

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

FOSFORIHAPPOTEHTAAN KIPSIN LÄJITYSALUEEN JA KIERTOVEDI- ALUEIDEN VESITASE

Yara Suomi Oy

TEKIJÄ: Reetta Tuomainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Reetta Tuomainen			
Työn nimi Fosforihappotehtaan kipsin läjitysalueen ja kiertovesialueiden vesitase			
Päiväys	23.5.2022	Sivumäärä/Liitteet	30/1
Toimeksiantaja Yara Suomi Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on päivittää fosforihappotehtaan kipsin läjitysalueen ja kiertovesialueiden vesitase vastaamaan nykyistä tilannetta. Kipsin läjitysalueen ympäristössä on tapahtunut muutoksia ja tuotantokapasiteetti on kasvanut. Tehtaalle on tehty aiemmin vesitaseen selvityksiä, mutta nyt haluttiin luoda kattava selvitys fosforihappotehtaan vesikierrosta yhdeksi kokonaisuudeksi. Tavoitteena tässä työssä on tehdä vesikierron ja vesitaseen selvitys, luoda taulukoita ja kuvia, sekä tarkastella vesitasetta koskevia riskejä. Tämä opinnäytetyö koostuu teoriaosioista ja selvitysoasiosta.</p> <p>Selvitystyötä tehtiin Yaran aineistojen, hydrologian kirjallisuuden ja prosessin ohjausjärjestelmän tietojen avulla. Selvityksen aikana tutustuttiin useisiin erilaisiin vesitaseen muuttujia koskeviin lähteisiin. Vesitaseen selvityksen kannalta oleellista oli laskea erilaisia vesimääriä. Laskennassa hyödynnettiin varmennettuja vesivirtaamia ja arvioituja vesivirtaamia pohjautuen useisiin lähteisiin. Lisäksi tehtiin mitoituslaskentaa sateelle ja lumen sulamiselle. Selvityksien jälkeen tarkasteltiin riskejä pohjautuen allastilavuuden riittävyteen erilaisissa poikkeustilanteissa. Riskien arvioinnin pohjalta voitiin antaa erilaisia operointiehdotuksia ja ohjeita tulevaisuuden selvitystyötä varten.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kattava selvitys fosforihappotehtaan vesitaseesta. Työssä onnistuttiin selvittämään laskemalla ja arvioimalla vesikiertoon tulevat ja lähtevät vedet. Tehdyssä tarkastelussa selvitettiin allastilavuuksia koskevat riskit ja todettiin allastilavuuden olevan riittävä. Jatkossa vesitase halutaan luoda mallinnusohjelmistoon ja edelleen selvittää vesitaseen toimivuutta erilaisissa tilanteissa.</p>			
Avainsanat Vesitase, hydrologia, prosessiteollisuus, laskenta, riskinarviointi			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology	
Author Reetta Tuomainen	
Title of Thesis Water Balance of Gypsum Pile Area and Circulating Water Areas of the Phosphoric Acid Plant	
Date 23 May 2022	Pages/Appendices 30/1
Client Organisation Yara Suomi Oy	
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to update the water balance of the gypsum pile area and circulating water areas of the phosphoric acid plant to reflect the current situation. Changes have taken place in the environment of the gypsum pile area and production capacity has increased. Water balance research work had been made for the plant previously, but now there was a wish to carry out a comprehensive investigation of the water cycle of the phosphoric acid plant. The aim of this work was to write a report of the water cycle and water balance, create tables and figures, and to assess the risks related to the water balance. This thesis consists of theory and explanation sections.</p> <p>The investigation was carried out using Yara's data, hydrology literature and process control systems data. During the project, several different sources of water balance parameters were explored. It was relevant to calculate different amounts of water for the water balance. Confirmed water flows and estimated water flows based on several sources were used in calculations. In addition, real calculations were made for rain and snow melting. After investigations the risks were assessed based on the sufficiency of the pool volume in different exceptional situations. Based on the risk analysis, various operating recommendations and instructions could be given for future investigation.</p> <p>The purpose of this thesis was to make a comprehensive investigation of the water balance of a phosphoric acid plant. This thesis successfully specified the water cycles entering and leaving waters by calculating and estimating. The thesis project examined the risks related to circulating water area volumes and it was found that the volume was sufficient. In the future water balance could be part of the modeling software and so further investigate the functionality of the water balance in different situations.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Water balance, hydrology, processing industry, calculation, risk assessment</p>	

ESIPUHE

Haluan kiittää Yara Suomi Oy:n Siilinjärven fosforihappotehtaan tuotantopäällikkö Juhani Poutaa ja tehtaiden ympäristöpäällikkö Leena Huttusta mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta ja tuesta opinnäytetyöprosessin aikana. Kiitokset ohjaava opettaja Pasi Pajulalle korvaamattomasta avusta ja neuvoista opinnäytetyöprosessin aikana. Lisäksi haluan kiittää koko fosforihappotehtaan väkeä mukavista kesätyövuosista. Lopuksi haluan kiittää läheisiäni, ystäviäni ja luokkatovereitani tuesta kouluvuosien aikana.

Kuopiossa 23.5.2022

Reetta Tuomainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	VEDEN KIERTOKULKU.....	9
2.1	Hydrologian perussuureet ja keskeiset käsitteet	9
2.2	Vesitase	11
3	FOSFORIHAPPOTEHDAS	13
3.1	Kipsin läjitysalue ja kiertovesialue	13
3.2	Vesikierto	13
3.3	Kipsin läjitysalueen ja kiertovesialueiden valuma-alueet.....	13
3.4	Kiertoesialtaiden pinnanmittaus	13
3.5	Vesikierron mittaukset ja pumppaukset	13
3.6	Pumppujen toiminta	13
4	VESIKIERTOON TULEVA VESI.....	14
4.1	Raakavesi.....	14
4.2	Kipsin vesi	14
4.3	Fosforihapon raaka-aineet	14
4.4	Prosessivesi	14
4.5	Hapanvesi	14
4.6	Muut läjitysalueelle varastoituidut jakeet	14
4.7	Sadanta.....	14
4.8	Rankkasateen aiheuttaman ylivirtaaman määrittäminen	15
4.9	Valunta	17
4.10	Lumen sulaminen.....	18
4.11	Vesikiertoon tulevat vedet taulukoituna	19
5	VESIKIERROSTA POISTUVA VESI.....	20
5.1	Haihdunta	20
5.2	Tuotannossa poistuva vesi.....	20
5.3	Neutraloitu vesi.....	20
5.4	Vesikierrosta poistuvat vedet taulukoituna	20
5.5	Kipsin läjitysalueen ja fosforihappotehtaan alustava vesitase	20
6	FOSFORIHAPPOTEHTAAN JA KIERTOYESIALTAIDEN VESITASE.....	21
7	RISKIEN TARKASTELU	22

7.1	Rankkasateet ja lumen sulaminen	22
7.2	Tuotannon poikkeustilanteet.....	22
7.3	Laiterikot.....	22
8	OPEROINTI EHDOTUKSET.....	23
8.1	Allastilavuuden säätely	23
9	SEURAAVAT VAIHEET VESITASEMALLIN LUONNISSA	24
10	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	25
11	POHDINTA.....	26
	LÄHTEET	27
	LIITE 1: KIPSIN LÄJITYSALUEEN UOMAT	30

KUVALUETTELO

Kuva 1.	Veden kiertokulku. (Jokela 2017, 58.)	9
Kuva 2.	Vesitaseen muuttujat Suomessa. (Vesi ja ympäristöhallitus 1995, 37.)	10
Kuva 9.	Rankkasateen voimakkuus (Katajisto 1969)	16
Kuva 10.	Kaiteran nomogrammi. (Järvenpää, Savolainen 2016 10.).....	19

1 JOHDANTO

Yara International ASA on kansainvälinen lannoitteita, teollisuuskemikaaleja ja ympäristönsuojelutuotteita valmistava yritys. Yara Internationalilla on toimipaikkoja ympäri maailman ja Yara Suomi Oy on yksi tytäryhtiöistä. Yara Suomi Oy:llä on Suomessa kolme tuotantolaitosta, jotka sijaitsevat Siilinjärvellä, Kokkolassa ja Uudessakaupungissa. Yara Suomi työllistää kokonaisvaltaisesti, urakoitsijat mukaan lukien noin 4000 työntekijää.

