

Harri Ahopelto

**BETONIAJONEUVOJEN PESUPAIKAN JÄTEVESIEN KÄSITTELYN LAADUN  
PARANTAMINEN**

# **BETONIAJONEUVOJEN PESUPAIKAN JÄTEVESIEN KÄSITTELYN LAADUN PARANTAMINEN**

Harri Ahopelto  
Opinnäytetyö  
Syksy 2021  
Rakennustekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Yhdyskuntatekniikka

---

Tekijä(t): Harri Ahopelto

Opinnäytetyön nimi: Betonijoneuvojen pesupaikan jätevesien käsittelyn laadun parantaminen

Työn ohjaaja(t): Jere Kangas

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 12/2021

Sivumäärä:36 + 1 liite

---

Betonin kuljetus- ja käsittelykaluston pesemisestä syntyy jatkuvasti jätevettä, joka vaatii jätevedenkäsittelyä, jotta jätevesi ei aiheuta häiriöitä viemäriverkostolle tai vahingoita ympäristöä. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltavana oli betonisille jätevesille tyypillinen erittäin korkeaemäksinen vesi, joka vaatii happamuuden säätöön soveltuvan käsittelymenetelmän.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää betonijoneuvojen valmisbetonin toimituksessa betoniin likaantuneiden kuljetussäiliöiden ja betonipumppujen pesupaikalle kertyvien ylimääräisten vesien määrä ja laatu. Lisäksi tavoitteena oli perehtyä tuollaisia jätevesiä koskeviin ympäristövaatimuksiin ja toimenpiteisiin, jotta ylimääräiset vedet voidaan tarvittaessa käsitellä ja laskea vaatimusten mukaisesti takaisin ympäristöön. Työssä pyrittiin löytämään mahdollisimman helppokäyttöinen, turvallinen ja toimiva ratkaisu, jolla vedenlaatu saadaan käsiteltyä ympäristövaatimusten mukaiselle tasolle.

Jätevedestä säännöllisesti kaksi kertaa vuodessa akkreditoitun laboratorion ottamien laboratorionäytteiden tulosten perusteella saatiin lähtötiedot muutoksia edeltäneestä jätevesien laadusta. Lähtötietojen perusteella työssä päästiin tarkastelemaan erilaisia vaihtoehtoja betonisten jätevesien käsittelylle ja suunnittelemaan sekä toteuttamaan tarvittava laitteistohankinta ja muutostyöt olemassa olleen pesupaikan jätevesien kierrätysjärjestelmään. Tehtyjen muutosten vaikutukset veden laatuun tutkittiin tässä työssä määritettyjen toimenpiteiden jälkeen.

Opinnäytetyössä löydettiin helppokäyttöinen, turvallinen ja toimiva ratkaisu ylimääräisten jätevesien käsittelyyn. Muutosten jälkeen jätevesien ongelmaksi havaittu liian suuri emäksisyys saadaan tarvittaessa neutraloitua ympäristön kannalta sopivalle tasolle. Tässä työssä kertyneitä tietoja ja havaintoja voidaan tarvittaessa hyödyntää myös muissa vastaavissa tuoreen betonin pesuvesien käsittelyyn liittyvissä tarpeissa.

---

Asiasanat: betoni, hiilidioksidi, jätevesi, neutralointi, ympäristö.

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction, Option of Civil engineering

---

Author(s): Harri Ahopelto

Title of thesis: Improving processing quality of alkaline wastewater from concrete supply truck wash system

Supervisor(s): Jere Kangas

Term and year when the thesis was submitted: 12/2021

Number of pages: 36 + 1 appendix

---

A concrete delivery is very common process overall in construction and it produces a lot of wastewater when washing concrete transport vehicles. Wastewater from the washing process is commonly highly alkaline and a sewage treatment plant or the environment requires the wastewater to be pre-processed before the wastewater is discharged into the sewer or into the nature.

Objective of this thesis was to find out volume, quality and national regulations and requirements for processing alkaline extra wastewater which contains water used in washing concrete supply truck mixers and pumps. The initial information for this thesis was found from the results of laboratory analyzes that had been taken in the past from the washing water used in concrete supply trucks washing water recycling system.

A method found for processing alkaline wastewater in this thesis was using a carbon dioxide gas to neutralize high alkalinity wastewater. Modifications to the existing washing water recycling system was planned and implemented during this thesis and the main objectives were achieved successfully.

---

Keywords: concrete, carbon dioxide, wastewater, neutralisation, environment.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	BETONI .....	7
2.1	Betonin käyttö maailmalla ja Suomessa .....	7
2.2	Betonin osa-aineet .....	8
2.2.1	Sementti.....	9
2.2.2	Kiviaines.....	10
2.2.3	Vesi.....	11
2.2.4	Lentotuhka .....	11
2.2.5	Masuunikuonajauhe.....	12
2.2.6	Silika .....	12
2.2.7	Lisäaineet.....	12
2.3	Sementin ja veden kemiallinen reaktio .....	13
2.4	Betonin kuljettaminen .....	15
3	BETONIN VALMISTUSTA KOSKEVAT YMPÄRISTÖVAATIMUKSET .....	18
3.1	Ympäristönsuojelulaki .....	18
3.2	Ympäristölupa ja Valtioneuvoston asetus kiinteän betoniaseman ja betonituotetehtaan ympäristönsuojeluvaatimuksista .....	19
3.2.1	Jätevesien käsittely ja johtaminen.....	20
3.2.2	Poikkeukselliset tilanteet sekä rakenteiden ja laitteistojen kunnossapito ...	20
3.2.3	Toiminnan sekä sen päästöjen ja vaikutusten tarkkailu .....	21
4	BETONISTEN VESIEN KEMIAA .....	22
5	BETONISEN JÄTEVEDEN NEUTRALOINTI.....	24
6	JÄTEVESIEN KÄSITTELYYN TEHDYT MUUTOKSET .....	26
6.1	Pesupaikan kierrätysjärjestelmä ja alkutilanne .....	26
6.2	Muutostyön suunnittelu ja toteutus .....	27
6.3	Mittausjärjestelyt ja saadut tulokset.....	30
7	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET .....	37

# 1 JOHDANTO

Betroc Oy:n betonijoneuvojen pesupaikalla on käytössä pesuvesien kierrätysjärjestelmä. Järjestelmän avulla betonijoneuvojen pesusta syntyvä betoninen jätevesi lasketaan laskeutusaltaisiin, joissa vesi selkiytyy ennen siirtymistä seuraaviin altaisiin. Viimeisestä niin sanotusta puhdasvesialtaasta vesi pumpataan jälleen pesun yhteydessä pesuvedeksi ja näin ollen ajoneuvojen betoniset säiliöt ja betonipumput saadaan pestyä mahdollisimman vähäisellä puhtaalla vedellä. Ylimääräisiä vesiä ulkona sijaitsevalle pesupaikalle kertyykin näin ollen ainoastaan lähinnä pesuvesien vastaanottokuiluun satavien sadevesien myötä. Opinnäytetyössä keskitytään haasteisiin, jotka liittyvät betonijoneuvojen pesupaikalla kertyvien ylimäärävesien hallintaan: olemassa olleen järjestelmän on havaittu toimivan ylimääräisten vesien osalta huonosti, sillä ympäristöön johdettavien vesien emäkisyys on liian korkealla tasolla.

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella toiminnassa olevan pesuvesien kierrätysjärjestelmän toimintaa sekä arvioida kierrätysjärjestelmään kertyviä ylimääräisiä vesimääriä ja kierrätysvedestä otettuja laboratoriotuloksia. Havaintojen pohjalta suunnitellaan ja toteutetaan tarvittavat muutokset ylimääräisten jätevesien käsittelylle. Järjestelmään tehtävien muutosten vaikutukset jäteveden laatuun tutkitaan lopuksi mittaamalla jäteveden happamuus.

Työn tilaaja Betroc Oy on Sodankylässä jo vuodesta 1955 lähtien perheyriksenä toiminut betonielementti- ja valmisbetonitehdas, jonka päätuotantoa ovat muun muassa erilaiset asuin-, infra- ja teollisuusrakentamisessa tarvittavat betonielementit. Betonielementtejä Betroc toimittaa pääasiassa Suomen markkinoille, mutta jonkin verran toimituksia on myös naapurimaihin Norjaan ja Ruotsiin. Betonielementtituotannon lisäksi Betroc valmistaa ja toimittaa valmisbetonia lähialueensa rakennustarpeisiin omalta betoniasemaltaan.

## 2 BETONI

Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali ja kantavien rakenteiden tärkein rakennusmateriaali. Betonin perusainesosat ovat runkoaines, sementti ja vesi. Sementin ja veden seosta kutsutaan sementtiliimaksi, joka liimaa runkoainesrakeet yhteen. Sementtiliimassa tapahtuu sementin ja veden välillä kemiallinen hydrataatio eli veden liittymisreaktio, jonka seurauksena sementtiliima kovettuu kiinteäksi sementtikiveksi. Betonissa käytetään runkoaineen, sementin ja veden lisäksi usein erilaisia lisä- ja seosaineita, joilla voidaan vaikuttaa valmistettavan betonimassan ominaisuuksiin, kuten työstettävyyteen ja betonin kovettumisreaktioon. (1, s. 15–18.)

Betonia voidaan muotoilla erilaisin valmistustekniikoin lähes mihin muotoon tahansa ja erilaisia betonipintavaihtoehtoja on olemassa todella useita, mikä mahdollistaa sen käytön myös lopullisena näkyvänä pintarakenteena. Betoni on lujaa ja kestävä, minkä vuoksi betonirakenteissa voidaan käyttää pitkiä jännevälejä ilman kantavia seiniä tai pilareita. Betoni on kivimateriaalina palon- ja kosteudenkestävää ja se voidaan valmistaa kestäväksi esimerkiksi kovaa sää- tai kemiallista resistusta. Betoni on rakennusmateriaalina erittäin pitkäikäistä ja betonilla on alhaiset huoltokustannukset elinkaarensa aikana. Betoni on myös raskaana materiaalina hyvin ääntä eristävää ja betoni tasaa rakennusten huonelämpötiloja tehokkaasti. (2.)

