkökohtia

Seuraaviin kappaleisiin on koottu yleisiä näkökohtia, jotka on hyvä ottaa huomioon kalkkikivisuodatuslaitoksia suunniteltaessa

6.3.2.1 Layout

Erillisten suodatinaltaiden mittasuhteet ja lukumäärä tulee optimoida suhteessa prosessimitoituksen vaatimukseen (kalkkikivirouheen kokonaistilavuus, suodatuksen pinta-kuorma). Huomioitavia seikkoja:

- Suurempi suodatinlukumäärä pienentää huuhteluista, huolto- tai vikatilanteista aiheutuvaa vajausta koko laitoksen tuotantokapasiteetista
- Hyvin suuri suodatinlukumäärä nostaa tarpeettomasti toteutuskustannuksia (rakenteiden, putkistojen ja venttiilien määrä kasvaa).
- Pienempi suodatinkoko pienentää yhdessä huuhtelussa tarvittavaa huuhteluvessimäärää, millä voi huuhtelulaitemitoituksen ohella olla vaikutusta mm. laitoksen yhteyteen rakennettavan alavesisäiliön ja mahdollisen huuhteluvessien tasaustaan tilavuuteen.

Suodatukseen tulevan veden jakautuminen tasaisesti kaikkiin suodatinyksiköihin tulee varmistaa. Painovoimaisessa vedenjohtamisessa tätä voidaan edesauttaa esimerkiksi sijoittamalla suodatinaltaat tuloputkistoihin tai -kanaviin symmetrisesti esimerkiksi kahteen riviin välissä olevan putkitilan eri puolille tai käyttämällä erityistä vedenjakolaatikkoa (raakavesi tuodaan altaaseen, josta järjestetään oma ylivuoto ja putki jokaiselle suodatinsolulle erikseen). Vedenjakolaatikko on yksinkertaisin tapa toteuttaa kaikissa virtaamatilanteissa täysin tasainen veden jakautuminen suodattimiin. Useita suodattimia sisältävissä kokonaisuuksissa vedenjako voidaan toteuttaa virtausmittauksin ja säätöventtiilein säätämällä.

Kiinteiden kulkutasojen tai huollettavien laitteiden sijoittamista kalkkikivisuodatinaltaiden yläpuolelle tulee välttää, mikäli mahdollista. Tällöin pienennetään riskiä epäpuhauksien päätyemiselle alaisiin. Jos kulkutasoja on kuitenkin rakennettava, niiden tulee olla pohjaltaan umpinaisia ja nk. potkulistalla varustettuja.

Kalkkikivirouheen lisäysten yhteydessä voi olla tarpeen työskennellä suodatinaltaassa mm. rouhekerroksen pintaa tasattaessa, mikä tulee huomioida tilankäytössä (suodatinhallin sisäkorkeus suodattimien kohdalla).

Perinteisessä vesilaitostoteutuksessa avoimet vesialtaat sijoitetaan katettuun, lämmitettyyn ja hyvin valaistuun sisätilaan. Hallin ilmanvaihto varustetaan tehokkaalla tuloilman suodatuksella. Laitosrakennuksessa tulee olla tehokas kulunvalvonta ja murtosuojaus.

Suodatinlaitaissa auringonvalon vaikutuksesta tapahtuvan leväkasvun hillitsemiseksi suodatinhallia ei varusteta ikkunoilla.

6.3.2.2 Logistiikka

Kalkkikivirouheen kuljetukselle tulee rakennuksen ulkopuolelle varata riittävät ja turvalliset liikennöintitilat. Kuljetukset tapahtuvat yleensä ajoneuvoyhdistelmillä, joiden kääntösäteet tulee huomioida laitosten piha-alueiden suunnittelussa.

Kalkkikivirouheen purku säiliöajoneuvosta tapahtuu letkulla paineilma-avusteisesti puhaltamalla. Hygieniasyistä on suositeltavaa, että rakennuksen ulkoseinälle asennetaan kiinteä putkiyhde, johon kuljetusajoneuvon mukana kulkeva purkuletku (yleensä camlock-tyyppiseen liittimeen sopiva) voidaan kiinnittää. Rakennuksen sisäpuolella rouhe voidaan siirtää edelleen suodattimiin vesilaitoksen omia, puhtaita letkuja käyttäen tai jatkaa kiinteästi asennettuja putkistoja kullekin suodatinlaitteelle erikseen.

Paineilmapurkuun liittyy tiettyjä toiminnallisia reunaehtoja, kuten suurin sallittu siirtoetäisyys ajoneuvosta purkupisteeseen suodattimessa sekä ajoneuvon ja purkupisteen korkeusero. Nämä yksityiskohdat on hyvä varmistaa kuljetusyrittäjältä tapauskohtaisesti laitoksen suunnitteluvaiheessa.

Kalkkikivirouheen purkutapahtuman ergonomiaan ja turvallisuuteen tulee kiinnittää huomiota laitoksen suunnitteluvaiheessa. Putki- ja letkuyhteet tulee sijoittaa vaivattomasti käsiteltävälle korkeudelle ja helposti luokse päästävään paikkaan. Letkujen kiinnittäminen kiinteisiin putkiliittimiin suositellaan varmistettavaksi erillisellä mekaanisella lukituslaitteella paineellisen letkun äkillisen irtoamisen aiheuttamien vaaratilanteiden välttämiseksi.

Säiliöautoimitusten ohella kalkkikivirouheita toimitetaan myös suursäkeissä, joka on tarkoituksenmukaisempi toimitustapa pienimmille vesilaitoksille. Tällöin tulee suunnittelussa huomioida riittävän väljät tilat säkkikuorman purkamiselle ajoneuvosta (ensisijaisesti suoraan sisätiloihin, mikäli mahdollista) ja säkkien siirtelylle laitosrakennuksessa. Säkkien siirto ja purku suodattimiin edellyttää nostinkiskoja ja aiheutuvat kuormitukset tulee huomioida kattorakenteiden mitoituksessa.

Laitokselle toimitettava kalkkikivirouhe sisältää melko paljon pölyävää hienoaainesta, joka leviää paineilmapurun yhteydessä helposti laajalle ympäristöön. Pölyämisen hillitsemiseksi täyttöputket tai -letkut sisällä laitosrakennuksessa voidaan varustaa vesisyöttöyhteillä. Kalkkikivirouheen sekaan syötetty vesi sitoo pölyä tehokkaasti. Joissakin tapauksissa voi olla mahdollista syöttää kalkkikivirouhe vedellä täytettyyn suodatinlaitteeseen juuri vesipinnan alapuolelle, jolloin pölyn leviämistä ympäristöön ei pääse lainkaan tapahtumaan. Pölystä aiheutuvia haittoja voidaan pienentää erottamalla suodatinhalli väliseinällä laitoksen muista tiloista ja välttämällä pölylle herkkien laitteiden asentamista suodatinhalliin.

Edellä kuvatut näkökohdat koskevat nk. perinteistä vesilaitoskokonaisuutta. Muovisäiliötoteutuksissa kalkkikivirouheen lisääminen suodattimiin poikkeaa tästä ja tapahtuu käytännössä usein suodatinhallin kansiluukun kautta esimerkiksi säiliöauton letkulla. Ulkona toimiessa tulee erityistä huomiota kiinnittää riskiin epäpuhtauksien päätyminen suodattimeen täytön yhteydessä.