Yara Siilinjärvi on monipuolinen tuotantolaitos, jossa on EU-alueen ainut fosfaattikaivos. Siilinjärven tehtaiden toiminta alkoi vuonna 1969 ja kaivostoiminta 1977. Avolouhoksen malmista rikastetaan apatiittia, josta saadaan fosforihappoa lannoitteiden ja rehufosfaatin lähteeksi. Kaivoksen lisäksi tehtaalla neljä tuotantolaitosta, jotka ovat lannoitetehtas, fosforihappotehtas, typpihappotehtas ja rikkihappotehtas. Siilinjärven toimipaikka työllistää urakoitsijat mukaan lukien noin 700 työntekijää.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään fosforihappotehtaan kipsin läjitysalueen vesitase. Työn tilaaja on Yara Siilinjärvi ja tehtävä työ palvelee sekä fosforihappotehtaan tuotantoa että tehtaan ympäristöasioiden hallintaa. Vesitase halutaan selvittää, sillä alue on muuttunut ja tiedot kaipaavat päivitystä. Fosforihappotehtaalta halutaan tehdä kokonaisvaltainen yksissä kansissa oleva vesitaseen selvitys. Vesitaseen selvittämissä koostuu vesitaseprosessin kuvaamisesta, jossa aluksi esitetään systeemiin kuuluvat osa-alueet, joissa vettä kulutetaan, vettä syntyy, vettä varastoidaan tai joiden välillä vesi virtaa. Selvitettäviä asioita ovat paitsi edellä mainitut osa-alueet ja niiden yhteydet myös liikkuvien vesivirtojen eli virtaamien suuruuksien sekä niiden ajallisen vaihtelun selvittäminen. Tehtävällä työllä pyritään parempaan vesitaseen hallintaan esimerkiksi liittyen poikkeuksellisten rankkasateiden aiheuttamien riskien hallintaan riittävän varastotilavuuden varmistamisella. Vesivarastoihin tulevien tai lähtevien vesivirtojen suuruuteen vaikuttavat esimerkiksi sadanta valuma-alueella, haihdunta altaista ja valuma-alueelta, sulanta valuma-alueella, puhdistamolle johdettavat vedet, tuotantoprosessiin johdettavat tai sieltä palautettavat vesivirrat sekä vesivarastojen välisten avouomien tai pumppaus-ten vesivirrat.

Työssä kuvattava vesitase luo perustan ja antaa suuntaviivat jatkossa edelleen kehittää vesitaseen hallintaa. Tässä työssä pyritään priorisoimaan vesitaseen hallinnan kehittämiseksi tarvittavaa selvitystyötä ja luomaan menettely tai tiekartta kohti vesitasesysteemin laskennallista, operatiivista hallintaa. Laskennallisen hallinnan ohella pyritään selvittämään mahdollisesti tarvittavien uusien, vesivirtojen tai vesivarastojen mittaukseen perustuvien hallintamenettelyjen tarvetta.

Tavoitteena on selvittää fosforihappotehtaan vesivirrat, antaa näkemyksiä tukemaan tulevaisuuden vesitase mallinnusta, sekä johtaa vesitase osaksi prosessityökalua. Selvitystyö vaatii hyvin laaja-alaista perehtymistä hydrologiaan, tuotantoprosessiin ja nykysysteemin hallinnassa käytettävään mittaus- ja automaatiojärjestelmä Valmetiin.

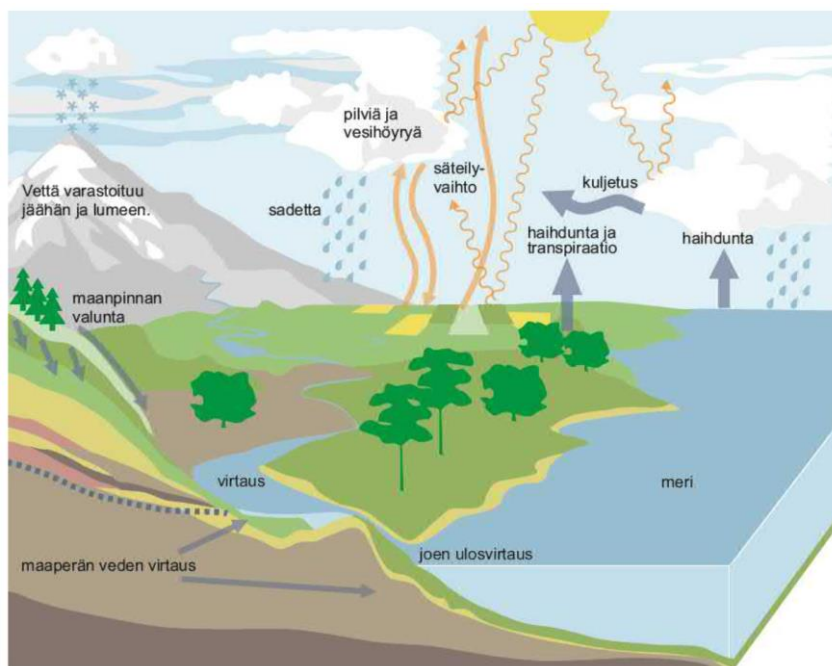
Tämän opinnäytetyön tavoitteiksi asetettiin.

1. Vesitaseen päivitys (vesimäärät tehtaalla, tehtaalle, varastoaltaissa, valunta, sadanta, haihdunta, tuotteen mukana).

2. Vuositason vesien tarkastelusta lyhyemmän aikavälin tarkasteluun (kuukausi/viikko/vuorokausi/tunti/ minuutti)
3. Luodaan piirustuksia (vesitase periaatekuvana ja karttapohjalla)
4. Mitattavat asiat ja parametrit kuvana tai mainittuna (virtaustiedot, virtausmittaukset, pinnanmittaukset, mitattavat asiat, näkemykset mitä tulisi mitata)
5. Laskennallinen vesitase. (Jos tulee muutoksia, voidaan lisätä/poistaa vesimääriä)
6. Riskien tarkastelu. Tavoitteena saada vesitase osaksi riskienhallintaa.
7–8 vaiheet eivät toteudu tässä työssä.
7. Vesitasemallin toimivuus (mittausten avulla)
8. Tulevaisuudessa vesitase operatiiviseksi työkaluksi. Tällöin vesitasetta koskevia prosesseja pystytään operoimaan huomioiden riskit, sään ääri-ilmiöt tai tuotannon poikkeavat olosuhteet.