### 2.1 Betonin käyttö maailmalla ja Suomessa

Betonia käytetään maailmalla joka vuosi noin 10 mrd. m<sup>3</sup>, josta Suomessa betonia valmistetaan noin 1 m<sup>3</sup> per henkilö vuodessa eli noin 5,5 milj. m<sup>3</sup> (3). Tähän opinnäytetyöhön liittyvää valmisbetonia eli työmaille toimitettavaa tuotetta betonia Suomessa on valmistettu vuosina 2010 - 2020 keskimäärin 2 538 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Pumpattua betonia tuosta määrästä on keskimäärin noin 73 %. (4.) Valmisbetonin valmistusmäärä on näin ollen siis lähes puolet Suomessa vuosittain valmistettavasta kokonaisbetonimäärästä. Suurista käyttömääristä johtuen betonin ympäristövaikutukset ovat myös suuret.

Suomen kasvihuonekaasupäästöistä betonin valmistaminen tuottaa noin 2,5 %. Pitkäikäisenä materiaalina betoni mahdollistaa kestävien, turvallisten ja hyvin arvonsa säilyttävien rakennusten ra-

kentämisen. Betonin valmistaminen mahdollistaa myös useiden erilaisten päästöttömien energiamuotojen, kuten vesi-, tuuli- ja ydinvoiman, tuottamisen. Betoni- ja sementtiteollisuus ovat pyrkineet vähentämään päästöjään ja Betoniteollisuus ry:n mukaan vuosikymmenen kuluessa alaan liittyviä ilmastopäästöjä onkin onnistuttu leikkaamaan jo lähes 25 % referenssivuoteen 1990 verrattuna. (3.)

Sementin valmistukseen ja kuljetukseen tarvittavat energiamäärät aiheuttavat suuren osan betoniin liittyvistä päästöistä. Sementin valmistusprosessi ja kuljetukset kuluttavat energiaa noin 4 500 - 5 000 MJ/sementtitonni ja hiilidioksidipäästöjä niistä syntyy noin 600 - 700 kg/sementtitonni. Osin betonin hiilidioksidipäästöä kompensoi betonin kyky sitoa hiilidioksidia ilmasta sen käyttöänsä aikana ja erityisesti betonin kierrätysvaiheen aikana. Betonin reagoimista ilman hiilidioksidin kanssa kutsutaan betonin karbonatisoitumiseksi. Sementin valmistuksen aikana kalkkikivestä irronneesta hiilidioksidista saadaan sitoutettua noin puolet takaisin betoniin pitkällä aikavälillä. (5.)

Betoni voidaan luokitella rakennuksen pintamateriaalien päästöluokituksen parhaimpaan M1-luokkaan, koska betoni ei sisällä terveydelle tai ympäristölle vaarallisia aineita ja betonin päästöt sisäilmaan ovat erittäin vähäiset (5). Betonilla on siis ympäristöön liittyen sekä hyviä että huonoja ominaisuuksia ja betoniteollisuus kehittääkin jatkuvasti prosessejaan sekä tuotteitaan ympäristöystävällisempään suuntaan.

## **2.2 Betonin osa-aineet**

Betonin valmistuksessa käytettävät osa-aineet kiviaines, sementti ja vesi jakautuvat karkeasti suuruusluokaltaan siten, että kiviainesta betonin tilavuudesta on noin 70 %, sementtiä 8 - 16 % ja loput 14 - 22 % on vettä (6). Pääraaka-aineiden lisäksi betonin valmistuksessa voidaan käyttää myös muita side- ja runkoaineina toimivia mineraalisia seosaineita sekä betonin teknisiä ominaisuuksia muokkaavia lisäaineita (1, s. 31).

Seosaineita ovat lentotuhka, masuunikuona ja silika. Lisäaineita ovat esimerkiksi yleisimmin käytetyt notkistimet, huokostimet ja muut pakkasenkestoa lisäävät aineet. Lisäksi voidaan käyttää myös erilaisia kiihdyttäjiä, hidastimia, tiivistysaineita, injektointiaineita ja muita lisäaineita. Kaikkien betonin valmistuksessa käytettävien materiaalien tulee olla joko CE-merkittyjä tai muutoin todistettavasti betonin valmistukseen liittyvien standardien vaatimukset täyttäviä. (1, s. 59, 64; 7, s. 28–30.)



Betoni valmistetaan sekoittamalla pääraaka-aineet sementti, vesi ja kiviaines sekä mahdolliset lisäaineet betoniasemalla myllyssä ennalta tehdyn suhteituksen pohjalta saadun reseptin mukaisesti. Suhteitus on useita eri laskentavaiheita käsittävä kokonaisuus, johon tässä työssä ei tutustuta syvällisemmin. Lisätietoa ja aineistoa suhteituksen perusteiden opiskeluun löytyy hyvin esimerkiksi Betoniteknikan oppikirjasta by 201 luvusta 4, Betonin koostumuksen määrittäminen (1, s.121).

Suhteituksella saadun reseptin perusteella valmistetaan koe-eriä, joille tehdään muun muassa betonistandardin EN-12350 Tuoreen betonin testaus mukaisia testauksia. Testituloksilla varmistetaan betonin käyttökelpoisuus tai tarvittaessa tulosten pohjalta tehdään muutoksia suhteitukseen tai muuhun valmistusprosessiin, kuten esimerkiksi betonin sekoituksessa käytettäviin sekoitusaikoihin. Käyttöön valittujen betonien koostumusta ja ominaisuuksia seurataan jatkuvasti laadunvarmistamiseksi betonistandardien vaatimusten mukaisesti. Kaavassa 1 on esitetty betonin suhteituksen perusyhtälö (1, s.122).

*KAAVA 1. Betonin suhteituksen perusyhtälö (1, s. 122)*

$$V_k + V_s + V_v + V_i = V_b$$

$V_k$  on kiviaineksen kiintotilavuus

$V_s$  on sementin kiintotilavuus

$V_v$  on vesimäärä

$V_i$  on ilmamäärä

$V_b$  on betonin tilavuus

### **2.2.1 Sementti**

Betonin tärkein osa-aine on sementti, joka toimii betonin sideaineena. ”Sementin raaka-aineita ovat luonnonmineraalit, pääasiassa kalkkikivi, jota on maapallolla runsaasti” (6). Kalkkikiven pääosana on kalsiumkarbonaatti  $\text{CaCO}_3$ , ja kalkkilouhoksen sivukivestä sekä muun teollisuuden tuotteista saadaan sementin valmistuksessa tarvittavat muut komponentit piidioksidi  $\text{SiO}_2$ , rautaoksidi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ja alumiinioksidi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1, s. 39).

Kalsiumkarbonaatti hajoaa sementin valmistuksen yhteydessä sementtiklinkkerin polttovaiheessa noin 900 °C:ssa kalsiumoksidiksi CaO ja hiilidioksidiksi CO<sub>2</sub>. Sementtiuunissa lämpötilan noustessa kalsiumoksidi reagoi muun muassa pii-, rauta- ja alumiiniyhdisteiden kanssa ja sintraantuu lopulta noin 1 400 °C:ssa sementtiklinkkeriksi. Portlandklinkkerin päämineraalit eli pääfaasit ovat trikalsiumsilikaatti C<sub>3</sub>S, dikalsiumsilikaatti C<sub>2</sub>S, trikalsiumaluminaatti C<sub>3</sub>A ja tetrakalsiumaluminaattiferriitti C<sub>4</sub>AF. (1, s. 40.)

Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan pääkomponentista eli kalsiumkarbonaatista aiheutuvia kemiallisia reaktiokejuja. Muiden komponenttien vaikutuksista voi löytää lisätietoa useista betonitekniikan kirjoista ja julkaisuista, esimerkiksi tässä työssä lähteenä käytetystä Betonitekniikan opikirjasta by 201 (1). Betonin sementtikemiaan liittyvistä kemiallisista reaktioista kerrotaan hieman tarkemmin luvuissa 2.3 ja 4.

Sementtilaatuja on olemassa useita erilaisiin rakennuskohteisiin tarkoitettuja, ja käytettävien sementtien tulee olla standardin EN 197-1 mukaisesti CE-merkittyjä (7, s. 28). Betonin valmistuksessa käytettävän sementin valinta määräytyy aina käyttökohteen suunnittelijan määrittämien vaatimusten mukaan. Sementin valintaa ohjaavat käyttökohteen rasitusluokkavaatimukset eli se, minkälaiseen ympäristöön käytettävä betoni sijoittuu. Kuivissa sisätiloissa betoniin kohdistuvat ulkoiset rasitustekijät ovat erilaiset kuin ulkotiloissa, jossa muun muassa muuttuvat sääolosuhteet rasittavat betonirakenteita huomattavasti enemmän. Betoniin voi myös kohdistua kemiallista rasitusta, kuten esimerkiksi sulfaattirasitusta, jolloin se tulee huomioida sementin valinnassa. Sallitut sementtityypit eri rasitusluokissa on esitetty esimerkiksi by 65 Betoninormit 2016 -julkaisussa. (7, s. 16–18, 32.)

### **2.2.2 Kiviaines**

Betonin valmistuksessa käytetään kiviainesta, joka on tyypillisesti 0,02 - 16 mm:n kokoisista kivirakeista koostuva suhteituksella määritetty seos. Kiviaineksen karkein osa koostuu murskeesta tai luonnonsorasta ja hienempi osa seokseen saadaan usein luonnonhiekkasta. Lisäksi runkoaineena voidaan käyttää myös murskattua betonia, mikäli sen käyttökelpoisuus pystytään luotettavasti osoittamaan. (6.)