6.3.2.3 Huuhtelu

Kalkkikivisuodattimien huuhtelulla on useita tarkoituksia:

- poistetaan suodattimiin kertynyt sakka ja kalkkikiven liuetessa jäänyt hieno liukenematon aines.

- estetään kalkkikivirouheen pakkautumista tai tiivistymistä
- poistetaan kalkkikiven mukana tullut liukenematonta ainesta.
- vähennetään mikrobiologista kasvustoa.

Kalkkikivisuodattimet huuhdellaan yleensä vedellä ja ilmalla tai vesi-ilmaseoksella. Joitain vanhoja suodattimia ei voida lainkaan huuhdella, mikä aiheuttaa suodattimien tukkeutumista, minkä takia suodatinmassat joudutaan vaihtamaan ajoittain. Suodattimien huuhtelu samanaikaisesti ilmalla ja vedellä on tarpeen suodattimen kunnollisen toiminnan varmistamiseksi. Huuhteluilma irrottaa suodatinmassaan kertyneen aineksen ja huuhteluviedellä poistetaan irronnut aines suodattimesta huuhteluvesikouruun.

Riippumatta valittavasta suodatintyypistä tulee rakentein ja/tai putkistojärjestelyin varmistaa huuhteluvien ja -ilman jakautuminen tasaisesti koko suodatinpinta-alalle. Perinteinen betoni- tai teräsrakenteinen suutinpohja kootaan elementeistä, joiden alla olevat tukirakenteet voivat rajoittaa huuhteluilman jakautumista. Tästä syystä huuhteluilmalle suositellaan erillisen jakoputkiston rakentamista perinteisen suutinpohjan alatiilaan.

Jos käytetään yhdistettyjä huuhteluvesi- ja ilmaputkistoja, tulee pumppujen ja kompressorien vastapaineet valita siten, että samanaikainen vesi-ilmahuuhtelun on mahdollista. Huuhtelussa käytettävät laitteet tulee varustaa taajuusmuuttajin huuhteluohjelman eri osissa vaihtuvia tarpeita varten.

Jos suodatin toteutetaan kokonaan ilman suutinpohjia tai valmiita suodatinpohjajelementtejä, huuhteluviedelle ja -ilmalle on syytä rakentaa erilliset putkistot ja varmistaa, että putkistoja on riittävän tiheässä koko suodattimen pohjan alalla. Putkistot asennetaan suodatinaltaan pohjalle sijoitettavaan sorakerrokseen.

Huuhteluvesipumpun, huuhteluputkiston ja ilmakompressorin mitoitus määräytyy huuhteltavan suodattimen pinta-alan ja huuhtelussa käytettävien pintakuormien perusteella. Pintakuormien suuruudesta ei ole tarkkoja ohjearvoja ja joillain laitoksilla pintakuormat säädetään käsituntumalla. Toisin kuin hiekkasuodatuksessa, suodatinpatja ei leiju huuhtelussa. Tästä syystä samanaikaisessa vesi-ilmahuuhtelussa veden pintakuormalla ei tarvitse olla kovin suuri, esimerkiksi 10–15 m/h on riittävä ja ilmahuuhtelun vähintään noin 30 m/h. Pelkässä vesihuuhtelussa veden pintakuorman on suurempi ja huuhtelun kesto pitenee huomattavasti. Tästä huolimatta suodatin ei puhdistu kunnolla.

Suodattimet huuhdellaan yksi kerrallaan. Tehokkaassa huuhteluohjelmassa voidaan esimerkiksi aloittaa pelkällä ilmahuuhtelulla, jota seuraa vesi-ilmahuuhtelu. Lopuksi huuhdellaan pelkällä vedellä. Huuhtelun kesto on toimivassa huuhtelujärjestelmässä noin tunti. Vaakavirtasuodattimissa jokainen lohko tulee huuhdella erikseen, jolloin huuhtelun kesto on moninkertainen. Huuhtelun riittävyttä voi seurata huuhteluvien sameuden avulla. Jos huuhtelun lopussa huuhteluvesi ei ole kirkasta, huuhtelu ei ole varmasti ollut riittävä. Tosin ilman samanaikaista vesi-ilmahuuhtelua huuhteluvesi voi olla kirkasta, mutta suodattimeen on silti jäänyt epäpuhtauksia, joita pelkkä vesi- tai ilmahuuhtelu ei riitä irrottamaan. Huuhtelun jälkeen suodattimelta lähtevän veden sameus voi nousta hetkellisesti, joten suodattimen esisuodos, noin 2–3 altaanmittallista suodatettua vettä, johdetaan huuhteluvesiviemäriin pois prosessista. Sopiva esisuodoksen tilavuus varmistetaan sameusmittauksella.

Kalkkikivisuodattimien huuhteluväli vaihtelee viikoista vuosiin. Huuhteluväliin (suodattimien tukkeutumiseen) vaikuttavat muun muassa:

- liuenneen kalkkikiven määrä (riippuu virtaamasta ja suodatettavan veden hiilidioksidipitoisuudesta)
- raakaveden rautapitoisuus

- suodattimen ja huuhtelun mitoitus
- suodatintyyppi.

Suodattimia tulisi huuhdella vähintään 0,5–1 vuoden välein hienoaineksen poistamiseksi, vaikka suodattimen läpäisevyys olisi hyvä. Jos käsitellyn veden sameus tai pesäkeluku nousevat tai suodattimen läpäisevyys heikkenee, suodattimet tulee huuhdella useammin.

Suodattimen huuhtelussa muodostuu melko lyhyen ajan kuluessa suurehko tilavuus liikaista huuhteluvettä. Huuhteluvesi koostuu lähinnä kalkkikivestä, kalkkikiven joukossa olevasta liukenemattomasta aineesta ja rauta- ja mangaanisakasta. Jollain laitoksilla yli puolet huuhteluveden kiintoaineksesta voi koostua rautasakasta.

Ellei veden johtaminen suoraan vesistöön tai viemäriin ole mahdollista paikallisista olosuhteista tai rajoituksista johtuen, voidaan joutua rakentamaan huuhteluvesille erillinen tasaus- tai imeytysallas (tasaus ja tyhjennyspumppaus esimerkiksi viemäriin tai imeyttäminen maastoon). Kummassakin tapauksessa tulee suunnittelussa ottaa huomioon jäätyminen talvikaudella ja ajan kuluessa altaaseen kertyvän laskeutuvan hienoaineksen poistamismahdollisuudet esimerkiksi altaan pohjan pintakerros kuorimalla. Huuhteluvesien johtamisessa tasausaltaan kautta on kuitenkin riski, että sakka voi muodostaa altaan pohjalle tiiviin ja hankalasti poistettavan kerroksen. Huuhteluvesistä on suoraan vesistöön johdettuna myös hyötyä (mm. poistaa fosforia), mutta tälle voidaan tarvita viranomaishyväksyntä ja selvityksiä huuhteluvesien aiheuttamista mahdollisista vesistövaikutuksista.