2 VEDEN KIERTOKULKU

Veden kiertokulku koostuu vesivarastojen, virtausten, haihdunnan ja sadannan muutoksista. Veden kiertokulun perusta on, että vettä haihtuu maanpinnalta ilmakehään. Ilmakehässä vesi uudelleen tiivistyy sateeksi ja vesi sataa maahan. Maahan satanut vesi ohjautuu vesivarastoihin kuten pintaveysiin: jokiin, järviin ja meriin, sekä pohjavesiin. Satanut vesi ohjautuu vesivarastoihin pinta- pintakerros-, sekä pohjavaluntana. Sääolot ja vuodenajat vaikuttavat vesivarastoihin sillä vettä varastoituu myös lumeen ja jäähän. Vesivarastoihin kertynyt vesi palautuu hiljattain ilmakehään haihduntana. Veden kiertokulku kuvattu kuvassa 1. (Huttula, Leppäranta, Virta 2017, 56–59.)



Kuva 1. Veden kiertokulku. (Jokela 2017, 58.)

Veden kiertokulku voi olla lyhyt tai pitkäkestoista. Lyhyessä vesikierrrossa vesi palautuu melko pian takaisin ilmakehään haihduntana. Vastaavasti pitkässä vesikierrrossa vesi voi jäädä pitkäksi aikaa vesivarastoihin sitoutuneeksi. Kiertokulussa oleva vesi voi kulkea usean vesivaraston läpi, tätä kutsutaan vuosuureeksi. Veden virtaamista eri varastojen tai kiertokulun välillä seurataan virtaaman aika tai pinta-ala yksikössä. Vesivarastojen koot ilmoitetaan tilavuus yksikössä. (Huttula, Leppäranta, Virta 2017, 62.) Luonnollisen veden kiertokulku on verrattavissa teollisuuden suljettuun prosessivesikiertoon. Prosessivesikierrrossa vesiä ei pääse luontoon esimerkiksi varastovesialtaista tai valuma-alueilta.

2.1 Hydrologian perussuureet ja keskeiset käsitteet

Haihdunta (Evaporation): Haihdunta tarkoittaa kiinteän tai nestemäisen veden muuttumista vesihöyryksi. Haihduntaa voi tapahtua erilaisilta pinnoilta. Tyypillisesti vesitasessa haihduntaa kuvaa maan, veden tai lumen pinnalta tapahtunut haihdunta. Haihtuvan vedenmäärää voidaan kuvata aikayksikössä (mm/d).

Sadanta (Precipitation): Sadannalla kuvataan satanutta vesimäärää eri aikayksiköissä tai eri pinta-aloilla. Sadannalla on erilaisia olomuotoja, tyypillisimmät ovat vesi ja lumi. Sadanta on merkittävä osa vesitasetta.

Valuma-alue (Catchment Area): Kaikilla vesialueilla on oma valuma-alueensa. Kaikki maa-alueet ovat osa jotain valuma-aluetta. Valuma-alue kuvaa aluetta, jolle satanut vesi purkautuu matalimpaan maastonkohtaan eli johonkin kosteikkoon, puroon, jokeen tai vesistöön.

Valunta (Runoff): Valunta kuvaa vesimäärää, joka purkautuu valuma-alueelta alimpaan maastonkohtaan tietyssä ajassa. Valunta voi tapahtua maan pinnalla pintavaluntana, mutta myös pintakerrosvaluntana tai pohjavesivaluntana maan pinnan alapuolisissa maakerroksissa tai kallioruhjeissa. Valunta muodostuu sadannasta ja haihdunnasta. Sataneesta vedestä haihtuu osa, jolloin jäljelle jää valunta. Valunnan yksikkö on vesikerroksen paksuus aikayksikössä esimerkiksi mm/d.

Valuma: Valuma kuvaa vesimäärää, joka purkautuu tietyltä valuma-alueelta. Tyypillisesti valumaa kuvataan yksikössä l/s/ha.

Virtaama: Virtaamalla kuvataan virtaavan veden tilavuutta tietyssä aikayksikössä. Virtaamaa voidaan kuvata esimerkiksi yksilöllä l/s. (Liikennevirasto 2013, Pajula 2015 s. 7–8, Salaojayhdistys, Julkaisuaika tuntematon)

Kuvassa 2 on esitetty sadannan, haihdunnan ja valunnan suuruksia Suomessa. Alueellisten vaihteluiden vuoksi on tärkeä käyttää laskuissa oikeita arvoja. Hydrologissa laskelmissa käytetään alueelle ominaisia päämuuttujia, jotka määritetään kolmenkymmenen vuoden seurantajakson perusteella. Lähiaikoina Suomessa julkaistaan todennäköisesti vesitase valuma-alueittain vuosien 1991–2020 aineiston perusteella, koska aiempi on tehty 30 vuoden ajalta vuosilta 1960–1990. (Vesi ja ympäristöhallitus 1995)



Kuva 2. Vesitaseen muuttujat Suomessa. (Vesi ja ympäristöhallitus 1995, 37.)

2.2 Vesitase

Vesitaseen avulla kuvataan veden liikettä ja sen varastoitumista tarkasteltavassa systeemissä. Luonnonympäristössä vesitaseeseen vaikuttavia tekijöitä ovat sadanta, sulanta, haihdunta, valuma-alueen pinta-ala ja erilaisten vesivarastojen tilavuus valuma-alueella. Vesivaraston tilavuutta halutaan tarkastella eri aikayksiköissä. Kasvien pinnoille varastoituva vesi, painannesäilyntä, lumipeitteen vesivarasto, purot, lammet, järvet ja pohjavesivyöhyke ovat esimerkkejä valuma-alueen vesivarastoista. Osassa vesivarastoja vesi viipty vain hetken, kun taas toisissa vesi voi viipyä vuosikausia. Teollisuuden käyttöön laadittava vesitase voi muistuttaa huomattavasti luonnonympäristön vesitasetta. Näin tapahtuu erityisesti silloin, jos teollisuuden toiminta tapahtuu alueella, joka muistuttaa suuresti luonnonympäristöä. Kun teollisuuden vesitaseeseen kuuluu teollisuusprosessille ominaisia tuotantoprosesseja, joissa syntyy vettä tai joissa käytetään vettä, täytyy usein nämäkin vesivirrat huomioida vesitaseessa, jotta kokonaisuudesta tulisi hallittava. (Huttula, Leppäranta, Virta 2017, 62.) (Pajula, 2022)

Vesitase on yleensä tunnettu tärkeänä osana esimerkiksi kaivosteollisuutta, mutta se on myös tärkeä osa prosessiteollisuutta. Vesikiertoon tulevat ja lähtevät vesijakeet, sekä varastoallastilavuudet tulee tiedostaa ja lisäksi on selvitettävä vaihtelevat vesivirrat. Riskienhallinnan näkökulmasta tulee selvittää ja ennakoida esimerkiksi lumen sulamisesta tai rankkasateista syntyvät vesivirrat, joiden tuntemus ja hallinta voi olla keskeinen osa teollisuuden riskien hallintaa. Vesitaseen tunteminen ja tiedostaminen mahdollistaa vesienhallinnan ja vesienhallinnan suunnittelun. Vesienhallinnan suunnittelun avulla voidaan kehittää toimintoja edelleen paremmaksi. Vesienhallinnassa on kuitenkin huomioitava ympäristön ja prosessin vaatimukset. Vesitaseen avulla voidaan arvioida vedenkäytön vaikutuksia vesivarastoihin. Vesitaseen ja vesimäärien ollessa tiedossa pystytään operoimaan vesienmäärää ja tiedostamaan allastilavuuksien rajat. Vesitaseselvityksen tulee olla luotettava, täsmällinen ja mukautuva eri skenaarioiden suhteen. (Haanpää 2015, 8.)