Betonissa käytettävien kiviainesten on oltava EN-12620-standardin mukaisesti CE-merkittyjä ja niiden on täytettävä soveltamisstandardin SFS 7003 vaatimukset. Betonin valmistajan omaa, ei markkinoilla olevaa, kiviainesta voidaan käyttää ilman CE-merkintää, mikäli valmistaja luotettavasti osoittaa, että kiviaines on testattu AVCP-luokan 2+ mukaisesti. (7, s. 28.)

### **2.2.3 Vesi**

Betonin valmistukseen käytettäväksi vedeksi soveltuu tavallinen juomavedeksi kelpaava vesi. Humuspitoiset vedet eivät sovellu betonin valmistukseen, sillä humus häiritsee sementin kovettumisreaktioita ja betonin kovettuminen saattaa estyä kokonaan. Myös sokeri voi jo hyvin pieninä määrinä estää betonin kovettumisen kokonaan. (1, s. 62.)

Veden ja betonin valmistuksesta tulevan kierrätysveden yleinen soveltuvuus betonin valmistukseen esitetään EN-1008-standardissa. Betonin valmistuksessa käytettävälle vedelle on asetettu raja-arvot kloridipitoisuudelle (Cl<sup>-</sup>), jotka esitetään esimerkiksi by 65 Betoninormit 2016 -julkaisussa. Myös tässä opinnäytetyössä esiintyvää kierrätysvettä voidaan käyttää betonin valmistuksessa, jos ennakkokokein on varmistettu sen käyttökelpoisuus. (7, s. 29.)

### **2.2.4 Lentotuhka**

Lentotuhka on pozzolaani, joka syntyy voimalaitoksissa hienoksi jauhetun kivihiilen poltossa erottamalla se savukaasuista (1, s. 59). Suomen betoniyhdistys ry:n betonisanaston mukaan pozzolaani tarkoittaa sellaista materiaalia, joka sitoutuu ja kovettuu vain veden ja liukoisen kalsiumhydroksidin läsnäollessa reaktiotuotteiksi, ”jotka ovat kemialliselta koostumukseltaan ja lujuusominaisuuksiltaan samanlaisia kuin hydraulisilla materiaaleilla, kuten sementillä” (8).

Betonissa lentotuhka voi toimia kiviaineksena tai sideaineena. Lentotuhka reagoi betonissa hitaammin kuin sementti, jolloin se heikentää betonin varhaislujuuksia mutta lopulta kuitenkin parantaa hieman betonin myöhäisiänlujuuksia. Lentotuhkan käyttö pienentää betonin hydratoitumislämpöä ja alhaisempi lämpötila puolestaan hidastaa lentotuhkan reaktiota betonissa huomattavasti, minkä vuoksi esimerkiksi talvibetonoinnissa ja lattiavaluissa lentotuhkan käyttö ei ole suositeltavaa. (1, s. 59.)

### **2.2.5 Masuunikuonajauhe**

Rautatehtaalla raakaraudan valmistuksessa masuunissa muodostuneesta emäksisestä silikaattisulatteesta nopeasti jäädyttämällä saadaan tuotteena masuunikuonaa. Betonin valmistukseen soveltuva masuunikuonajauhe valmistetaan jauhamalla hienoksi granulointua eli rakeistettua masuunikuonaa, jolla on piilevät hydrauliset ominaisuudet. Masuunikuonajauheen reaktiivisuuden vaikutavat sen raekoko ja lasimaisuus. (1, s. 60.)

Betonimassaan masuunikuonajauheella on samankaltaisia vaikutuksia kuin lentotuhkalla eli se vähentää huomattavasti betonin hydratoitumislämpöä, alentaa yleensä varhaislujuuksia ja kasvattaa myöhäislujuuksia. Masuunikuonajauhe on kuitenkin aktiivisuudeltaan lentotuhkaa selkeästi tehokkaampi, minkä vuoksi massiivisissa valuissa käytetäänkin paljon masuunikuonajauhetta. Masuunikuonajauhe parantaa betonin sulfaatinkestävyyttä ja betonimassan valmistukseen käytettävä sideaineyhdistelmä luokitellaan sulfaatinkestäväksi silloin, jos masuunikuonajauheen osuus on yli 70 % käytettävästä sideainemäärästä. (1, s. 60.)

### **2.2.6 Silika**

Silika on erittäin hienojakoinen pozzolaani, joka erotetaan piiraudan ja alkuaine piin valmistuksessa syntyvistä savukaasuista. Silikan käyttö betonimassan seosaineena lisää huomattavasti betonin lujuutta ja se myös parantaa betonin kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä. (1, s. 60.)

Silikkaa käytetään yleensä korkealujuusbetonien valmistuksessa, mutta silikalla voidaan myös korvata osa sementistä normaalilujuusbetoneissa. Silikan käyttö lisää betonin vedentarvetta ja silikkaa käytettäessä tulee aina käyttää vedentarvetta vähentäviä lisäaineita. (1, s. 60.)

### **2.2.7 Lisäaineet**

Betonin valmistuksessa lisäaineita käyttämällä on tavoitteena parantaa betonimassan teknisiä ominaisuuksia ja betonin taloudellista kilpailukykyä. Betonin lisäaineilla voidaan säätää useita betonin ominaisuuksia, kuten sitoutumista, kovettumista, työstettävyyttä sekä kovettuneen betonin ominaisuuksia. (1, s. 63.)

Lisäaineiden vaikutustapa voi olla betonissa fysikaalinen tai kemiallinen ja betonin valmistuksessa käytettävät lisäainemäärät ovat hyvin pieniä verrattuna muihin osa-aineisiin, joten niiden käyttö edellyttääkin aina esikokeita ja huolellisuutta (1, s. 63).

### 2.3 Sementin ja veden kemiallinen reaktio

Betonin valmistuksessa käytettävän sementin tärkein ominaisuus on sen kyky reagoida veden kanssa, jolloin muodostuu kivirakeita toisiinsa yhdistävää betoniliimaa, joka myöhemmin kovettuaan muodostaa kiinteää sementtikiveä. Sementin ja veden reaktiossa ensimmäiseksi reagoivat klinkkerimineraalien aluminaattiyhdisteet. Sementtiin on lisätty aluminaatin reaktioita hidastavaa kipsiä, jotta reaktio ei tapahdu heti veden lisäyksen jälkeen ja siten mahdollistetaan betonimassalle sopiva työaika. Sekoituksen jälkeen seos pysyy aluksi notkeana, mutta jokin ajan kuluttua sementti alkaa sitoutua ja betonimassa alkaa menettää plastisuuttaan. Tämän jälkeen betonin kiinteys lisääntyy ajan funktiona ja alkaa ns. kovettuminen. (1, s. 50–51.)

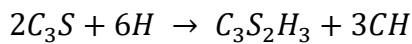
Sementin ja veden sekoituksessa syntyvässä seoksessa sementtipartikkelit jonkin verran ketjuuntuvat muodostaen liitoksia sementtipartikkelien välille. Tästä reaktiosta käytetään nimitystä hydrataatioreaktio, joka alkaa välittömästi sementin ja veden yhdistyessä. Hydrataatiossa neulamaisia kiteitä alkaa kasvaa sementtihiukkasista. (1, s. 73–74.)

Sementtikemiassa käytettävät kemialliset kaavat esitetään usein oksideiksi laskettuina ja ”tavallisten oksidien kemialliset kaavat puolestaan esitetään yksikirjaimisiksi lyhennettyinä”. Tässä työssä esiintyviä sementtikemian lyhenteitä ovat: C = CaO, S = SiO<sub>2</sub>, H = H<sub>2</sub>O ja CH = Ca(OH)<sub>2</sub>. (9, s. 10.)

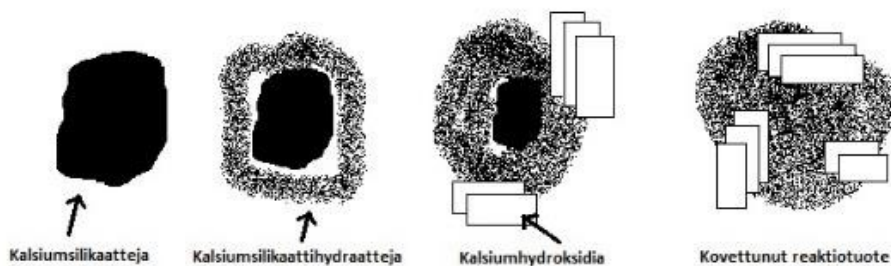
*Portlandsementin hydrataatio on monimutkainen prosessi, koska portlandsementti koostuu useista veden kanssa reagoivista yhdisteistä. Hydrataatio käsittää useita sekä samanaikaisia että toisiaan seuraavia reaktioita, jotka ovat myös toisistaan riippuvaisia. Tämän vuoksi hydrataatiokemiaa on pääasiassa selvitetty tutkimalla yksittäisten klinkkerifaasien reaktioita. Lähestymistapa on perusteltu, mutta tulosten soveltaminen sementin hydrataatioon edellyttää eri komponenttien yhteisvaikutusten arvioimista. (9, s.11.)*

Trikalsiumsilikaatti  $C_3S$  sitoutuu ja kovettuu, kuten tyypillinen portlandsementti, kun se reagoi veden kanssa. Lähteenä käytetyssä tutkimuksessa mainitaan seuraavaa: ”Noin 70 %  $C_3S$ :sta reagoi tyypillisesti 28 vuorokauden kuluessa ja käytännöllisesti katsoen kaikki ensimmäisen vuoden aikana.” Trikalsiumsilikaatin ja veden reaktiosta muodostuu kalsiumsilikaattihydraattia (C-S-H) ja kalsiumhydroksidia (CH). Lisäksi tutkimuksen mukaan ”Dikalsiumsilikaatti  $C_2S$  reagoi samaan tapaan kuin  $C_3S$ , mutta sen reaktio on hitaampi ja siinä muodostuu suhteessa enemmän kalsiumsilikaattihydraattia ja vähemmän kalsiumhydroksidia”. Kaavassa 2 on esitetty trikalsiumsilikaatin hydrataatio. (9, s.12.)