6.3.2.4 Materiaalit

Kaikissa jatkuvasti tai ajoittain käsiteltävän veden kanssa kosketuksissa olevissa kohteissa tulee käyttää talousvedelle soveltuvia materiaaleja, joista ei pidemmälläkään aikavälillä liukene haitallisia aineita. Käytettävien materiaalien tulee täyttää lainsäädännössä asetettavat vaatimukset.

Raakaveden ominaisuudet ja paikalliset olosuhteet tulee huomioida rakenteiden suunnittelussa ja materiaalivalinnoissa, esimerkiksi raakaveden hiilidioksidi, pH, kloridi, sulfaatti.

Jos kalkkikivirouheen desinfiointiin tullaan käyttämään höyrytystä, tulee varmistaa eri rakenteiden (mm. betonialtaat) ja materiaalien (mm. muovisuuttimet) lämpötilankesto jo suunnitteluvaiheessa.

6.3.3 Kalkkikiven lisäys

Kalkkikiveä lisätään suodattimiin säännöllisesti korvaamaan kulunutta kalkkikiveä. Käytännössä useimmilla laitoksilla kalkkikiveä lisätään, kun lähtevän veden pH-arvo laskee tavoitearvosta tai kalkkikiven pinta on laskenut huomattavasti. Kalkkikiven lisäyksen jälkeen suodattimet huuhdellaan kunnolla ja desinfioidaan (kts. 7.4.).

Kalkkikiven kulumisen voidaan laskea vedenlaadun muutoksesta suodattimessa. Luotettavinta on laskea alkaliteetin tai kalsiumpitoisuuden muutoksesta (lähtevä vesi – suodatettava vesi), myös suodatetun veden hiilidioksidipitoisuutta voi käyttää.

Esimerkki: alkaliteetin muutos suodatuksessa on 0,46 mmol/l (vastaa hiilidioksidipitoisuutta 10 mg/l) ja virtaama 1 000 m³/d.

- kalkkikiveä kuluu taulukon 1 mukaisesti enintään 0,23 mmol/l eli 23 g/m³ (kalkkikiven moolipaino on noin 100 g/mol)

- kulutus vastaa 23 kg/d tai 8 400 kg/a liuennutta kalkkikiveä
- kulutuksessa pitää myös huomioida liukenematon aines (esim. enintään 7 % kokonaiskalkkikivestä), jolloin kulutetun kalkkikiven yhteispaino on noin 9 000 kg/a.
- kalkkikiven tilavuuspaino (huomioitu patjan huokoisuus) on arviolta 1500 g/m³, jolloin kulutetun kalkkikiven tilavuudeksi saadaan noin 6 m³/a.

6.3.4 Kalkkikivisuodattimen mitoitus

Kalkkikivisuodattimen mitoituksessa on huomioitava seuraavat tekijät:

- käsiteltävän veden laatu:
 - alkalointiparametrit: alkaliteetti, hiilidioksidi ja kalsium
 - rauta- ja mangaanipitoisuudet
- mitoitusvirtaama eli suodattimen läpi johdettava hetkittäinen maksimivesimäärä (m³/h) sekä päivittäin suodattimen läpi johdettava vesimäärä (m³/d)
- kalkkikivirouheen laatu (liukoisuus)
- kalkkikivirouheen raekoko
- tavoite pH-arvo suodatetulle vedelle.

Edellä mainitut muuttujat määrittelevät vaadittavan kontaktiajan. Kontaktiaika ilmoitetaan yleensä tyhjän pedin kontaktiaikana (englanniksi empty bed contact time, EBCT). Kontaktiajan perusteella voidaan laskea vaadittavan kalkkikiven irtotilavuus ($V_{\text{kalkkikivi}}$) seuraavan kaavan avulla:

$$V_{\text{kalkkikivi}} = \text{EBCT} \cdot q_{\text{mit}} / 60 \quad (11)$$

$V_{\text{kalkkikivi}}$ = Vaadittava kalkkikiven irtotilavuus (m³)
 EBCT = tyhjän pedin kontaktiaika (minuuttia)
 q_{mit} = Mitoitusvirtaama (m³/h).

Kontaktiaika voidaan ilmoittaa myös tehollisena viipymänä. Tehollisen viipymän laskeminen perustuu suodatinpatjan teholliseen vesitilavuuteen, joka saadaan, kun kalkkikivipatjan irtotilavuus kerrotaan rouhepatjan huokoisuudella (noin 0,4). Rouhepatjan huokoisuudella tarkoitetaan rouhepartikkeleiden välistä tyhjää tilaa, jossa vesi kulkee sen virratessa rouhepatjan läpi. Jos esimerkiksi pinta-alaltaan 10 m²:n suodattimessa on 1,5 m:n kerros kalkkikivirouhetta, saadaan teholliseksi vesitilavuudeksi 6 m³ (0,4*10*1,5). Käytännössä rouhepatjan huokoisuutta ei erikseen määritetä, vaikka huokoisuus vaihtelee eri kalkkivilaaduille, minkä takia suositellaan EBCT-arvon käyttöä.

Taulukkoon 4 on annettu tehtyihin kokeisiin perustuvia esimerkkejä EBCT-viipymän arvoista kalkkikivirouheen raekoon ja veden laadun eri arvoilla. Viipymä ilmoittaa ajan, jossa vesi alkaloituu halutulle tasolle (pH 7,5–8,3). Taulukossa esitetyt EBCT-arvot ovat suuntaa antavia. Taulukon arvot soveltuvat parhaiten, kun raakaveden alkaliteetti ja kalsiumpitoisuus ovat pohjavesille tyypillisiä: alkaliteetti 0,3–0,7 mmol/l ja kalsiumpitoisuus noin 5–10 mg/l. Suodatuksessa pH-arvo nousee nopeammin, jos alkaliteetti ja kalsiumpitoisuus ovat alhaisia. Jos alkaliteetti ja kalsiumpitoisuus ovat selvästi koholla, pH-arvo nousee hitaammin, mutta toisaalta kalkki-hiilihappo-tasapainon perusteella laskettu optimi-pH-arvo lähtevälle vedelle on alhaisempi.

Taulukko 4. Esimerkkejä EBCT:n (min) arvoista kalkkikivirouheen raekoon ja raakaveden laadun funktiona.

Raakavesi	Raekoko 2–5 mm	Raekoko 5–8 mm
Hiilidioksidi 5–10 mg/l,	20–40 min	40–60 min
Hiilidioksidi 10–20 mg/l,	40–60 min	80–120 min
Hiilidioksidi 20–30 mg/l,	≥ 50 min	≥ 100 min

Taulukon 4 viipymien ja kaavan 11 avulla voidaan alustavasti arvioida vaadittava kalkkikivirouheen minimimäärä. Jos laitoksen mitoitusvirtaama on esimerkiksi 15 m³/h, veden hiilidioksidipitoisuus 10–15 mg/l ja alkaliteetti noin 0,5 mmol/l, raekokoa 2–5 mm olevaa rouhetta tarvitaan noin 10–15 m³ [40x15/(60)–60x15/60]. Mitoituksessa tulee huomioida myös kalkkikiven kuluminen, mikä laskee kontaktiaikaa ajan kuluessa.