Vesitaseen selvittämiseksi tulee tehdä analyttinen tutkimus sademääristä, vesivarastoista, haihtumisesta, virtauksista ja maaperän kosteuksen muutoksista. (Geography Notes, julkaisuaika tuntematon)

Teollisuudessa vesitaseen selvityksessä on hyvä edetä tiettyjä vaiheita noudattaen. Ensimmäinen vaihe on järjestelmän analysointi, jolloin selvitetään mitkä osa-alueet tai prosessit ovat osa tarkasteltavaa vesitasetta. Toinen vaihe on järjestelmän kuvaus jolloin, selvitetään tulevat ja lähtevät vesivirrat niiden suuruudet ja viipymät. Kolmas vaihe on tiedonkeruu puutteelliseksi todettujen vesivirtaiteiden osalta, jolloin selvitetään tyypillisesti esimerkiksi virtaamaa mittaamalla. Neljäs vaihe on vesitasemallin luominen ja eri skenaarioiden esittäminen. Viimeinen viides vaihe on mallinnustulosten tulkinta ja mallin luotettavuuden arviointi. Erilaisten mallien toimivuuden varmistaminen mallin kalibroinnin ja validoinnin avulla olisi erityisen tärkeää, mikäli vesitasemallilla hallinnoidaan merkittäviä vesitaseeseen liittyviä riskejä. (Water Recourses and Industry 2016, 14.)

Jonkun systeemin vesitase voidaan yksinkertaisimmillaan kuvata kaavalla 1,

$$\frac{dV}{dt} = I + (P - E)A - R, \quad (\text{Kaava 1})$$

missä dV/dt = vesivaraston tilavuuden muutosnopeus, I on systeemiin esimerkiksi teollisuusprosessista tuleva tai sinne poistuva vesivirta, P on sadanta valuma-alueelle, E on haihdunta valuma-alueella, A on valuma-alueen pinta-ala ja R on systeemistä luonnonympäristöön poistuva vesivirta. (Huttula, Leppäranta, Virta 2017, 62.)

3 FOSFORIHAPPOTEHDAS

Yara Siilinjärven Fosforihappotehdas aloitti toimintansa vuonna 1969. Tehtaan tuotantokapasiteetti vuositasolla on 300 000 tonnia P_2O_5 eli fosforipentoksidia. Henkilöstöä tuotannossa ja kunnossapidossa on noin 40 henkilöä. Tehtaan käyntiaste on noin 89 %, joten tehdas käynnissä keskimäärin 325 päivää vuodesta. Fosforihapon raaka-aineita ovat apatiittirikaste, rikkihappo ja vesi. Fosforihappotehtaalla apatiittirikasteen sisältämä fosfori liuotetaan laimeaksi fosforihapoksi kaksivaiheisessa dihydraattiprosessissa. Syntynyt liete eli haposlurry suodatetaan tasosuotimella, josta erotetaan happo ja kipsi poistetaan kipsikuljettimilla kipsinläjitysalueelle. Laimea fosforihappo (28 %) väkevöidään ja käsitellään tuotehapoksi. Fosforihappoa käytetään lannoitteiden valmistukseen, eläinrehujen raaka-aineena, sekä teollisten fosfaattien valmistukseen. Fosforihappotehdas sisältää laimean fosforihapon valmistuksen reaktorilinjan, hapon puhdistuslinjan, kolme väkevöintiä, hapon varastosäiliöt, lastauslaitteiston, kuiva-ainevarastot, apatiittikuljettimet, kipsikuljettimet, kipsinläjitysalueen, sekä kiertovesialtaat. Tehtaan vesijärjestelmään kuuluu jäähdytysvesikierto ja kiertovesijärjestelmä.

Fosforihappotehtaan tuotantokapasiteetista 170 000 tonnia P_2O_5 on 52 %:sta lannoitelaatuista fertihappoa, 130 000 tonnia P_2O_5 on 58 %:sta rehulaatuista prefohappoa ja 0,5 tonnia P_2O_5 biohappoa. Lisäksi sivutuotteina syntyy 17 000 tonnia H_2SiF_6 fluoripiihappoa ja 1 700 000 tonnia kipsiä. Fluoripiihappoa muodostuu, kun laimeaa fosforihappoa väkevöidään alipainehaihdutuksessa tuotehapoksi ja haihtuva kaasu sisältää fluoria, joka keräään talteen fluoripesurissa. Haihtuvan kaasun fluori on peräisin apatiitista. Sivutuotteena syntyvää kipsiä hyödynnetään maanparannusaineena ja lannoitteiden valmistukseen. (Pouta, 2021)

- 3.1 Kipsin läjitysalue ja kiertovesialue
Vain tilaajan käyttöön.
- 3.2 Vesikierto
Vain tilaajan käyttöön.
- 3.3 Kipsin läjitysalueen ja kiertovesialueiden valuma-alueet
Vain tilaajan käyttöön.
- 3.4 Kiertovesialtaiden pinnanmittaus
Vain tilaajan käyttöön.
- 3.5 Vesikierron mittaukset ja pumppaukset
Vain tilaajan käyttöön.
- 3.6 Pumppujen toiminta
Vain tilaajan käyttöön.

4 VESIKIERTOON TULEVA VESI

Vain tilaajan käyttöön.

4.1 Raakavesi

Vain tilaajan käyttöön.

4.2 Kipsin vesi

Vain tilaajan käyttöön.

4.3 Fosforihapon raaka-aineet

Vain tilaajan käyttöön.

4.4 Prosessivesi

Vain tilaajan käyttöön.

4.5 Hapanvesi

Vain tilaajan käyttöön.

4.6 Muut läjitysalueelle varastoituidut jakeet

Vain tilaajan käyttöön.

4.7 Sadanta

Vesikiertoon ja veden varastotilavuuden kehitykseen vaikuttaa voimakkaasti kiertovesialtaiden valuma-alueelle kohdistunut sadanta ja myös sulanta. Sadannan määrä vaikuttaa haihdunnan ja valunnan suuruuteen. Suomessa sataa keskimäärin noin 600 mm vuodessa, josta noin 30–40 % tulee lumena Keski-Suomessa. Sadannan suuruutta voidaan selvittää Ilmatieteenlaitoksen hila-aineistojen avulla. Aineistossa yhden hilan koko on 10 km*10 km. Taulukossa 1 esitetään tarkasteltavan hilan keskimääräinen sadanta vuosien 1991–2020 aineiston perusteella.

Poistettu tekstiä (vain tilaajan käyttöön).