KAAVA 2. Trikalsiumsilikaatin hydrataatio (9, s. 12)



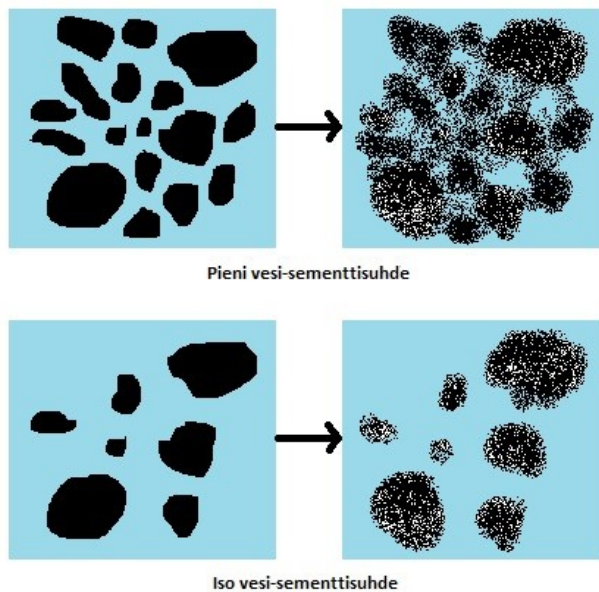
Hydrataatioreaktion myötä seokseen syntyy siis kalsiumsilikaattihydraatteja ja kalsiumhydroksidia, jotka lopulta muodostavat vahvoja sidoksia betoniainesosien väliin. Kuvassa 1 pyritään havainnollistamaan sementin kalsiumsilikaattien hydrataatioreaktiota Betonitekniikan oppikirjan s. 74 kuvaa mukaillen.



KUVA 1. Sementin hydrataatiota kuvitettuna (1, s.74)

Betonin varsinaista kovettumista eli lujuusreaktioita tapahtuu betonissa käytännössä niin kauan kuin hydratoitumisreaktion osallistumiskykyistä vettä on käytettävissä. Tämän vuoksi betonin valmistuksessa tärkeänä mittarina käytetään vesi-sementtisuhdelukua. Teoreettisesti betonissa olevan sementin täydelliseen hydratoitumiseen riittäisi vesimäärä, joka on noin 25 % käytetyn sementin painosta, mutta kuitenkin noin 15 % betonin valmistukseen käytetystä vedestä sitoutuu fyysikaalisesti ns. betonin geelihuokosiin, minkä vuoksi sementin täydelliseen hydrataatioon vaadittava vesimäärä betonissa on noin 40 - 45 % käytetyn sementin painosta. (1, s. 53.)

Lisäämällä vettä tuoreen betonin sekaan saadaan sementtipartikkelien etäisyydet kasvamaan pitkiksi ja, mikäli vettä lisätään riittävän paljon, saadaan melko tehokkaasti estettyä betonin kovettumista yhtenäiseksi rakenteeksi. Kuvassa 2 on havainnollistettu veden ja sementtihiukkasten etäisyyksiä vesi-sementtisuhdetta kasvatettaessa. (1, s. 74.)



KUVA 2. Vesisementtisuhteen vaikutus betonin sitoutumiseen (1, s. 74)

## 2.4 Betonin kuljettaminen

Suomessa yleisimmin käytettävä kuljetuskalusto on sekoitussäiliöauto, joissa on purkusiivillä varustettu pyörivä kuljetussäiliö. Notkeampien massojen käyttöön siirtyminen ja sekoitussäiliöautoihin saatavilla olevat betonin muottiin purkamista helpottavat lisävarusteet ovat kasvattaneet sekoitussäiliöautojen käyttöä nopeasti. (1, s. 307.) Kuvassa 3 on pyörivällä kuljetussäiliöllä varustettu betonin kuljetus puoliperävaunu pesupaikalla.



*KUVA 3. Betonin kuljetukseen käytettävä puoliperävaunu pyörintäsäiliöllä*

Lisäksi betonia usein siirretään työmaalla kuvan 4 kaltaisella betonipumppuautolla. Toimitus voidaan tehdä myös pumix-tyyppisellä ajoneuvolla, jossa yhdistyvät sekä sekoitussäiliö että betonipumppu.



*KUVA 4. Betonin pumppaamalla siirtämiseen tarkoitettu betonipumppuauto*

Jokainen toimitettava valmisbetonierä tarvitsee kuljetus- ja siirtokalustoa ja kuljetuksen jälkeen betoniin likaantunut kalusto on aina pestävä mahdollisimman pian ennen betonin kovettumista, jotta vältytään työläämpien ja yleensä mekaanisten puhdistusmenetelmien käytöltä. Tätä tarvetta varten betonijoneuvojen pesulle on rakennettu omat pesupaikkansa tehtaasta riippuen joko sisä- tai ulkotiloihin. Kuvassa 5 on betonin kuljetuskaluston pesupaikka takaa katsottuna.





*KUVA 5. Betonin kuljetuskaluston pesuun rakennettu pesupaikka*

Betonin kuljetusajoneuvojen pyörintäsäiliöt päästään pesemään vesiletkulla pesupaikalle rakennetulta työskentelytasolta, minkä jälkeen pesuvedet tyhjenetään pyörintäsäiliöstä jälleen takaisin kierrätysjärjestelmään selkeytettäväksi ja uudelleen käytettäväksi. Kuvassa 6 on nähtävillä pesuvesien tyhjennysvaihe pyörintäsäiliöstä takaisin laskeutusaltaisiin.



*KUVA 6. Kuljetussäiliön pesuvesien tyhjennys laskeutusaltaisiin*

### 3 BETONIN VALMISTUSTA KOSKEVAT YMPÄRISTÖVAATIMUKSET

Ympäristöviranomaiset valvovat säännöllisesti betonin valmistusta, kuten muutakin teollista toimintaa Suomessa. Yritystoimintaan liittyen on olemassa useita erilaisia ympäristöön liittyviä lakeja ja asetuksia, jotka yritysten tulee huomioida päivittäisessä toiminnassaan, ja jotka velvoittavat yrityksiä toimimaan siten, että ympäristölle aiheutuisi mahdollisimman vähän haittaa. Betonin valmistukseen liittyviä lakeja ja asetuksia ovat muun muassa ympäristönsuojelulaki ja Valtioneuvoston asetus kiinteän betoniaseman ja betonituotetehtaan ympäristönsuojeluvaatimuksista.

#### 3.1 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulain tarkoituksena on muun muassa ehkäistä ympäristön pilaantumista, vähentää päästöjä, turvata terveellinen ja viihtyisä ympäristö sekä ehkäistä jätteistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia (10, 1 §). Ympäristönsuojelulain soveltamisalasta todetaan ympäristönsuojelulain 2 §:ssä, että ”Ympäristönsuojelulakia sovelletaan teolliseen ja muuhun toimintaan, josta aiheutuu tai saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista. Ympäristönsuojelulakia sovelletaan myös toimintaan, jossa syntyy jätettä, sekä jätteen käsittelyyn.” (10, 2 §.)

Ympäristönsuojelulain 6 §:n mukaan ”toiminnanharjoittajan on oltava selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja niiden hallinnasta sekä haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista” (10, 6 §). Lisäksi ympäristönsuojelulain 7 §:n mukaan toiminnanharjoittajan toiminnot on järjestettävä niin, että ympäristön pilaantuminen voidaan ehkäistä ennakolta. Jos pilaantumista ei kuitenkaan voida kokonaan ehkäistä, se on lain mukaan rajoitettava mahdollisimman vähäiseksi. Päästöt ympäristöön ja viemäriverkostoon toiminnanharjoittajan on rajoitettava mahdollisimman vähäisiksi. (10, 7 §.)

Ympäristönsuojelulain 9 §:n ja 10 §:n mukaan voidaan määrittää erillisistä asetuksista ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi eräissä toiminnoissa. Näitä kahta pykälää soveltaen on tehty erillinen valtioneuvoston asetus kiinteän betoniaseman ja betonituotetehtaan ympäristönsuojeluvaatimuksista, jonka sisällöstä kerrotaan tarkemmin luvussa 3.2. Toiminnan sijoituspaikan valintaan otetaan kantaa ympäristönsuojelulain 11 §:ssä ja 12 §:ssä.

*Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttava toiminta on mahdollisuuksien mukaan sijoitettava siten, että toiminnasta ei aiheudu pilaantumista tai sen vaaraa ja pilaantuminen voidaan ehkäistä. Toiminnan sijoituspaikan soveltuvuutta arvioitaessa on otettava huomioon toiminnan:*

- 1) luonne, kesto, ajankohta ja vaikutusten merkittävyys sekä pilaantumisen todennäköisyys ja onnettomuusriski;*
- 2) vaikutusalueen herkkyys ympäristön pilaantumiselle;*
- 3) merkitys elinympäristön terveellisyyden, ja viihtyisyyden kannalta;*
- 4) sijoituspaikan ja vaikutusalueen nykyinen ja oikeusvaikutteisen kaavan osoittama käyttötarkoitus;*
- 5) muut mahdolliset sijoituspaikat alueella. (10, 11 §.)*

Ympäristönsuojelulain 12 §:n mukaan ”luvanvaraista, ilmoituksenvaraista tai rekisteröitävää toimintaa ei saa sijoittaa asemakaavan vastaisesti. Lisäksi alueella, jolla on voimassa maakuntakaava tai oikeusvaikutteinen yleiskaava, on katsottava, ettei toiminnan sijoittaminen vaikeuta alueen käyttämistä kaavassa varattuun tarkoitukseen.” (10, 12 §.)

### **3.2 Ympäristölupa ja Valtioneuvoston asetus kiinteän betoniaseman ja betonituotetaan ympäristönsuojeluvaatimuksista**

Ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupa tarvitaan ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttaville toimintoille. Ympäristöluvassa voidaan antaa ympäristöluvan alaista toimintaa koskevia määräyksiä mm. toiminnan laajuudesta, päästöistä ja niiden vähentämisestä. Ympäristöluvan myöntämisen edellytyksenä on muun muassa, että toiminnasta ei saa aiheutua terveyshaittaa tai merkittävää ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa. (11.) Betonin valmistus on ympäristönsuojelulain mukaan ympäristöluvan alaista toimintaa.