Yleensä kalkkikiveä lisätään suodattimiin 1–2 vuoden välein, joten suodattimet tulee mitoittaa niin, että pH-tavoite saavutetaan vielä juuri ennen kalkkikiven lisäystä. Esimerkiksi, jos suodattimilta vaadittava tilavuus tavoite-pH-arvon saavuttamiseksi on 10 m³ ja vuodessa kuluva kalkkikiven tilavuus on 2,5 m³, suodattimien minimi-tilavuus on yhteensä 15 m³, jos kalkkikiveä lisätään kahden vuoden välein.

Suodattimen korkeus avosuodattimissa on tyypillisesti noin 1,5–4 m riippuen suodattimien asennuspaikasta ja käytävissä olevasta tilasta. Kalkkikivisuodattimien mitoituspintakuormat ovat tyypillisesti välillä 2–5 m/h. Painesuodattimien mitat ovat valmistaja-kohtaisia.

6.3.5 Kalkkikivisuodatuksen tarkkailu

Vesilaitoksen omavalvonta koostuu toimintaympäristön, vedenkäsittelyn ja vedenlaadun tarkkailusta. Tarkkailutarve ja -käytännöt vaihtelevat laitoksen ja prosessin mukaan.

Kalkkikivisuodatuslaitos ei tarvitse henkilökuntaa jatkuvasti paikalle, joten toimintaympäristön tarkkailu voidaan suorittaa säännöllisten tarkastuskäyntien aikana, kuten automaatiomittauksien ja avosuodattimien tarkistus.

Alkalointia seurataan usein vesinäytteitä ottamalla ja lähtevän veden jatkuvatoimisella pH-mittauksella. Omavalvontanäytteillä on tärkeää normaalin mikrobiologisen laadun tarkkailun lisäksi seurata ainakin seuraavia parametrejä säännöllisesti raakavedestä ja lähtevästä vedestä: pH, alkaliteetti, kalsium ja hiilidioksidi. Vähintään pH-arvoa ja alkaliteettiä tulee tarkkailla useita kertoja vuodessa. On suositeltavaa seurata säännöllisesti myös sameutta, jota voidaan seurata myös jatkuvatoimisella mittauksella. Pintavesilaitoksen sekasuodattimien jälkeen tulee seurata sameutta omavalvonnassa, koska suodatuksella poistetaan kiintoainetta. Poistettavia metalleja ja ammoniumia seurataan raakavedestä ja lähtevästä vedestä, jos niitä esiintyy raakavedessä.

Säännölliset omavalvontanäytteet otetaan yleensä vain raakavesistä ja lähtevästä vedestä, mutta näytteenottohanoja on hyvä olla ennen kalkkikivisuodatusta, jos laitoksella on esikäsittely, sekä erikseen jokaisen suodattimen lähtevästä vedestä. Esimerkiksi kalkkikiven lisäyksen ja altaiden kloorauksen jälkeen, mikrobiologinen laatu tulee tarvittaessa voida määrittää erikseen yksittäisiltä altailta.

6.3.6 Pilotkokeet

Kalkkikivisuodattimen mitoitus (EBCT) ja haitallisten metallien ja ammoniumin riittävä poistuminen kannattaa varmistaa pilot-kokeilla. Pilotkokeilla voidaan optimoida suodatuksen tilantarve. Pilotkokeita suositellaan etenkin, jos vedessä on kohonneita rauta- tai mangaanipitoisuuksia. Kokeet ovat helposti ja kohtuullisin kustannuksin järjestettävissä.

Raakavesi pilot-laitteistoon tulisi pyrkiä ottamaan sellaisesta kohdasta, jossa veden laatu vastaa alkaloitavaksi aiottavan veden laatua. Jos alkalointi tapahtuu esim. raudanpoiston jälkeen, on raakavesi otettava raudanpoistolaitoksen jälkeen. Jos kalkkikivialkalointia kaavaillaan ainoaksi käsittelymenetelmäksi, on syöttövesi pilot-laitteistoon pyrittävä ottamaan sellaisesta kohdasta, johon varsinaista alkalointia on kaavailtu.

Pilot-laitteisto voi rakentaa siten, että vesi virtaa alhaalta ylöspäin poistuen suodatinpatjan yläpuolelta. Tällä tavalla vältetään hiilidioksidin poistuminen ennen kalkkikivialkalointia. Jos on tarvetta ilmastaa vettä tai poistaa hiilidioksidia, ylhäältä alas suodatus on parempi. Suodatin ei saa tyhjentyä virtauksen pysähtyessä. Oikovirtauksien minimoimiseksi koesuodattimen suodatinkerroksen (kalkkikivirouhepatjan) paksuuden tulisi olla vähintään metri. Koelaitteen seinämä vaikuttaa tuloksiin, joten halkaisija ei saa olla liian pieni, jos mahdollista yli 300 mm. Jos laitteisto ei ole auringolta suojatussa tilassa, tulisi suodattimet suojata valolta leväkasvun estämiseksi. Viipymää tulisi voida säätää testattavalla välillä esimerkiksi 15 ja 120 min (kuva 10).



Kuva 10. Teknillisen korkeakoulun (nyk. Aalto yliopisto) vesihuoltolaboratorion tutkimuksissaan käyttämä pilot-laitteisto. Ylävesisäiliö on peitetty mustalla muovilla roskien ja pölyn pääsyn estämiseksi pilot-laitteistoon.

Kahden rinnan toimivan suodattimen avulla voidaan raakaveden mahdollisesta laadunvaihtelusta aiheutuva epävarmuus eliminoida ja siten luotettavammin verrata eri tekijöiden vaikutusta veden laatuun.

Yksinkertaisella pilot-laitteistolla voidaan tutkia mm. seuraavia asioita:

- eri raekokojen vaikutus veden laatuun
- eri rouhetyyppien vaikutus veden laatuun
- viipymän vaikutus veden laatuun
- saavutettavissa oleva veden laatu

Pilotkokeiden tekeminen on varsin nopea tapa selvittää eri muuttujien vaikutusta, sillä alkaloitusreaktio saavuttaa tasapainon nopeasti. Kokeen alussa on huuhdeltava mahdollisimman tehokkaasti hienoaineksen poistamiseksi. Käytännössä kannattaa odottaa ainakin aika, jolloin suodattimen läpi on virrannut vettä 5–10 kertaa EBCT viipymä ennen näytteenottoa.

Pilotkokeiden aikana otetaan raakavesinäytteitä, josta määritetään laboratoriossa kalsiumpitoisuus, pH, alkaliteetti, hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila sekä raakavedestä riippuen rauta, mangaani, alumiini, nikkeli ja ammonium. Mangaanin ja ammoniumin poistumisen käynnistyminen voi kestää useita kuukausia, mikä on otettava huomioon koeaikataulussa. Raakaveden ja käsitellyn veden pH-arvoa kannattaa seurata pilotkokeiden aikana myös kenttämittauksin.

Pohjavesilaitoksissa raakaveden hiilidioksidipitoisuus voi vuoden aikana vaihdella paljonkin. Pilotkokeet tulisi mielellään järjestää ajankohtana, jolloin pitoisuus on suurimmillaan. Hiilidioksidipitoisuuden vaihteluväli on tärkeä lähtötieto myös itse laitoksen suunnittelussa.

Pilotkokeiden teettämisestä ja koeohjelmasta kannattaa keskustella myös konsulttien ja rouhetoimittajien kanssa.