Taulukko 1. Vuosien 1991–2020 keskimääräiset sademäärät kuukausittain. (Ilmatieteenlaitos, 2022)

Vuosien 1991-2020 keskiarvo (Kuopio)	
Kuukausi	Sademäärä (mm)
Tammikuu	44
Helmikuu	37
Maaliskuu	33
Huhtikuu	29
Toukokuu	46
Kesäkuu	67
Heinäkuu	81
Elokuu	64
Syyskuu	54
Lokakuu	54
Marraskuu	53
Joulukuu	54
Vuosittainen ka	616

Poistettu tekstiä (vain tilaajan käyttöön).

Suomen olosuhteissa on varsin tyypillistä, että pinta-alaltaan alle yhden neliökilometrin valuma-alueilla suurimmat hetkelliset valunnasta syntyvät virtaamat syntyvät rankkasateista. Yli kolmen neliökilometrin kokoisilla valuma-alueilla suurimmat valumat aiheutuvat tyypillisesti lumen sulannasta. Rankkasateiden aiheuttamia ylivalumia ja ylivirtaamia arvioitaessa käytetään usein niin sanottuja mitoitussateita, joissa sateen kesto aika valitaan valuma-alueen pinta-alan perusteella. Kipsin läjitysalueen ollessa kooltaan noin 100 hehtaaria, voidaan alustavasti arvioida, että valumavesien huippuvirtaamat muodostuvat noin 60 minuutin mitoitussateen aikana. (Pajula 2015, 27.)

4.8 Rankkasateen aiheuttaman ylivirtaaman määrittäminen

Suomessa rankkasateiden voimakkuuden tutkimukseen on käytetty perinteisesti Rakennushallituksen vuonna 1969 julkaisemaa kuvaajaa (kuva 3) Suomessa esiintyvistä ajaltaan erikestoista rankkasateista. Kuvaajassa esitetään rankkasateiden ajallinen intensiteetti toistuvuudeltaan erilaisille sateille. Tämän kuvaajan vastaavuutta nykytilanteessa on tutkittu vuonna 2008 Suomen ympäristön RATU-tutkimuksessa (Suomen ympäristökeskus 2008) ja Ilmatieteenlaitoksen Elastinen -hankkeessa vuonna 2016. (Ilmatieteen laitos 2016). Syynä tarkasteluun on ollut se, että yleensä hyvin paikallisten mittaamiseen voidaan käyttää maantieteellisesti kattavaa tutkimusaineistoa perinteisten sademittausten ohella. Tehtyjen tarkastelujen perusteella on todettu, että Rakennushallituksen vuoden 1969 kuvaaja pitää edelleen varsin hyvin paikkansa. Kuitenkin suositellaan sen huomioimista, että Suomen olosuhteissa rankkasateiden maksimi-intensiteettien suuruudessa on alueellisia eroja. Samoin suositellaan, että mitoitettaessa vesirakenteita tulisi varautua sateen maksimi-intensiteettien kasvuun. Erityisesti mitoitettaessa sellaisia vesirakenteita, joissa rakenteen rikkoutuminen aiheuttaisi tulvariskin tai muun merkittävän vahingon, on syytä huomioida mahdollisuus sateen intensiteettien kasvuun tulevaisuudessa. Tilanteissa, jossa rakenteen rikkoutuminen aiheuttaisi esimerkiksi tulvariskin tai muun merkittävän vahingon. Näissä tilanteissa suositellaan sadannan intensiteettimaksimien kasvattamista noin kahdellakymmenellä prosentilla nykyisin käytössä oleviin arvoihin verrattaessa. (Järvenpää, Savolainen 2016 9.)

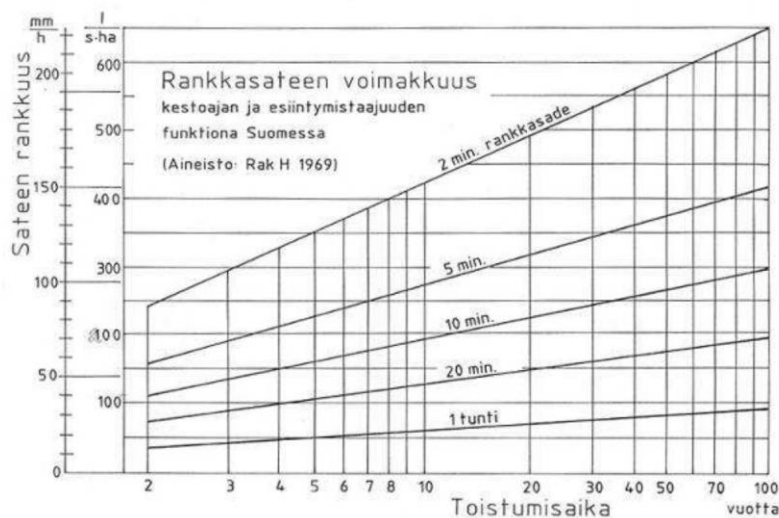
Ilmatieteen laitoksen raportin (Ilmatieteen laitos 2016) mukaan rankkasateeksi katsotaan tilanteet, joissa sadannan määrä ylittää 20 millimetriä 24 tunnin aikana. RATU-hankkeen raportin (Suomen ympäristökeskus 2008) mukaan tämä raja ylitetään 0–8 kertaa vuodessa. (Laapas 2013 5.)

Ilmatieteen laitoksen rankkasade raportin mukaan rankkasateen yleisesti tunnettu raja Suomessa on 20 mm vettä 24 tunnin ajalta. Kyseinen raja ylittyy RATU-hankkeen tutkimuksen kohteissa 0–8 kertaa vuodessa. (Laapas 2013 5.)

Mitotettaessa rakennetun kaupunkialueen hulevesiverkostoja käytetään sadannan mitoitusravona hyvin yleisesti kerran kahdessa vuodessa toistuvaa 10 minuutin rankkasadetta. On kuitenkin muistettava, että mitoitussateen keston valinnan tulee perustua tarkasteltavan valuma-alueen laajuuteen. Isolla valuma-alueella satanut vesi päätyy hitaammin uomaverkoston pääuomiin kuin pienellä valuma-alueella. Samoin olisi muistettava, että rankkasateiden mitoitussateiden laskentaan käytettävillä menetelmillä on rajoituksensa. Esimerkiksi rationaalista menetelmää tulisi soveltaa vain alle

kuudenkymmenen hehtaarin valuma-alueille ja tätä suuremmilla alueilla tulisi käyttää muita menetelmiä, kuten esimerkiksi aika-pinta-alakerroin -menetelmää tai esimerkiksi hulevesimallinnusta, joka tarjoaa monipuolisimmat mahdollisuudet huomioida tarkasteltavan olevan kohdealueen valuntaan vaikuttavia piirteitä ja myös uomaverkoston vaikutusta vesivirtojen tarkasteluun ajan muuttuessa.

Tulkittaessa kuvassa 3 esitettävää Rakennushallituksen esitystä Suomessa esiintyvien rankkasateiden voimakkuuksista voidaan havaita, että esimerkiksi kerran kahdessa vuodessa toistuvan yhden tunnin mittaisen rankkasateen intensiteetti on noin 12–13 mm/h, joka pinta-alayksikköä kohti tarkasteltaessa vastaa noin 35–40 litraa sekunnissa yhden hehtaarin kokoiselle alueelle.



Kuva 3. Rankkasateen voimakkuus (Katajisto 1969)

Poistettu tekstiä (vain tilaajan käyttöön).