Ympäristölupahakemus tehdään aluehallintovirastolle tai kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle sen mukaan, mitä ympäristönsuojelulaissa tai asetuksessa on määrätty valvovasta lupaviranomaisesta. Hakemuksen saapumisen jälkeen hakemuksesta tiedotetaan kuulutuksella ja viranomaiset antavat hakemuksesta lausunnon. Kaikki asianosaiset saavat tehdä muistutuksia hakemukseen liittyen ja hankkeen vaikutusalueella asuvat asukkaat voivat esittää asiasta mielipiteensä. Tämän jälkeen lupaviranomainen tekee asiassa päätöksen kuultuaan hakijaa saapuneista lausunnoista ja muistutuksista. (11.)

Valtioneuvoston antamaa asetusta sovelletaan kiinteän betoniaseman ja betonituotetehtaan toimintaan, joka rekisteröidään ympäristönsuojelulain (527/2013) nojalla. Asetusta sovelletaan lisäksi ympäristönsuojelun vähimmäisvaatimuksena betoniaseman ja betonituotetehtaan toimintaan, johon tarvitaan ympäristönsuojelulain nojalla ympäristölupa. (12, 1.1 §.)

### **3.2.1 Jätevesien käsittely ja johtaminen**

Valtioneuvoston asetuksessa kiinteän betoniaseman ja betonituotetehtaan ympäristönsuojeluväitimuksistä pykälässä 10 § esitetään vaatimukset jätevesien käsittelylle ja johtamiselle vesihuoltolaitoksen jätevesiviemäriverkostoon tai ympäristöön. 10 §:n ensimmäisen momentin mukaan ”toiminnanharjoittajan on selvitettävä jätevesien määrä ja laatu. Betoniaseman ja betonituotetehtaan tuotannosta syntyviä prosessi- ja pesuvesiä ei saa laskea sellaisenaan vesihuoltolaitoksen jätevesiviemäriin, hulevesiviemäriin eikä ympäristöön. Prosessi- ja pesuvedet on ensisijaisesti palautettava valmistusprosessissa tai pesuissa uudelleen käytettäväksi.” (12, 10.1 §.)

Momentin 2 mukaan prosessi- ja pesuvesistä, joita ei voida käyttää uudelleen, ei saa aiheuttaa haittaa vesihuoltolaitoksen tai viemäriverkoston toiminnalle, mikäli niitä johdetaan tai kuljetetaan vesihuoltolaitoksen viemäriin. Betoniaseman tai betonituotetehtaan jätevedet on esikäsiteltävä ympäristönsuojelusta annetun valtioneuvoston asetuksen (713/2014) 41 §:n mukaisesti ennen niiden johtamista vesihuoltolaitoksen viemäriin. Käsittelyn jälkeen jätevedet voidaan johtaa ympäristöön, jos niistä ei aiheudu ympäristönsuojelulain 5 §:ssä tarkoitettua ympäristön pilaantumisen vaaraa. (12. 10.2 §.)

### **3.2.2 Poikkeukselliset tilanteet sekä rakenteiden ja laitteistojen kunnossapito**

Valtioneuvoston asetuksessa kiinteän betoniaseman ja betonituotetehtaan ympäristönsuojeluväitimuksistä määritetään vaatimukset mahdollisten poikkeuksellisten tilanteiden varalle 14 §:ssä. 14 §:n 1 momentissa todetaan, että ”toiminnanharjoittajan on onnettomuuksien, ennakoimattomien tuotantohäiriöiden ja muiden poikkeuksellisten tilanteiden – estämiseksi huolehdittava siitä, että ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavat toiminnot on ohjeistettu” (12, 14.1 §).

Poikkeuksellisia tilanteita varten toiminnanharjoittajan on laadittava toimintasuunnitelma. Mahdollisten prosessi- ja pesuvesien selkeytyslaitteiden häiriötilanteiden sekä öljy- ja kemikaalivahinkojen

varalle tulee toimintasuunnitelman sisältää vähintään ohjeet suoritettavista toimenpiteistä. Toimintasuunnitelma on pidettävä ajan tasalla ja sitä voidaan täydentää tai muuttaa myöhemmin. (12, 14.2 §.)

Rakenteiden ja laitteistojen kunnossapidosta annetaan vähimmäisvaatimuksia asetuksen 15 §:ssä. 15 §:n 1 momentin mukaan ”toiminnanharjoittajan on huolehdittava betoniaseman ja betonituote- tehtaan rakenteiden ja laitteistojen huollosta ja kunnossapidosta siten, että ne eivät käytön aikana vioitu tai muutu siten, että toiminnasta aiheutuvien ympäristö- tai terveyshaittojen riski lisääntyy” (12, 15 §).

### **3.2.3 Toiminnan sekä sen päästöjen ja vaikutusten tarkkailu**

Valtioneuvoston asetuksen kiinteän betoniaseman ja betonituote- tehtaan ympäristönsuojeluvaati- muksista 16 §:n 1 momentin mukaan ”toiminnanharjoittajan on järjestettävä betoniaseman ja beto- nituote- tehtaan käytön, päästöjen ja ympäristövaikutusten tarkkailu” (12, 16.1 §). Lisäksi prosessi- ja pesuvesien selkeytysaltaiin kertyvän lietteen määrää on asetuksen mukaan tarkkailtava viikoit- tain ja altaiden kunto on tarkastettava säännöllisesti vähintään kymmenen vuoden välein (12, 16.2 §).

Pesuvesien selkeytysaltaat tulee aika ajoin tyhjentää niiden täytyessä kiintoaineksesta ja liet- teestä, jotta uutta selkeytettävää ainesta voidaan kerryttää jälleen altaiiin. Selkeytysaltaista nos- tettava liete on kasavarastoinnissa sijoitettava siten, että kasat ovat betonialustalla tai muulla tiiviillä alustalla, josta ylimääräinen vesi johdetaan takaisin selkeytysaltaaseen. (12, 5.2 §.)

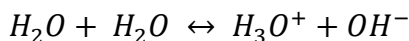
Jätevesien laatua tulee asetuksen mukaan seurata säännöllisesti ja vedestä tulee mitata vähintään asetuksessa määrättyjä ominaisuuksia. Toiminnalle myönnettyssä ympäristöluvassa voidaan kui- tenkin määrätä myös muita kuin asetuksessa mainittuja mitattavia ominaisuuksia ja tarkastusvä- lejä. Asetuksen mukaan jätevesistä on tarkkailtava happamuutta (pH), kiintoaineen, sulfaatin ja kromin määriä vuosittain. (12, 16.4 §.)

## 4 BETONISTEN VESIEN KEMIAA

Betonisten vesien käsittelyyn liittyy kemiallinen reaktio happojen ja emästen välillä. Brönstedin happo-emästeorian mukaan happo on jokainen aine, joka voi luovuttaa protonin, ja emäs on jokainen aine, joka puolestaan voi vastaanottaa protonin. Happoa pidetään vahvana silloin, kun sillä on voimakas taipumus luovuttaa protoneja ja vastaavasti emästä pidetään vahvana silloin, kun sillä on voimakas taipumus vastaanottaa protoneja. (13, s. 33.)

Sellaisia yhdisteitä kutsutaan amfolyyteiksi, jotka voivat toimia sekä happoina että emäksinä (13, s. 33). Vesi on amfolyytti, joka dissosioituu kaavassa 3 esitetyn yhtälön mukaisesti.

*KAAVA 3. Veden dissosioitumisreaktio (13, s.35)*



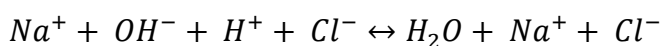
Hapon ja emäksen reagoidessa keskenään syntyy aina kyseistä happoa vastaava emäs ja emästä vastaava happo (13, s. 34). Taulukossa 1 on muutamia esimerkkejä näistä happo-emäs-reaktioista.

*TAULUKKO 1. Esimerkkejä happo-emäs-reaktioista (13, s. 34)*

$happo1 + emäs\ 2 \leftrightarrow happo2 + emäs1$
$HCl + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + Cl^-$
$H_2SO_4 + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + HSO_4^{2-}$

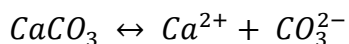
Hapon ja emäksen keskinäistä reaktiota kutsutaan neutralointireaktioksi. Hapot ja emäkset ovat vesiliuoksissaan ionisoituneina jo ennen neutralointireaktiota ja niiden välinen reaktio tapahtuu vain vety- ja hydroksyyli-ionien kesken, jolloin tuloksena on neutraali ioninen liuos. (13, s. 34.)

*KAAVA 4. Esimerkki vety- ja hydroksyyli-ionien reaktioista (13, s. 34)*



Betonin valmistuksessa käytettävän sementin pääasiallinen ainesosa kalsiumkarbonaatti  $\text{CaCO}_3$  liukenee veteen muodostaen positiivisia ja negatiivisia ioneja (13, s.100). Kalsiumkarbonaatti on esitetty ionimuodossa kaavassa 5.

*KAAVA 5. Kalsiumkarbonaatti ionimuodossa (13, s.147)*



Tässä liukenemisreaktiossa syntyvät suolat puolestaan aiheuttavat vedelle sähkönjohtokyvyn, jonka suuruutta voidaan myös betonisista jätevesistä mitata ja seurata laboratorionkein.

Liuosten pH-arvon eli happamuuden mittana käytetään hydronium-ionin  $\text{H}_3\text{O}^+$  vetyionikonsentraation negatiivista logaritmia (13, s. 35). Kaavassa 6 esitetään pH-arvon laskentakaavat.