6.4 MUUT SOVELLUSKOHTEET

6.4.1 Mekaaninen reaktori

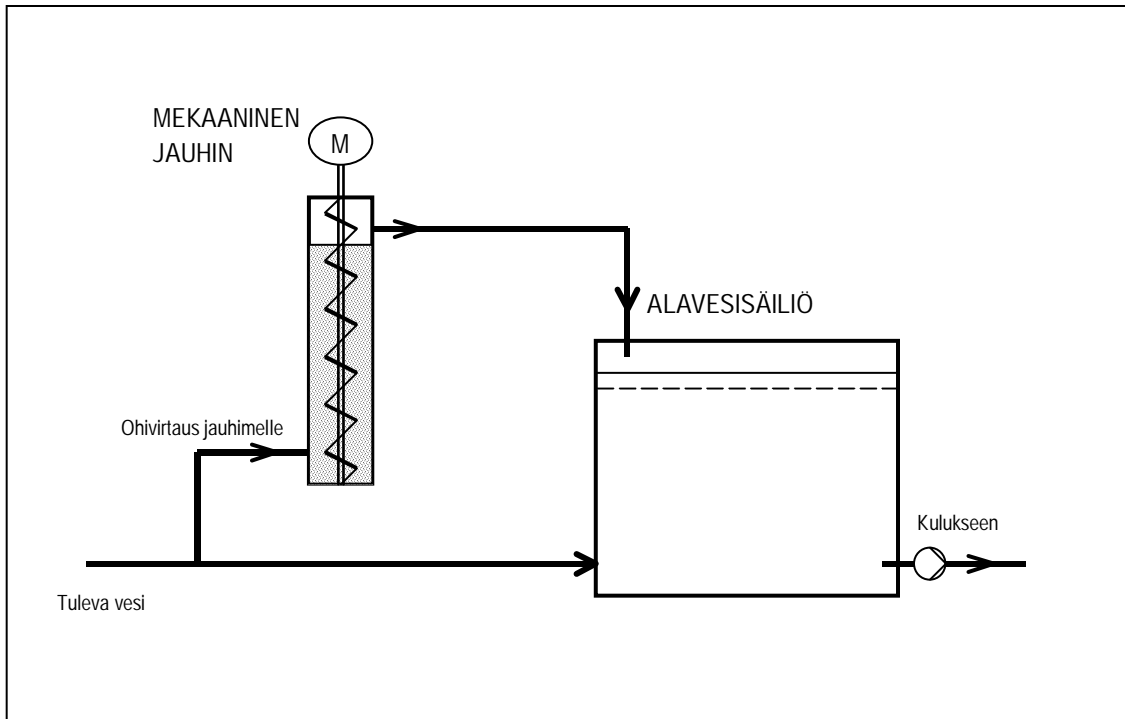
Kalkkikivisuodatuksessa usein vaadittava viipymä (EBCT) on 0,5–1 tuntia, mikä johtaa varsin suuriin suodatinallastilavuuksiin alkaloitavan vesimäärän ollessa suuri. Tästä syystä eri yhteyksissä on selvitetty mahdollisuuksia lyhentää vaadittavaa viipymää ja pienentää suodattimien kokoa.

Suodatuksen toteuttamista on kokeiltu ns. leijupetitekniikan avulla, jossa alkaloitava vesi virtaa liikkeessä pidettävän kalkkikivirouheen läpi. Leijutuksen avulla pyrittiin pienentämään suodatuksen viipymää parantamalla liukenemisen fysikaalis-kemiallisia edellytyksiä. Tutkitulla menetelmällä ei kuitenkaan saavutettu haluttua vaikutusta. Alkuperäisen Kalkkikivialkalointi-projektin yhteydessä on kehitetty menetelmä, jossa kalkkivirouhetta sekoitetaan mekaanisesti reaktorissa. Tällöin rouheesta irtoaa erittäin pieniä hiukkasia, jotka veden mukana johdetaan alavesisäiliöön. Siten menetelmässä alkaloitavaa vettä ei suodateta, vaan kalkkikivi jauhetaan veden joukkoon, jossa alkaloitusreaktio tapahtuu. Jauhetussa hiukkasmaisessa kalkkikivessä on erittäin suuri reaktiopinta-ala, ja alkaloituminen tapahtuu teoriassa perinteistä suodatusta nopeammin. Laboratoriotesteissä alkaloituminen saavutetaan kalkkikivialkalointiin soveltuvalla vedellä noin 5 min viipymällä.

Ensimmäinen menetelmää hyödyntävä laitos oli käytössä Haukiputaan Onkamon vedenottamalla kesästä 2001 lähtien muutaman vuoden (kuva 11). Laitoksen kapasiteetti oli noin 2000 m³/d. Kalkkikiven seassa oleva liukenematon aines suodatettiin pois lähtevästä vedestä kivivillan avulla. Kivivillan saatavuudessa oli kuitenkin ongelmia ja sen puhdistaminen ja vaihtaminen oli työlästä, joten laitoksen prosessi vaihdettiin.

Myös Kangasalalla on ollut mekaanista jauhinta käyttävä laitos. Laitoksella esiintyi kuitenkin useita ongelmia. Lähtevän veden pH-arvo ei kohonnut riittävän korkeaksi ja kalkkikivi ei liuenut kunnolla, vaan muodosti näkyvän suspension alavesisäiliöön. Kalkkikiven kovempi liukenematon aines kulutti jauhinkalusteita. Prosessista luovuttiin myös Kangasalalla.

Jotta prosessi toimisi kunnolla, mm. liukenemattomalle kalkkikivelle täytyy olla jokin käsittelymenetelmä. Lisäksi jos kalkkikiveä ei desinfioida ennen jauhamista, aiheuttaa sen annostelu lähtevään veteen mikrobiologisen saastumisriskin. Prosessia ei sellaisenaan suositella käytettäväksi uusilla laitoksilla.



Kuva 11. Periaatekuva mekaanisesta jauhimesta, jonka käytöstä on luovuttu.

6.4.2 Sekasuodattimet

Mixed bed -suodattimella eli sekasuodattimella tarkoitetaan suodatinta, jossa suodatintäpässä on sekä hiekkaa että hienoa kalkkikiveä. Tällaisia suodattimia on tutkittu Suomessa etenkin pintavesilaitoksilla korvaamaan perinteisiä hiekkasuodattimia selkeytyksen jälkeen. Sekasuodattimia voidaan käyttää myös pohjavesilaitoksilla, jos metallien poistoa halutaan tehostaa, mutta veden pH-arvoa ei tarvitse nostaa paljon. Mixed bed -suodattimessa yhdistyy kalkkikivialkalointi sekä fysikaalinen hienopartikkelien erotus hiekkasuodatuksella. Alkalointi suodattimessa vähentää jälkikemikalointia tai korvaa sen kokonaan riippuen tavoite pH-arvosta ja prosessista suodatuksen jälkeen. Suodattimessa voi tapahtua jonkin verran myös yhdisteiden biologista poistumista kuten muisakin hiekkasuodattimissa riippuen pH-arvosta ja huuhteluveden klooripitoisuudesta.