Rankkasateen aiheuttamaa hetkellistä ylivirtaamaa esimerkiksi alueen uomaverkostossa voidaan arvioida yksinkertaisimmillaan käyttäen niin sanottua rationaalista menetelmää, jossa sateesta syntyvä virtaama uomassa määritetään kertomalla sateen intensiteetti tarkasteltavan uoman valuma-alueen pinta-alalla ja valuntakertoimella. Kyseinen laskenta ja siinä tyypillisesti käytettävät yksiköt esitetään kaavassa 2 ja valuntakertoimelle käytettäviä arvoja esitetään taulukossa 2. Valuntakerroin kuvaa sitä osuutta sadannasta, joka virtaa nopeana pintavaluntana kohti alueen uomaverkostoa. Rationaalinen menetelmä soveltuu käytettäväksi alle 1 km² kokoisille valuma-alueille. (Järvenpää, Savolainen 2016, 14.) Rationaalisella menetelmällä ratkaistaan HQ ylivirtaama (l/s) sateen intensiteetin I (l/s/ha), valuma-alueen pinta-alan A (ha) ja dimensiottoman valuntakertoimen c (0–1) avulla.

Lasketaan ylivirtaama kaavalla 2.

$$HQ = cIA \quad (\text{Kaava 2})$$

Taulukko 2. Valuntakertoimet. (Kuntaliitto 2012, 208.)

Pinnan laatu	Valuntakerroin
Katto	0.8-1.0
Betoni- ja asfaltti	0.70-0,90
Tien nurmitettu luiska	0.40-0.60
Avoin kalliomaasto	0.30-0.50
Soratie	0.20-0.50
Nurmipintainen piha, puisto	0.10-0.40
Niitty, pelto, puutarha	0.10-0.30
Suo	0.05-0.15
Kumpuileva sekametsä	0.05-0.20
Tasainen metsämaasto	0.1
Tasainen sorakenttä	0.00-0.05

4.9 Valunta

Valunta muodostuu valuma-alueelle sataneesta vedestä, alueeseen sitoutuneesta vedestä ja alueella olevan lumen tai jään sulamisesta. Valunta on usein se osuus sataneesta vedestä, joka ei haihdu. Valunta jaetaan kolmeen osaan: pintavalunta, pintakerrosvalunta ja pohjavesivalunta. Tyypillisesti Suomessa vuodessa sataneesta vedestä tai lumesta noin puolet päättyy valuntana vesistöihin, mikä vuositasolla tarkoittaa noin 300 millimetrin vesipaksuutta tarkasteltavaa pinta-alayksikköä kohti.

Valuntaan toinen merkittävästi vaikuttava tekijä on vuodenaika. Valunta voidaankin Suomessa jakaa vuodenaikojen mukaan neljään osaan. Kevätvalunta muodostaa tyypillisesti suurimman valunnan ollen noin 100–180 mm. Kesävalunta on suuruudeltaan keskimääräisesti 10–40 mm, syysvalunta on vastaavasti 50–100 mm ja talvivalunta muodostaa usein alle 50 millimetrin valunnan. Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta syys- ja talvivaluntojen suuruus on kasvusuunnassa, mutta tilanne vaihtelee suuresti maan eri osissa. Myös eri vuosien välillä on hyvin suuria vaihteluita. Näitten vaihtelujen takia keskimäärisiä valunnan arvoja ei juurikaan voida käyttää vesirakenteiden mitoittamiseen tai niistä aiheutuvien riskien arviointiin rakennetuilla alueilla. (Vakkilainen, Julkaisuaika tuntematon 9, 14.)

Poistettu tekstiä (vain tilaajan käyttöön).

Valunnan suuruuden arvioinnissa voidaan alkuvaiheessa hyödyntää esimerkiksi tyypillisiä Suomessa esiintyviä tilastollisia valumasuureita. Näitä ovat esimerkiksi keskivaluma, keskiylivaluma ja keskialivaluma. Keskiylivaluma on tarkasteluajanjakson valumien keskiarvo, keskiylivaluma on tarkasteluvoosien vuotuisten suurimpien valumien keskiarvo ja keskialivaluma vastaavasti on tarkasteluvuosien vuotuisten pienimpien valuntojen keskiarvo. Taulukossa 3, on esitetty teoreettiset keskivalumat. Keskivalumien avulla voidaan laskea esimerkiksi joltakin valuma-alueelta muodostuva keskivirtaama, ylivirtaama tai alivirtaama. Taulukossa 3 esitetään esimerkki edellä esitetyistä valuman tunnusluvuista (Insinööri toimisto Ekoma Oy 2020, 4.).

Taulukko 3. Alueelliset keskivaluma, keskialivaluma ja keskiylivaluma. (Insinööri toimisto Ekomaa Oy 2020, 4.)

Keskivalumat alueella	
Keskialivaluma (Nq)	1.5 l/s/km ²
Keskivaluma (Mq)	10 l/s/km ²
Keskiylivaluma (Mhq)	160 l/s/km ²

Poistettu tekstiä (vain tilaajan käyttöön).

4.10 Lumen sulaminen

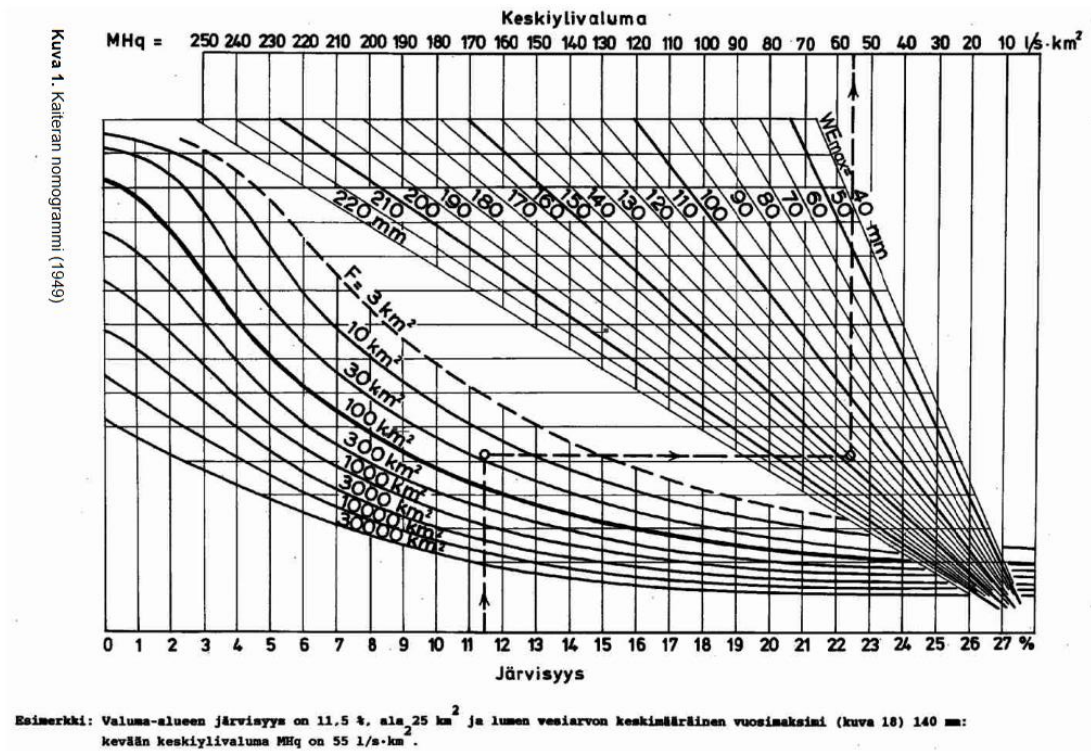
Lumipeite sataa useiden kuukausien aikana, mutta sulaminen tapahtuu tyypillisesti muutamassa viikossa. Suomen vesistöjen tulvatilanteet ovat yleensä seurausta lumen sulamisesta aiheutuvasta ylivallunnasta. Tyypillisesti Suomessa yli 3 neliökilometrin valuma-alueella lumen sulaminen aiheuttaa ylivirtaamatilanteet ja näistä puhutaan usein "kevättulvina". (Pajula 2015, 31.) Lumen sulamisesta aiheutuvan kevätylivirtaaman laskennallisissa selvityksissä hyödynnetään tyypillisesti arvioita lumipeitteen alueellisesta kattavuudesta ja lumipeitteen vesiarvosta yhdessä alueen pintavesivarastojen määrän ja alueen pinta-alan kanssa.