*KAAVA 6. pH-arvon laskentakaavat (13, s. 35)*

$$\text{pH} = -\lg(\text{H}_3\text{O}^+) = -\lg(\text{H}^+)$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Lisätietoa happojen ja emästen kemiasta löytyy hyvin esimerkiksi lähteenä käytetystä Vesikemian perusteet -kirjan luvusta 1.1.5. (13). Edellä mainittujen happojen ja emästen ominaisuuksia sekä neutralointireaktioita hyödynnetään betonisten jätevesien käsittelyssä silloin, kun betonisen jäteveden happamuus eli pH-arvo on määriteltyjen raja-arvojen ulkopuolella.

## 5 BETONISEN JÄTEVEDEN NEUTRALOINTI

Vahvasti emäksinen aine, kuten betoninen jätevesi, vaatii yleensä aina neutraloimisen eli pH:n alentamisen ennen sen viemäriverkoston tai ympäristöön päästämistä. Neutralointi saadaan toteutettua lisäämällä veteen happoa, joka saa aikaan neutraloitumisreaktion. Viemäriverkoston tai ympäristöön laskettavan jäteveden pH:n raja-arvo on kuitenkin aina tapauskohtaista ja raja-arvot voidaan määrittää vesihuoltolaitoksen ja toiminnanharjoittajan välisessä teollisuusjätevesisopimuksessa tai toiminnanharjoittajalle annetussa ympäristöluvassa ja ilmoituspäätöksessä. (14, 15a §; 14, 41–42 §.)

Yleisesti ottaen voidaan kuitenkin suuntaa antavia ohjearvoja löytää esimerkiksi viemäriverkoston laskettaville teollisuusjätevesille Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n julkaisusta Teollisuusjätevesiosopas, josta on saatavilla ilmaiseksi englanninkielinen versio Finnish Industrial Wastewater Guide. Viemäriverkoston laskettaville teollisuusjätevesille pH-arvon vaihteluvälinä ja suosituksena pidetään laitoksesta riippuen pH-arvoja, jotka ovat välillä 6 - 11. (15, s. 41.)

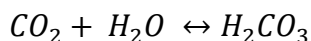
Vahvojen happojen ongelmana on yleensä niiden nopea reaktiovaikutus emäksiseen liuokseen, jolloin niiden syötössä pienikin määrän muutos voi vaikuttaa merkittävästi neutraloitumisnopeuteen ja näin ollen vedestä voi tulla nopeasti liian hapanta eli pH-arvo laskee liian matalaksi. Vahvat hapot ovat myös yleensä syövyttäviä, jolloin niiden käyttö muodostaisi merkittävän terveys- ja ympäristöriskin. Tästä reaktionopeudesta ja käyttöturvallisuudesta johtuen erityisesti pienien vesimäärien käsittelyssä tarvitaan mahdollisimman helposti hallittavissa oleva heikko happo neutraloimiseen.

Emäksisen veden helposti hallittavaan neutraloimiseen ratkaisuksi soveltuu erittäin hyvin hiilihappo, joka on heikko happo, jota muodostuu syöttämällä veteen hiilidioksidikaasua. Hiilidioksidikaasua käytetään yleisesti pH-arvon hallintaan prosessi- ja jätevesien käsittelyssä. Hiilidioksidi on yleensä turvallista käyttää, mutta korkeina pitoisuuksina hiilidioksidi syrjäyttää hapen ja voi aiheuttaa hapenpuutteesta johtuvan tukehtumisen. (16.)

Veden kanssa reagoidessaan hiilidioksidi muuttuu ensin hiilihapoksi kaavan 7 mukaisesti.

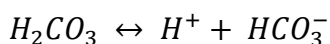


*KAAVA 7. Hiilidioksidin ja veden reaktioyhtälö (13, s. 147)*



Hiilidioksidista veden kanssa reaktiotuotteena saadun hiilihapon puolestaan tulee esiintyä ionimuotoisena, jotta se kykenee neutralointireaktioon. Ionimuotoinen hiilihappo esitetään kaavassa 8.

*KAAVA 8. Hiilihapon ionimuoto (13, s.147)*



Hiilidioksidin ja veden reaktiosta syntynyt ionimuotoinen hiilihappo reagoi tämän jälkeen kaavassa 5 esitetyn ionisoituneen kalsiumkarbonaatin kanssa aiheuttaen neutraloitumista ja täten pH-arvon alenemista. Neutraloitumisreaktiot tapahtuvat hyvin lineaarisesti kaasumäärän ja vesimäärän suhteessa, jolloin vakiovirtausnopeudella syötetyn kaasun syöttöajasta voidaan helposti todeta käytetty kaasumäärä. Kaasun neutraloiva vaikutus pH-arvoon on todettavissa yksinkertaisimmin pH-mittarilla. Työssä käytetty Testo 206 -pH-mittari on esitetty kuvassa 7.



*KUVA 7. Testo 206 -pH-mittari nesteiden happamuuden mittaamiseen*

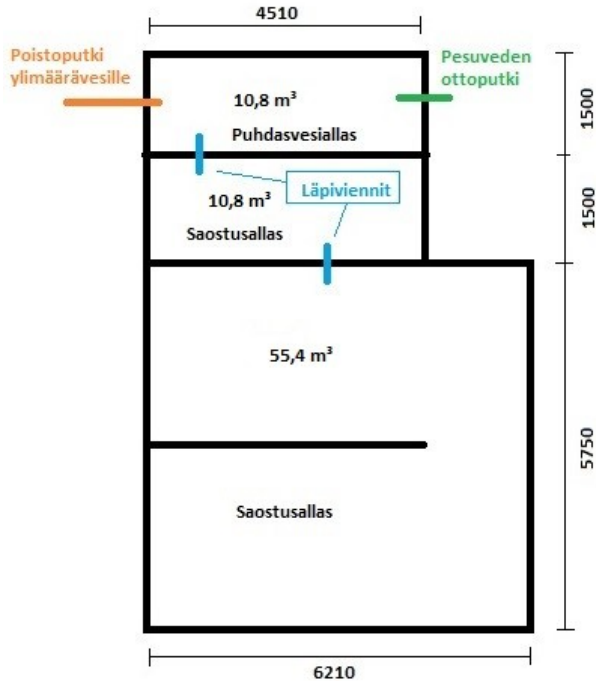
## 6 JÄTEVESIEN KÄSITTELYYN TEHDYT MUUTOKSET

Tässä työssä parannuskohteena ollut ulkotilassa sijaitseva betoniajoneuvojen pesuvesien kierrätysjärjestelmä koostuu kolmiportaisesta allasjärjestelmästä ja mahdollisille ylimääräisenä kertyville sadevesille rakennetusta poistoputkistosta. Altaat ovat eristetyillä kansilla peitetyt ja altaiden seinät ovat lämmitetyt, jotta altaat eivät jäädy talvellakaan. Betoniautojen pesusta syntyvä betoninen pesuvesi kiertää normaalitilanteessa allasjärjestelmän läpi, minkä jälkeen se pumpataan uudelleen pesuvedeksi.

### 6.1 Pesupaikan kierrätysjärjestelmä ja alkutilanne

Ensimmäisenä kierrätysjärjestelmässä olevat suurimmat altaat ottavat vastaan likaiset pesuvedet ja toimivat saostusaltaina, joiden veden vastaanottoon ja saostukseen käytettävä yhteiskapasiteetti on 55,4 m<sup>3</sup>. Ensimmäisistä altaista vesi pääsee siirtymään altaan yläosassa 1 200 mm:n ja 1 600 mm:n korkeudella sijaitsevien läpivientien kautta pienempään saostusaltaaseen, jonka kapasiteetti on 10,8 m<sup>3</sup>. Viimeisenä altaana on puhdasvesiallas, jonka kapasiteetti on myös 10,8 m<sup>3</sup> ja siihen vesi siirtyy samalla tavoin altaiden yläosassa 1 600 mm:n korkeudessa sijaitsevan läpiviennin kautta.

Puhdasvesialtaan yläreunasta, noin 50 mm ylempänä kuin altaaseen tulevan veden läpivienti, on lähtöputki erilliseen imeytyskenttään, jonka kautta mahdolliset altaaseen kertyvät ylimääräiset vedet ohjataan pois. Kuvassa 8 on esitetty pesupaikan alkutilanne, jossa altaiden sisämitat nähtävissä mustalla, sinisellä veden virtauksen altaiden välillä mahdollistavat läpivientien sijainnit, vihreällä pesuvedenotto uudelleen käytettäväksi ja oranssilla lähtöputken sijainti ylimääräivesien poistolle.



KUVA 8. Pesupaikan lähtötilanne ja altaiden sisämittoja

Betoniajoneuvojen pesupaikan kierrätysvedestä kaksi kertaa vuodessa otettujen vesinäytteiden laboratoriotuloksia tarkasteltaessa voitiin havaita, että pH-arvo oli selvästi koholla jokaisessa mitatussa laboratoriotuloksessa.

## 6.2 Muutostyön suunnittelu ja toteutus

Muutostyön suunnittelun alkuvaiheessa täytyi selvittää altaisiin vuosittain kertyvän ylimääräisen veden kokonaismäärä, joka järjestelmällä täytyisi tarvittaessa saada neutraloiduksi. Ylimääräistä vettä altaisiin kertyy sadevesien myötä ja vuosittaisen sadevesimäärän suuruusluokka saatiin selvitettyä ilmatieteenlaitoksen Sodankylän mittauspisteen tilastotiedoista. Altaiden ollessa kansilla suljettuina sadevettä pääsee kertymään altaisiin avoimena olevan pesuvesien vastaanottokuilun kautta. Tämä vastaanottokuilun koko osana kansistoa on kooltaan 6 m x 1,7 m eli 10,2 m<sup>2</sup>.

Ilmatieteenlaitoksen vuositilastoista voitiin laskea keskimääräiseksi sademääräksi vuosien 1991 - 2019 välisenä aikana 541 mm ja kyseiselle 10,2 m<sup>2</sup>:n pinta-alalle keskimääräisellä sademäärällä sadevesikertymäksi saatiin laskettua 5,52 m<sup>3</sup> (17). Lietealtaat tyhjennetään vuosittain 2 - 3 kertaa,

joten tästä voitiin arvioida, että noin 2,75 m<sup>3</sup>:n tilavuudella varustettu säiliö olisi sopiva noin puolen vuoden sademäärälle.