Mixed bed -suodatusta on tutkittu muun muassa Pitkälkosken pintavedenkäsittelylaitoksella, mistä on julkaistu Sophia Zolaksen tekemä diplomityö (Mixed bed –suodatus osana vedenpuhdistusprosessia, 2010). Mixed bed- suodatusta käsitellään myös Vilja Voutilaisen DI-työssä (Limestone filtration in surface water treatment, 2010), jossa on vertailtu hiekan ja kalkkikiven erilaisia sekoitussuhteita.

Mixed bed -suodattimissa käytettävä kalkkikivi voi olla raekoolta hyvin pientä, jolloin se sekoittuu huuhtelussa hiekan sekaan. Pitkälkoskella käytetään kalkkikiveä raekoolla 0,5–1,5 mm kvartsihiekan (0,5–1,0 mm) kanssa. Suodatusmateriaalien suhde on 1/3 kalkkikiveä ja 2/3 hiekkaa. Suodattimessa on hyvin lyhyt viipymä verrattuna perinteiseen kalkkikivisuodatukseseen. Pitkälkoskella kokonaisviipymäksi laskettiin 10 min (noin 3,3 min kalkkikivelle), joka nostaa suodattimille tulevan selkeytetyn veden pH-arvon 4,8–5,0. tavoitetasolle (pH 7). Pienirakeinen kalkkikivi kuluu nopeasti ja lisäysväli on lyhyt.

Mixed bed -suodattimien lisäksi vesilaitoksilla on käytössä kerrossuodattimia. Esimerkiksi Oulun pintavesilaitoksella on käytössä monikerrossuodatus. Suodattimissa on 0,2

m kalkkikiveä (raekoko 2-4 mm) + 1 m hiekkaa, jolloin kalkkikivi erottuu hiekasta huuhtelun jälkeen. Suodattimiin lisätään kalkkikiveä noin kerran vuodessa. Oulussa on todettu pilotkokeissa, ettei pintavesilaitoksilla suodattimissa voida käyttää pelkästään kalkkikiveä haitallisen mikrobikasvun takia.

Toiminnallisuudeltaan (huuhteluväli, pintakuormat, tarkkailu mm. sameus, suodattimien huolto) sekasuodattimet vastaavat hiekkasuodattimia, mutta suodattimet on desinfioitava joka kerta kalkkikiven lisäyksen jälkeen jollei käytössä ole valmiiksi desinfioitua kalkkikiveä.

6.4.3 Käänteisosmoosilaitokset

Kalvosuodatus käänteisosmoosi- tai nanosuodatuslaitteistolla on vedenkäsittelymenetelmä, joka on hyvin tehokas poistamaan vedestä aineita, joita muut menetelmät eivät poista. Käänteisosmoosia (RO) käytetään Suomessa etenkin fluoridin poistamiseen pohjavesistä. RO:ta voidaan käyttää myös mm. suolan poistamiseen pohjavedestä tai merivedestä. RO poistaa myös kalsiumia ja alkaliteettia, mutta ei hiilidioksidia, minkä takia suodatetun veden pH-arvo on hyvin matala. Kalkkikivisuodatus soveltuu usein erinomaisesti RO:n jälkikäsittelyksi, koska suodatus lisää veteen kalsiumia ja alkaliteettia enemmän kuin useat muut vedenkäsittelymenetelmät (Taulukko 1).

6.5 HIILIJALANJÄLKI

Kalkkikiveä pidetään ympäristöystävällisenä vaihtoehtona useille muille alkalointikemikaaleille, sillä sen hiilijalanjälki on pienempi (Vesihuoltolaitoksen ilmastotyökalut, 2023). Vesihuollon kasvihuonekaasupäästöt Suomessa ja päästövähennystoimien vaikutavuuden arviointi (2023) mukaan kalkkikiven hiilijalanjälki on huomattavasti pienempi kuin sammutetulla kalkilla. Sammutetun kalkin päästökerroin on noin kolminkertainen kalkkivirouheeseen verrattuna, mitä hiukan tasoittaa se, että kalkkivirouhetta annostellaan keskimäärin 1,35 kertaa enemmän. Päästökerroin kertoo, kuinka paljon päästöjä aiheutuu annosteltua kemikaalikiloa kohden.

Sekasuodattimiin siirtyminen pintavesilaitoksilla pienentää vesilaitoksen hiilijalanjälkeä. Pintavesilaitoksilla sammutettua kalkkia kuluu neutraloinnin lisäksi alkaliteetin nostoon (kalsiumbikarbonaatin lisäämiseen). Koska kalkkikivi sisältää karbonaattia, veteen tarvitsee lisätä vähemmän hiilidioksidia. Tämä myös pienentää hiilijalanjälkeä kalkkikiven eduksi. Vesilaitokset voivat laskea suuntaa antavia tietoja elinkaarisista kasvihuonekaasupäästöistä omilta laitoksiltaan käyttäen Suomen ympäristökeskuksen julkaisemaa Vesihuki-laskuria.

7 MIKROBIOLOGISEN LAADUN HALLINTA

7.1 KÄSITTEET

Ulosteperäisellä saastumisella tarkoitetaan kalkkikiven saastumista ihmisten tai eläinten ulosteista peräisin olevilla mikrobeilla. Ulosteperäisen saastuminen osoitetaan vedestä mikrobiologisten määritysten avulla (*Escherichia colin* osoittaminen).

Mikrobikasvulla tarkoitetaan suodattimessa tapahtuvaa mikrobiologista kasvua, joka ilmenee heterotrofisen pesäkeluvun kasvuna.

Desinfiointi on menetelmä, jolla mikrobeja tuhoetaan vedestä tai muusta materiaalista. Tässä julkaisussa ei käsitellä kalkkikivialkaloinnin jälkeistä desinfiointia.

7.2 ULOSTEPERÄINEN SAASTUMINEN

Kalkkikiven saastuminen ihmisten tai eläinten ulosteilla voi tapahtua jakeluketjun eri vaiheissa:

- avovarastointi tuotantoalueella
- kuljetus vesilaitokselle
- suodattimien täyttäminen.

Ennen jakelukuljetuksia irtotavarana toimitettava kalkkikivirouhe varastoidaan avovarannoissa. Avovarannoissa on periaatteessa mahdollista, että kalkkikiveen joutuu pieniä määriä eläinten ulostetta. Hienommat raekoot aina 3–6 mm:n rouheesta alaspäin varastoidaan siiloissa.

Kuljetuksessa tulee edellyttää puhtaan auton käyttöä ja suodattimien täytön yhteydessä on syytä kiinnittää erityistä huomiota työhygieniaan (mm. vaatetuksen ja jalkineiden puhtaus, täytön yhteydessä eläinten pääsy kohteille estettävä).

7.3 SUODATTIMESSA TAPAHTUVA MIKROBIKASVU

Kalkkikivisuodatus poistaa vedestä partikkeleja ja samalla hieman mikrobeja. On kuitenkin epäilty, että kalkkikivirouheesta voi liueta veteen aineita, lähinnä fosforia, jotka voisivat edistää vesijohtovedessä tapahtuvaa luontaista mikrobikasvua. Suomessa tehtyjen yksittäisten selvitysten perusteella on todettu, että rouheesta ei liukene veteen mikrobikasvua edistäviä aineita. Koska kalkkikivirouheen kemiallinen koostumus saattaa jonkin verran vaihdella erilaisissa geologisissa esiintymissä, asia on tarvittaessa tarkistettava tapauskohtaisesti.