Suomessa Pentti Kaitera on luonut menettelyn lumen sulamisesta aiheutuvan keskiylivaluman ja ylivalluman suuruuden arviointiin, jota voidaan soveltaa varsin luotettavasti yli kolmen neliökilometrin kokoisille alueille. Pienemmillä alueille menettelyä tulisi käyttää suurella varauksella. Toisaalta pienemmillä alueille on tarkasteltava myös rankkasadetilanteita todennäköisempinä ylivirtaamatilanteiden aiheuttajina.

Poistettu tekstiä (vain tilaajan käyttöön).

Kaiteran menettelyssä lumen sulamisesta aiheutuva keskiylivaluma (MHq) saadaan selvitettyä kuvaajasta (kuva 4), jossa lähtötietoina tarvitaan järvisyysprosenttia, alueen pinta-alaa ja lumen vesipitoisuuden keskimääräistä vuosimaksimia. Lumen vesipitoisuuden keskimääräinen vuosimaksimi saadaan lumen vesiarvomittausten tilastoista ja se on Kuopion seudulla noin 140 millimetriä. (RT 05-10410 Ilmasto, kosteus, sade ja lumi). Tämä vastaa 140 kilogramman lumikuormaa neliömetrin kokoisella alueella.

Poistettu tekstiä (vain tilaajan käyttöön).



Kuva 4. Kaiteran nomogrammi. (Järvenpää, Savolainen 2016 10.)

4.11 Vesikiertoon tulevat vedet taulukoituna

Vain tilaajan käyttöön.

5 VESIKIERROSTA POISTUVA VESI

Vain tilaajan käyttöön.

5.1 Haihdunta

Haihdunta on yksi hydrologinen suure. Haihdunnan suuruuteen maa-alueilla vaikuttavat esimerkiksi lämpötila, tuuli ja maanpinnan kosteuspitoisuus. Tyypillisesti haihtuminen on suurinta vapaista vesipinnoista kesäaikaan ja pienimmillään haihdunta on kylmänä vuodenaikana. Keski- ja Etelä-Suomessa sadannasta haihtuu vuosittain noin 400–500 mm. Vuosittaisia haihduntatietoja saadaan esimerkiksi ymparisto.fi -palvelusta löytyvistä hydrologian taulukoista. Haihduntaa voidaan mitata asiamittauksena lämpimään vuodenaikaan. Mittalaite voi olla esimerkiksi Class A-haihtumisastia, jossa haihdunta tapahtuu lieriömäisen altaan vesipinnalta. Veden määrä tai puute ei näin rajoita haihdunnan määrää. Samanaikaisesti tulee mitata myös sadantaa haihdunta-astian läheisyydessä. Taulukossa 4 on esitetty haihdunta tuloksia touko-syyskuulta vuosina 2010–2013 sekä vuosittaiset keskiarvot. Vuosien 1971–2000 keskiarvo tulos Maaningan mittausasemalta on 465 mm/m (Ympäristö 2022)

Poistettu tekstiä (vain tilaajan käyttöön).

Taulukko 4. Haihdunnan vuosittaiset keskiarvot 2010–2013 ja 1971–2000. (Ympäristö 2022).

Haihdunta (mm), Maaninka						
	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Vuoden keskiarvo
2010	102	128	161	100	34	525
2011	104	136	133	77	43	493
2012		97	99	82		405
2013	116	128	117	79	40	481
Keskiarvo	107	122	128	85	39	
				Vuosien 1971-2000		465

5.2 Tuotannossa poistuva vesi

Vain tilaajan käyttöön.

5.3 Neutraloitu vesi

Vain tilaajan käyttöön.

5.4 Vesikierrosta poistuvat vedet taulukoituna

Vain tilaajan käyttöön.

5.5 Kipsin läjitysalueen ja fosforihappotehtaan alustava vesitase

Vain tilaajan käyttöön.

6 FOSFORIHAPPOTEHTAAN JA KIERTOVEDIALTAIDEN VESITASE

Vain tilaajan käyttöön.

7 RISKIEN TARKASTELU

Vain tilaajan käyttöön.

7.1 Rankkasateet ja lumen sulaminen

Vain tilaajan käyttöön.

7.2 Tuotannon poikkeustilanteet

Vain tilaajan käyttöön.

7.3 Laiterikot

Vain tilaajan käyttöön.

8 OPEROINTI EHDOTUKSET

Vain tilaajan käyttöön.

8.1 Allastilavuuden säätely

Vain tilaajan käyttöön.

9 SEURAAVAT VAIHEET VESITASEMALLIN LUONNISSA

Vain tilaajan käyttöön.

10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Vain tilaajan käyttöön.

11 POHDINTA

Tämä opinnäytetyö on ollut opettavainen ja tuonut esille, kuinka tarkkaa ja aikaa vaativaa selvitystyö on. Tavoitteisiin työssä päästiin hyvin, mutta vesitaseen mallintaminen ohjelmistoon on vasta alussa. Ammatillista kasvua on tapahtunut ja oppia vesitaseen teoriasta ja mitoituslaskennasta. Onnistunein osio tästä opinnäytetyöstä ovat erilaiset taulukot ja vesimäärien kokonaisvaltainen arviointi. Tyytyväinen saa olla myös kaavioihin ja karttoihin. Jatkossa arvioituja vesimääriä tulisi mitata ja varmentaa. Vesimäärien mittausta voitaisiin luoda joko tekemällä jatkuvatoimisia mittaustaikoja tai mittaamalla kampanjaluontoisesti virtaamaa. Ojissa, joissa on sade- ja valumavesiä virtausmittausta, voitaisiin toteuttaa esimerkiksi huhti-syyskuussa ja vastaavasti tuotannon vesivirtojen virtaamamittauksia voitaisiin tehdä niin, että saataisiin selville niiden suuruus tuotannon eri vaiheissa. Jos aloitaisiin työn uudelleen, ottaisiin selvitystyöhön avuksi vieläkin useampia tilaajan edustajia ja muita henkilöitä, jotka ovat aiheen parissa työskennelleet. Kipsin läjitysalueella on historiansa ja alue on edelleen jatkuvassa muutoksessa, jolloin myös erilaisia selvityksiä on useita. Koen, että tästä kattavasta selvityksestä ja riskien arvioinnista erilaisten sääolosuhteiden suhteen on hyötyä tilaajalle tulevaisuudessa.