Lähtötietojen perusteella tehtiin selvitystä neutralointiin soveltuvan laitteiston hankinnasta ja määritettiin tarvittavat muutostyötarpeet. Hiilidioksidin syöttölaitteisto valittiin hyvin pian alkuvaiheessa neutralointiratkaisuksi sen turvallisuuden ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Neutralointilaitteiston valinnan ja hankinnan jälkeen säiliöksi valittiin betonisista kaivonrenkaista koostuva kaivo, jonka pohjalle neutralointiin valittu hiilidioksidikaasu voitaisiin syöttää.

Hiilidioksidin syöttölaitteiston toimittajan suosituksesta kaivosta oli suositeltavaa tehdä mahdollisimman syvä, jotta pohjalle syötetyt hiilidioksidikuplat reagoisivat mahdollisimman pitkän ajan neutraloitavan veden kanssa. Betonikaivon halkaisijaksi valittiin 1 500 mm ja sisäkorkeutta veden varastointiin käytettävälle osuudelle arvioitiin jäävän 1 800 mm, jolloin kaivon kapasiteetiksi saatiin 3,1 m<sup>3</sup>.

Ylimäärävesien poistoputki suunniteltiin kulkemaan puhdasvesialtaan vierelle rakennettavaan uuteen betoniseen neutralointikaivoon ja uudesta neutralointikaivosta lähtevä jätevesien poistoputki suunniteltiin varustettavan suljettavalla venttiilillä. Näiden muutosten jälkeen ylimääräinen vesi ei pääsisi enää jatkossa ympäristöön ilman, että poistoputken sulkeva venttiili avattaisiin.

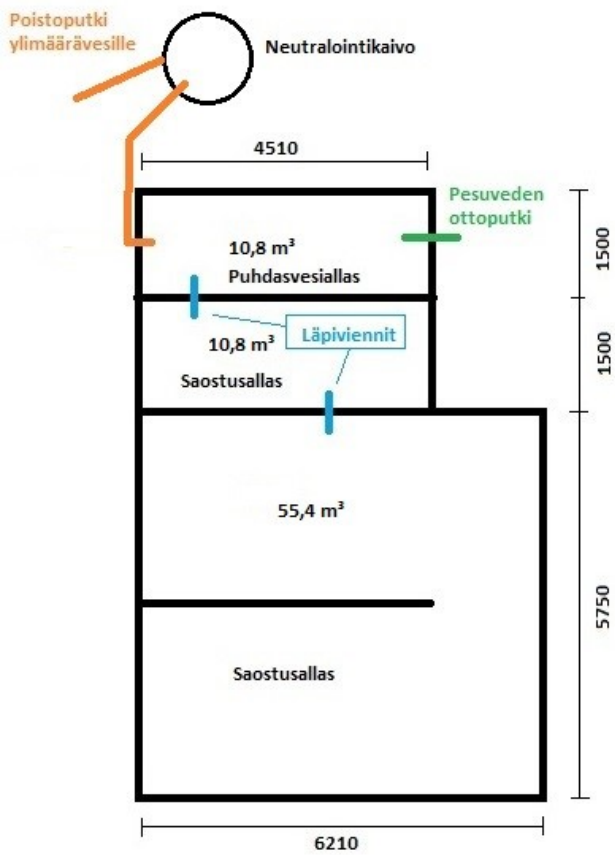
Neutralointikaivo päätettiin myös varustaa pinnantasovahdilla, joka hälyttää, mikäli jäteveden pinnantaso kaivossa lähestyy jäteveden tuloputken tasoa ja jätevesi vaatii käsittelytoimenpiteitä. Hiilidioksidikaasupullo ja tarvittava hiilidioksidikaasunsyöttölaitteisto päätettiin sijoittaa pesupaikan yhteydessä olevaan pumppuhuoneeseen, jossa laitteistolle oli sopivasti vapaata tilaa.

Suunnitellut rakennustyöt toteutettiin suunnitelmien mukaisesti, minkä jälkeen neutralointilaitteiston testausta ja mittauksia varten täytyi odottaa veden kertymistä uuteen säiliöön. Kuvassa 10 puhdasvesiallas, josta ajoneuvojen pesuun käytettävä pesuvesi otetaan pumpuilla.



KUVA 10. Puhdasvesiallas juuri täytettynä lietteen poiston ja muutostöiden jälkeen

Pesupaikan lopputilanne ja rakennetun neutralointikaivon sijainti tehtyjen muutosten jälkeen esitetään kuvassa 11.



KUVA 11. Pesupaikan lopputilanne ja neutralointikaivon sijoituspaikka muutostöiden jälkeen

Neutralointikaivon rakennusvaiheessa otetussa kuvassa 12 on nähtävissä kaivon pohjalle asennetun kaasun syöttöletku ja kaasunsyöttöletkulle rakennettu kiinnitysalusta.



KUVA 12. Kaasunsyöttöletku asennettuna neutralointikaivoon

### 6.3 Mittausjärjestelyt ja saadut tulokset

Neutralointilaitteiston toiminnan testaamiseksi ja rakennetun neutralointijärjestelmän suorituskyvyn mittaamiseksi neutralointikaivoon päädyttiin pumppaamaan neutraloitavaa vettä pesuvesikierrätysjärjestelmän puhdasvesialtaasta. Tällä tavoin toimien ei ollut tarvetta odottaa mahdollisen sadeveden kertymistä neutralointikaivoon ja neutraloinnin ohjearvotaulukko päästiin rakentamaan mahdollisia tulevaisuuden neutralointitarpeita varten. Koekäytön aikana tehtäviä mittauksia varten laadittiin liitteenä 1 esitettävä mittauslomake.

Ensimmäinen testineutralointi pyrittiin suorittamaan virtausnopeudella 2 kg/h 2,83 m<sup>3</sup>:n vesimäärälle siten, että veden pH mitattaisiin 5 min kaasunsyöttöajan jälkeen. Jo hyvin pian kaasun syötön

alkuvaiheessa havaittiin, että kaasu ei lähtenyt kunnolla virtaamaan altaan pohjalla olevasta reikäletkusta, koska letkun reiät olivat todennäköisesti tukkeutuneet käytön puutteen vuoksi. Kaivon pohjalla olevan reikäletkun lisäksi pystysuunnassa pohjalta ylöspäin 1,5 m:n matkalla käytettiin samaa reikäletkua ja hiilidioksidikaasun virtauksen havaittiin tapahtuvan pystysuuntaisesta reikäletkusta lähes veden yläpinnan tasolla olleista rei'istä. Tästä ensimmäisestä epäonnistuneesta 5 min kestäneestä jaksosta tulokseksi saatiin vain hyvin pieni pH:n muutos kyseisessä ajassa, mikä voidaan jättää huomioimatta lopullisissa tuloksissa. Letkussa olleet tukokset saatiin aukeamaan käyttämällä hieman suurempaa syöttöpainetta hyvin nopeasti, jotta neutraloitumista ei pääsisi tapahtumaan liian paljon. Tämän jälkeen toisella yrityskerralla kaasun annettiin virrata samalla 2 kg/h nopeudella 9 min ajan. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 2.

*TAULUKKO 2. Neutralointilaitteiston ensimmäisen koekäytön mittaustulokset*

Kaasun syötön kesto yhteensä	Mitattu pH	Veden lämpötila °C
Lähtötilanne 0 min	12,46	8,3
5 minuuttia	11,88	8,1
14 minuuttia	7,1	8,0

Tarkastelemalla ensimmäisten mittaustulosten perusteella saatua pH-arvoa mittauksen keston kohdissa 5 min ja 14 min voidaan laskea, että pH:n arvo laski 9 min aikana keskimäärin 0,52:lla minuutissa, kun kaasun virtausnopeutena käytetään 2 kg/h ja neutraloitava vesimäärä oli 2,83 m<sup>3</sup>.

Taulukossa 3 on esitetty toisesta koekäytöstä saatuja mittaustuloksia käyttämällä kaasun syötössä virtausmääränä 1 kg/h, kun vesimääräksi mitattiin lähtötilanteessa 2,74 m<sup>3</sup>. Toinen mittaus suoritettiin siten, että kaasua syötettiin neutralointikaivoon 2 min jaksoissa ja jaksojen välissä suoritettiin pH:n mittaus.

TAULUKKO 3. Neutralointilaitteiston toisen koekäytön mittaustuloksia

Kaasun syötön kesto yhteensä	Mitattu pH	Veden lämpötila °C
Lähtötilanne 0 min	9,3	8,1
2 minuuttia	8,73	8,1
4 minuuttia	8,04	8,1
6 minuuttia	7,52	8,0

Myös toisen koekäytön mittaustuloksien perusteella vesi neutraloitui lähes lineaarisesti syötetyn hiilidioksidikaasun määrän mukaisesti ja todennäköisesti pienet vaihtelut pH-arvon laskussa kaasun syöttöjaksojen välillä selittyvät mittausten lyhyillä aikaväleillä. Lyhyen mittausaikavälin vuoksi vesinäytteen ottaminen kaivosta ei tapahtunut aina täsmälleen saman ajan kuluttua kaasun syötön lopettamisesta, jolloin mahdollista pientä eroa hiilidioksidin reagointiaikaan pääsi muodostumaan. Taulukossa 3 esitettyjen tulosten perusteella arvioituna hiilidioksidin syöttömäärä 1 kg/h virtausnopeudella 1 min ajan laskee pH-arvoa noin 0,31:llä 2,74 m<sup>3</sup>:n jätevesimäärälle.

Yhteenvedona näiden kahden mittauksen perusteella voidaan todeta, että kaksinkertaisella virtausnopeudella ei saavutettu nyt toteutetussa ratkaisussa samaa hyötysuhdetta kuin käyttämällä virtausnopeutena 1 kg/h. Tämä voi mahdollisesti johtua siitä, että suurempaa virtausnopeutta käytettäessä hiilidioksidikuplista neutralointialtaan pohjalla muodostuu syöttöletkusta lähtiessään hieman suurempia ja ne eivät pääse reagoimaan neutraloitavan nesteen kanssa yhtä tehokkaasti. Tämän varmistaminen vaatisi kuitenkin jatkotutkimuksia, joten vahvistusta tälle ei tässä työssä saatu.