Käytössä olevissa kalkkikivisuodattimissa on kuitenkin havaittu mikrobin kasvua. Syyksi on todettu kalkkikivirouheen joukkoon joutunut orgaaninen aines kuljetuksen, suodattimen täytön tai käytön yhteydessä. Mikrobikasvua voi myös esiintyä, jos suodatin on alttiina valolle. Tällöin suodattimelle voi kasvaa levää. Leväsolujen kuollessa niiden hajoaminen tapahtuu biologisesti, mikä johtaa heterotrofisten bakteereiden määrän kasvuun. Sama ilmiö voi olla havaittavissa myös suodattimelle kertyvässä rauta- ja mangaanisakassa. Heterotrofisten bakteerien määrän (pesäkeluku) kasvua on havaittu joillain laitoksilla, jos suodattimien huuhteluväli on liian pitkä.

Suodattimessa tapahtuvaan mikrobiologiseen kasvuun voidaan vaikuttaa seuraavilla toimenpiteillä:

- Irtorouheen kuljetuksessa käytetty kalusto puhdistetaan siten, ettei rouhe liikaannu kuljetuksesta eikä sen mukana suodattimille pääse orgaanista ainesta. Puhtausvaatimus tulee olla osa kuljetusehtoja.
- Huolehditaan, että suodatinaltaat ovat ehdottoman puhtaat ja desinfioidut ennen suodattimien täyttöä ja että epäpuhtauksia ei joudu suodattimeen täytön yhteydessä.
- Kalkkikivisuodattimet pidetään valolta suojassa, jotta leväkasvua ei pääse syntymään.
- Suodatinaltaisiin ei käytön aikana pääse mitään likaavia aineita: altaat ovat katettuina, eläinten pääsy altaaseen on estetty, altaan korvausilma on suodatettua.
- Huuhdellaan suodattimet säännöllisin väliajoin sellaisella tiheydellä, että suodatetun veden laatu pysyy hyvänä. Suodattimien huuhtelulla poistetaan muiden epäpuhtauksien ohella suodattimelle hitaasti kertyvät, mikrobeja suuremmat pieneliöt.

Kaikki suodattimissa tapahtuva mikrobiologinen toiminta ei ole lähtökohtaisesti haitallista. Esimerkiksi mangaanin ja ammoniumin poistamiseen osallistuvat bakteerit eivät ole haitallisia, jos suodatetun veden pesäkeluku pysyy alhaisena.

Kalkkikivisuodatuksen jälkeinen veden desinfiointi tuhoaa suodattimesta veteen joutuvat mikrobit. Desinfiointi on muutoinkin suositeltavaa, etenkin jos riski laitoksen raakaveden saastumisesta ulosteperäisillä mikrobeilla on olemassa.

7.4 SUODATTIMEN DESINFIOINTI

7.4.1 Yleistä

Ennen käyttöönottoa tai kalkkikivirouheen täydennyksen jälkeen kalkkikivisuodatin tulee ensin huuhdella kunnolla, jonka jälkeen suodatin desinfioidaan. Huuhtelulla poistetaan kalkkikivestä pölymäinen aines ja lika-aineet. Desinfiointi on välttämätöntä, vaikka kalkkikivi toimitetaan laitokselle valmiiksi desinfioituna ja hyvä hygienia on varmistettu kuljetuksen ja kalkkikiven lisäyksen aikana. Desinfiointi voidaan toteuttaa joko kemiallisesti klooraamalla tai termisesti höyryttämällä.

Jos ongelmana on heterotrofinen mikrobikasvu, desinfiointi tuo vain tilapäisen avun. Mikrobikasvu palautuu entiselle tasolle muutamassa viikossa niin kauan kun suodattimessa on jäljellä mikrobeille käyttökelpoista orgaanista ainesta.

7.4.2 Kuuman höyryn käyttö

Höyryttäminen soveltuu ainoastaan suodattimille, joiden kaikki materiaalit kestävät korkeita lämpötiloja. Suodatinrakenteet eivät tällöin saa sisältää muoviosia ja lämmön kestävyys on otettava huomioon myös teräsbetonirakenteissa. Höyrydesinfioinnin toteuttaminen onnistuu kalustolla, jota on mm. höyryn tuottamiseen erikoistuneilla yritysillä. Menetelmä on nopea ja helposti toteutettavissa eikä siitä juurikaan synny jätevesiä. Suomessa kalkkikiven höyrydesinfiointia on käyttänyt mm. Tuusulan seudun vesilaitos-kuntayhtymä.

7.4.3 Desinfiointi kloorilla

Klooridesinfiointi voidaan toteuttaa joko natriumhypokloriitilla tai kalsiumhypokloriitilla. Natriumhypokloriittia on saatavissa mm. 30 litran kanistereissa joko 10- tai 15-prosenttisenä liuoksena. Kloorausoppaassa (VVY) on tarkempia tietoja kloorikemikaaleista ja niiden saatavuudesta sekä kalkkikivisuodattimen kloorauksesta.

Puhtaan kalkkikiven on todettu vähentävän veden klooripitoisuutta. Vähennemisnopeus riippuu käytettävästä raekoosta ja sen on todettu olevan noin 2 mg Cl/l/h (3–6 mm) ja noin 1,2 mg/Cl/l/h (4–8 mm). Tästä syystä klooripitoisuuden tulee aluksi olla korkea, eikä suodatinta voida pitää tuotantokäytössä. Kunnollisen desinfiointivaikutuksen aikaansaamiseksi kloorin alkupitoisuuden tulee olla 20–50 mg/l ja vaikutusajan 15–24 tuntia.

Kloorin alkupitoisuuden tavoite esim. 30 mg/l saadaan, kun lisätään 10 % natriumhypokloriittia noin 1,5 dl käsiteltävää vesikuutiometriä kohden. Käsiteltävä vesikuutiometri lasketaan suodatinpatjan tehollisen tilavuuden (kts. 6.4) ja suodattimen yläpuolelle vapaaksi jäävän vesitilavuuden summana. Jos käytetään rakeista kalsiumhypokloriittia, annostelu esim. HTH-rakeilla on noin 30 g käsiteltävää vesikuutiota kohden. Desinfiointiliuoksen valmistaminen rakeisesta kalsiumhypokloriitista on tehtävä valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Nestemäinen hypokloriitti annostellaan suodattimelle johtavaan vesivirtaan. Kun suodattimelta lähtevässä vedessä on riittävä klooripitoisuus (johdetaan poistoviemäriin), vettä seisotetaan vuorokausi

Desinfioinnissa käytettävät kloorikemikaalit ovat terveydelle vaarallisia, joten niiden käsittelyssä on noudatettava kunkin kemikaalin käyttöturvallisuustiedotetta. Hypokloriitti ei saa joutua kosketuksiin happojen tai muiden happamien kemikaalien kanssa (esim. saostuskemikaalit), sillä tällöin vapautuu myrkyllistä kloorikaasua.