Mittaustulosten perusteella betonisen jäteveden pH-arvo saadaan laskemaan nyt rakennetulla neutralointijärjestelmällä 2 - 5 yksikköä, alkutilanteen pH-arvosta riippuen, noin 6,5 - 16 minuutissa käyttämällä hiilidioksidikaasun virtausnopeutena 1 kg/h. Hiilidioksidikaasun syöttämiseen ja näin ollen neutralointiin tarvittavaa aikaa voidaan pitää tähän käyttökohteeseen erittäin sopivana, koska neutralointitoimenpiteet on mahdollista suorittaa betoniaseman henkilöstön toimesta betoniaseman päivittäisen toiminnan ohessa, kun betonin valmistuksessa tulee taukoja.



## 7 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä asetettiin tavoitteeksi selvittää muutostarpeet betonijoneuvojen pesuvesien kierrätysjärjestelmään kertyvien ylimääräisten vesien käsittelylle ja toteuttaa tarvittavat muutokset, minkä jälkeen muutosten vaikutukset tutkitaan mittaamalla. Opinnäytetyön aikana selvitettiin betoniteollisuudesta syntyvien jätevesien käsittelyä koskevia ympäristövaatimuksia, arvioitiin järjestelmästä kertyvien käsiteltävien jätevesien määriä ja niiden laatua, hankittiin jätevesien käsittelyyn tarvittava laitteisto ja toteutettiin muutostyöt järjestelmään. Opinnäytetyön lopussa jäteveden laadun muutokset tutkittiin mittaamalla ja laitteiston todettiin toimivan kuten tämän opinnäytetyön aikana oli määritetty.

Tämä opinnäytetyö oli erittäin mielenkiintoinen ja työn aikana kertyi hyvää kokemusta emäksisten vesien neutraloinnista hiilidioksidikaasua käyttäen. Muiden happojen tai neutralointilaitteistojen käytöstä tässä työssä sen sijaan ei kertynyt käytännön kokemusta, mutta erittäin hyvää perustietoa betonisten vesien kemiasta ja neutraloitumiseen johtavista reaktioista sen sijaan kertyi. Haastavimpana tätä työtä tehdessä koin tarvittavien muutostöiden suunnittelun ja käyttötarpeeseen sopivan neutralointijärjestelmän mitoituksen arvioimisen.

Yrityksen betonisten jätevesien neutralointijärjestelmäksi valittu ratkaisu on käyttötarpeeseen erittäin hyvin soveltuva ja ylläpidon kannalta huoltotoimenpiteet rajoittuvat altaiden, kaasunsyöttölaitteiston, putkistojen ja sulkuventtiilin mahdollisten vuotojen tarkkailuun. Kustannuksiltaan tässä opinnäytetyössä toteutettu ratkaisu oli tuotantomääriin suhteutettuna kohtuullinen eikä laitteiston uudistamiselle ole välitöntä tarvetta, vaikka tuotantomäärät jonkin verran kasvaisivatkin tulevaisuudessa, sillä jätevesien neutralointia tässä pesuvesien kierrätysjärjestelmässä tehdään vain ylimääräisenä kertyville jätevesille. Tällä ylimääräisten jätevesien käsittelyn parannusratkaisulla ei myöskään ole suoraa vaikutusta valmisbetonin tuotantomääriin, sillä valmisbetonin tuotantomäärä betoniasemalla on täysin riippuvainen alueellisesta rakentamisesta. Kokonaisuutena tässä työssä päästiin erittäin hyvin tälle työlle asetettuihin tavoitteisiin ja näin ollen yrityksen ympäristönsuojelulliset tavoitteet saadaan täytettyä aiempaa paremmin.

Työssä jäi kuitenkin vielä jonkin verran myös mahdollisuuksia jatkokehitykselle, etenkin mikäli yrityksen tarpeet jäteveden neutralointikäsittelylle kasvavat merkittävästi tulevaisuudessa. Tässä

työssä jatkokehitysmahdollisuutena voitaisiin pitää ainakin automaation lisäämistä neutralointijärjestelmän osaksi, mutta vähäisten käyttömäärien vuoksi kyseisessä kohteessa automaatiota sisältäen ratkaisun katsottiin olevan toistaiseksi liian kallis investointi.

Automaation lisäämisellä järjestelmän osaksi voitaisiin mahdollistaa pH-mittaus jatkuvatoimisena ja automatiikka voisi suorittaa neutralointiin käytettävän hiilidioksidikaasun oikeamääräisen annostelun aina itsenäisesti ennalta määriteltyjen raja-arvojen ylittyessä. Lisättäessä automatiikkaa järjestelmään voisi olla mahdollisuus myös rakentaa etäohjaus- ja valvontajärjestelmä, jolloin ylläpito ja mittaustulosten seuranta olisi mahdollista tehdä ilman ylläpitäjän välitöntä läsnäoloa. Käyttömäärien mahdollisesti kasvaessa automaatiota lienee kuitenkin syytä jälleen harkita.

Käyttömäärien kasvu kuitenkin vaatisi myös suurempien ylimääräisten vesimäärien ohjautumista neutralointikaivoon, mutta ylimääräisiä vesiä ei nykyiseen pesuvesien kierrätysjärjestelmään juurikaan kerry nyt tutkittua enempää. Ylimääräisiä vesiä järjestelmään voisi tulevaisuudessa kertyä lähinnä laajentamalla pesupaikkaa, jolloin sateelle altistuva pinta-ala kasvaisi tai lisäämällä puhtaan veden käyttöä betonijoneuvojen säiliöiden pesun yhteydessä.

## LÄHTEET

1. Suomen betoniyhdistys r.y 2011. Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. Kuudes painos. Lahti: ESA Print Oy.
2. Betoniteollisuus ry. Tietoa betonista, Perustietopaketti. Hakupäivä 17.10.2021. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/>.
3. Betoniteollisuus ry. Tietoa betonista, Betoni ja ympäristö. Hakupäivä 17.10.2021. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-ymparisto/>.
4. RT/Betoniteollisuus 2021. Betoniteollisuuden yhteenvertotaulukko, Tilastotietoja 20.8.2021. Hakupäivä 17.10.2021. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/09/Betoniteollisuuden-yhteenvertotaulukko-2020.pdf>.
5. Betoniteollisuus ry. Tietoa betonista, Perustietopaketti, Ympäristönäkökohdat, Betonirakenteen ekotehokkuus. Hakupäivä 17.10.2021. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/betonirakenteen-ekotehokkuus/>.
6. Betoniteollisuus ry. Tietoa betonista, Perustietopaketti, Betoni rakennusmateriaalina, Betonin valmistus. Hakupäivä 17.10.2021. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonirakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>.
7. Suomen betoniyhdistys ry 2016. Betoninormit 2016 by 65. Toinen painos. Vaasa: Oy Fram Ab.
8. Suomen betoniyhdistys ry. Betonitieto, Betonisanasto. Hakupäivä 14.11.2021. <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/pozzolaani.html>.
9. Virola, Heli & Raivio, Paula 2000. VTT tiedotteita, Portlandsementin hydrataatio. Espoo: Otamedia Oy. Hakupäivä 14.11.2021. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2000/T2041.pdf>.
10. Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527. Hakupäivä 24.10.2021. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>.
11. Suomen ympäristökeskus SYKE 2021. Ympäristölupa. Hakupäivä 24.10.2021. [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/asiointi/luvat\\_ja\\_ymparistovaikutusten\\_arviointi/luvat\\_ilmoitukset\\_ja\\_rekisterointi/Ymparistolupa](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/asiointi/luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa).
12. Valtioneuvoston asetus kiinteän betoniaseman ja betonituotetehtaan ympäristönsuojeluvuatomuksista 2018. Helsinki 8.11.2018. Hakupäivä 27.10.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180858>.
13. Isoaho, Simo & Valve, Matti 1986. Vesikemian perusteet 846. Helsinki: Otakustantamo.

14. Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 713/2014. Helsinki 22.12.2020. Hakupäivä 17.11.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140713>.
15. Vesilaitosyhdistys, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä 2018. Finnish industrial wastewater guide. Helsinki, Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Hakupäivä 17.11.2021. [https://www.vvy.fi/site/assets/files/4829/finnish\\_industrial\\_wastewater\\_guide.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/4829/finnish_industrial_wastewater_guide.pdf).
16. Oy Linde Gas Ab 2020. Käyttöturvallisuustiedote Hiilidioksidi, versio 2.1. Hakupäivä 17.11.2021. [https://www.linde-gas.fi/fi/images/Hiilidioksidi\\_Biogon%20C\\_2.1\\_FI\\_tcm634-448431.pdf](https://www.linde-gas.fi/fi/images/Hiilidioksidi_Biogon%20C_2.1_FI_tcm634-448431.pdf).
17. Ilmatieteenlaitos. Vuositilastoja vuodesta 1961. Hakupäivä 17.11.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>.



Valimontie 1  
99600 Sodankylä

## NEUTRALOINTIMÄÄRIEN MITTAUKSET

pp.kk.vvvv

Neutralointiin käytettävä kaasu \_\_\_\_\_

Säätöpaine rotametrissa		bar
Pullosäätimeltä säädetty paine		bar
Virtausmäärä kg/h		kg/h
Vesimäärä kaivossa lähtötilanne hw-ylär.		cm
Veden pH ennen neutralointia		
Veden lämpötila ennen neutralointia		

Kaasutusaika min	Kellon aika		Veden mittaukset	
	Aloitus	Lopetus	Mitattu pH	Lämpötila
0 min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				
__ min				

Mittauksen suorittaja \_\_\_\_\_

Mittauksen päivämäärä \_\_\_\_\_