Desinfioinnin jälkeen suodattimet tyhjenetään desinfiointiliuoksesta ja huuhdellaan ennen käyttöönottoa. Huuhtelu on riittävä, kun vedestä ei enää todeta kloorijäämiä. Suodatetusta vedestä otetaan vesinäyte, josta määritetään koliformiset bakteerit, *E. coli* ja heterotrofinen pesäkeluku.

Klooripitoisten vesien johtaminen pois laitokselta on selvitettävä etukäteen. Jos huuhteluedet johdetaan luontoon, tulisi asiasta olla yhteydessä kunnan ympäristönsuojeluviranomaiseen, vaikka toimenpide ei yleensä ympäristönsuojelulain mukaista lupaa vaadikaan. Kloori on vesieliöille haitallista jo hyvin alhaisissa pitoisuuksissa. Huuhteluedet voidaan johtaa myös viemäriverkkoon, sillä jätevesissä klooripitoisuus alenee nopeasti. Asiasta on kuitenkin sovittava tarkemmin viemärlaitoksen kanssa, sillä kloori haittaa jätevedenpuhdistamon aktiivilietteen mikrobeja ja kloori muodostaa orgaanisen aineen kanssa haitallisia klooriyhdisteitä. Ennen klooripitoisten vesien johtamista luontoon tai viemäriin, voidaan kloori neutraloida kemikaalilla (deklooraus)

8 KIRJALLISUUS

OPPAAN PÄIVITYS (vuonna 2023):

E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton. 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater (23. painos), American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation

SUEZ Group. SUEZ's Degremont® water handbook. Digitaalinen käsikirja, nähtävillä: www.suezwaterhandbook.com [viitattu 14.2.2024]

Hiilijalanjälki:

Lehtoranta S., Laukka V., Mölsä K., Linjama J., Pesu J., Laitinen J. 2023. Vesihuollon kasvihuonekaasupäästöt Suomessa ja päästövähennystoimien vaikuttavuuden arviointi, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 31

Suomen Vesilaitosyhdistys ry. 2023. Vesihuoltolaitoksen ilmastotyökalut, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 83, Helsinki

Korroosion estäminen

Pelto-Huikko A. ja Martti Latva M. 2022. Hyvät toimintatavat kiinteistöjen kuparisten vesijohtojen syöpmisen ehkäisemiseksi, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 76, Helsinki

American Water Work Association (AWWA). 2017. Internal Corrosion Control in Water Distribution Systems, Manual of Water Supply Practices M58 (toinen painos)

Kaunisto T., Latva M., Pelto-Huikko A. ja Salonen N. 2020. Kiinteistöjen kupariputkien korrosio, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 62, Helsinki

Norsk Vann. 2022. Korrosjonsbeskyttelse – erfaring og ny kunnskap, Rapportnummer: 274/2022

Muut soveltamiskohteet

Sophia Zolas. 2010. Mixed bed –suodatus osana vedenpuhdistusprosessia, Diplomityö, Aalto-yliopisto

Voutilainen Vilja. 2010. Limestone filtration in surface water treatment, Diplomityö, Aalto-yliopisto

Mikrobiologisen laadun hallinta

Norsk Vann, Suomen Vesilaitosyhdistys ry ja Svenskt Vatten. 2019. Työkalu taudinaiheuttajien poistotehon arviointiin vedentuotantoketjussa, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 54, Helsinki

Suomen Vesilaitosyhdistys ry. 2014. Talousveden klooraus, Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 59, Helsinki

Lainsäädäntö ja soveltamisohje

Valtioneuvoston asetus talousveden tuotantoketjun riskienhallinnasta ja omavalvonnasta 7/2023, annettu Helsingissä 5.1.2023, nähtävillä: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230007>

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laadusta ja valvonnasta sekä rakennusten vesilaitteistojen riskienhallinnasta 1352/2015, annettu Helsingissä 27.11.2015, nähtävillä: www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20151352

Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. Talousvesisäännösten soveltamisohje. nähtävillä: www.valvira.fi/terveydensuojelu/talousvesisaannosten-soveltamisohje [viitattu 4.6.2024]

EDELLINEN OPAS (julkaistu vuonna 2002):

Kalkkikivialkalointi-projektin tutkimusraportit

Aromaa J. 2001. Vesijohtoveden korroosion estäminen kalkkikivialkaloinnilla, Teknillinen korkeakoulun materiaalitekniikan ja metallurgian julkaisuja, TKK-MK-122, Espoo

Kiisto K. ja Järvinen A. 2001. Talousveden mikrobiologinen laatu kalkkikivisuodatuksessa, Teknillinen korkeakoulu, Vesihuoltotekniikan laboratorio sarja B, TKK-VHT-B-7, Espoo

Palomäki J, ja Kuorikoski A. 2001. Kalkkikivialkalointi Länsi-Suomen ympäristökeskuksen alueen vesilaitoksilla, Alueelliset ympäristöjulkaisut nro 215, Länsi-Suomen ympäristökeskus, Vaasa

Raassina S. ja Suokas T. 2001. Kalkkikivialkalointia käyttävät vesilaitokset Suomessa, Suomen ympäristökeskuksen moniste nro 207, Suomen ympäristökeskus, Helsinki

Muut kalkkikivialkalointiin liittyvät tutkimusraportit

Antola, S. 1998. Pohjaveden alkalointi kalsiittisella kalkkikivellä. Diplomityö. Ympäristötekniikan osasto, Tampereen teknillinen korkeakoulu. Tampere

Hedberg, T. 1983. Undersökning av alkaliska filtermassor. Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Chalmers tekniska högskola. Publikation 6:83. Göteborg

Hietala, J. 2000. Kalkkikivialkaloinnin tehostaminen ja mitoitus. Diplomityö. Rakennustekniikan osasto, Oulun yliopisto. Oulu

Horkeby, G. 1992. Filtermassor för avsyrrning. Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Chalmers tekniska högskola. Publikation 1:92

Horkeby, G. 1997. Treatment of acidic ground water containing iron and manganese. Licentiate thesis. Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Chalmers tekniska högskola. Report 1:1997

Rontu, M. 1992. Pohjaveden alkalointi kalkkikivisuodatuksella. Diplomityö. Rakennustekniikan osasto, Teknillinen korkeakoulu. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 107. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallitus

Sallanko J. ja Lakso E. 2001. Alkaloiva märkäsuodatus rautapitoisten pohjavesien käsittelyssä, Oulun yliopiston vesi- ja ympäristötekniikan laboratorion julkaisuja A17, Oulu

Østerhus, S.W. 1998. Kalsiumkarbonatfiltre for korrosjonskontroll – utprøving av forskjellige marmormasser. NORVAR-rapport 87/98, Norsk VA-verkforening

Muu lähdeaineisto

Broo, A.E., Berghult, B. ja Hedberg, T. 2000. Dricksvatten och korrosion - en handbok för vattenverken. VA-FORSK rapport 12/2000, VAV Ab

Sitra 1980. Korroosio vesilaitoksilla, vesijohtoverkoissa ja kiinteistöjen käyttölaitteissa, Sarja B, Helsinki

Suomen Kuntaliitto, Vesi- ja viemärlaitosyhdistys 1993. Vesijohtoveden laatu ja korrosio, Helsinki

Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, Suomen Kuntaliitto 2000. Soveltamisopas talousvesiasetukseen 461/2000, Helsinki