Tässä työssä tehtyjä tarkasteluja voidaan käsitykseni mukaan pitää luotettavina, sillä työhön on osallistunut alan ammattilaisia, kuten tilaajan edustajia. Lisäksi tehdyt tarkastelut perustuvat ymmärrykseni mukaan luotettavien lähteiden ja hyväksytyjen menettelyjen käyttöön. Lähteenä on käytetty luotettavia selvityksiä esimerkiksi Suomen ympäristökeskuksesta, ilmatieteen laitokselta ja eri hydrologian ammattilaisilta. Vesitaseen kehitystyö ei pääty tähän opinnäytetyöhön, vaan se jatkuu esimerkiksi varmentamalla vesimääriä ja virtaamia mittausten avulla. Aloittamaani mallinnusta tulisi viedä eteenpäin, jolloin vesitaseen toimivuutta voitaisiin tarkastella eri skenaarioissa, eri allastilavuuksilla, sekä erilaisilla sään tai tuotannon poikkeustilanteilla. On syytä myös huomioida, että kaikki tarkastelujärjestelmässä tehtävät muutokset muuttavat myös vesitasetta ja sen hallinnassa käytettävää mallia, joita on tulevaisuudessa päivitettävä vastaamaan nykyistä ja tulevaa tilannetta. Vesitaseen hallinta ja vesikierron yksityiskohtainen tunteminen on tärkeä osa riskien hallintaa ja mahdollistaa tuotantolaitokselle tehokkaan vesien hyödyntämisen.

LÄHTEET

- Aluehallintavirasto, 2019. Ympäristöluvan oleellinen muuttaminen kipsin läjityksen ja eräiden muiden toimintojen osalta. ISAVI/10287/2019. Verkkojulkaisu. <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/2003716>. Viitattu 12.2.2022
- Automaatiojärjestelmä Valmet, 2022. Fosforihappotehtaan prosessin ohjausjärjestelmä. Saatavissa: Yaran aineistot.
- Geography Notes, Julkaisuaika tuntematon. Water Balance of the Earth's Surface. Verkkojulkaisu. <https://www.geographynotes.com/articles/water-balance-of-the-earths-surface-with-diagram/630>. Viitattu 8.4.2022.
- Geography Notes, Julkaisuaika tuntematon. Water Balance: Meaning, Components and Types. Verkkojulkaisu. <https://www.geographynotes.com/hydrology/water-balance/water-balance-meaning-components-and-types-hydrology-geology/5241>. Viitattu 7.4.2022
- Haanpää, Kirsi 2015. Kaivosten vesitase ja kaivospatojen hydrologinen mitoitus. Esitys. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BD838FF60-4022-4BCB-9471-8351B4068AD0%7D/114187>. Viitattu 14.4.2022
- Huttula, Leppäranta, Virta 2017. Hydrologian perusteet. Pdf-tiedosto. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/241220/Hydrologian%20perusteet.pdf;jsessionid=46FEDD2F3EF3F50598C4369224D51819?sequence=12>. Viitattu 1.2.2022
- Huttunen, Leena 2022. Kipsin vesipitoisuus. Yksityinen sähköpostiviesti 23.2.2022. Viestin saaja: Reetta Tuomainen
- Huttunen, Leena 2022. Kipsin valuntakerroin ja haihdunta. Palaveri/Haastattelu 14.3.2022.
- Ilmatieteen laitos 2016. Lyhytkestoisten sateiden rankkuus ja toistuvuus aika Suomessa. Elastinen-hanke. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/elastinen>. Viitattu 12.4.2022
- Ilmatieteen laitos 2022. Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961. Verkkopalvelu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>. Viitattu 10.2.2022
- Ilmatieteen laitos. Kevättilastot. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kevattilastot>. Viitattu 13.4.2022
- Insinööritoimisto Ekoma Oy, 2020. Pintavesiselvitys. Verkkojulkaisu <https://ylupa.avi.fi/api/v1/documents/attachment/9385653> Viitattu 29.3.2022
- Jokela, 2017. Vedenkierto kulku. Piirros. Pdf-tiedosto. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/241220/Hydrologian%20perusteet.pdf;jsessionid=46FEDD2F3EF3F50598C4369224D51819?sequence=12>. Viitattu 1.2.2022
- Järvenpää, Savolainen, 2016. Silta- ja rumpurakenteiden aukkomitoitus. Pdf-tiedosto. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/123702/Opas%204%202016_w.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Viitattu 12.4.2022
- Katajisto, Risto 1969. Rankkasateiden voimakkuus ja toistumistiheys Suomessa. Kirja. Viitattu 23.2.2022
- Kuntaliitto, 2012. Hulevesiopas. Pdf-tiedosto. <https://www.fsgk.se/hulevesiopas-20121.pdf>. Viitattu 11.4.2022.

- Laapas, 2013. Rankkasateet ja ilmastonmuutos – katsaus viimeaikaiseen tutkimukseen. Pdf-tiedosto. https://www.ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/543325/Laapas_rankkasadera-portti.pdf/e702555e-1b2f-46ae-9794-c90fce8035bd. Viitattu 23.3.2022
- Liikennevirasto, 2013. Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu. Pdf-tiedosto. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-05_teiden_ja_ratojen_web.pdf. Viitattu 8.4.2022
- Maanmittauslaitos. Paikkatietoikkuna. Verkkopalvelu. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>. Viitattu 1.2.2022
- Maanmittauslaitos. Karttapaikka. Verkkopalvelu. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/> Viitattu 15.3.2022
- Pajula, Pasi 2015. Vesihuollon perusteet. Opetusmateriaali. Savonia-ammattikorkeakoulu. Viitattu 3.2.2022.
- Pajula, Pasi 2022. Suullinen tiedonanto. Mitoituslaskenta ja vesitasekaavio.
- Pouta, Juhani 2021. Fosforihappotehtaan esittelymateriaali. Yara Suomi Oy. Viitattu 4.2.2022
- Pouta, Juhani 2022. Tuotehappojen vesipitoisuudet. Yksityinen sähköpostiviesti 22.3.2022. Viestin saaja: Reetta Tuomainen
- Pouta, Juhani 2022. Suullinen tiedonanto. Fosforihappotehtaan vesikierron uomat ja kiertovesialtaiden pinnanmittaus.
- Salaojayhdistys, Julkaisuaika tuntematon. Hydrologian perusteet ja maan vesitalous. Pdf-tiedosto. https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/hydrologian_perusteet_ja_maan_vesitalous_2013-2.pdf. Viitattu 1.2.2022.
- Saramäki, Sanni 2022. Tarjouspyyntö EHP-sääsema ja Pastalaitoksen sadantatiedot. Yksityinen sähköpostiviesti 8.3.2022. Viestin saaja: Reetta Tuomainen
- Suomen Ympäristökeskus, 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat RATU. Pdf-tiedosto. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38381/SY_31_2008.pdf. Viitattu 12.4.2022
- Ruuskanen, Laura 2021. Kuopiossa tulvii ukkoskuuron jäljiltä. Yle Uutiset 23.6.2021. <https://yle.fi/uutiset/3-11995972>. Viitattu 10.2.2022.
- RT 05-10410 Ilmasto, kosteus, sade ja lumi. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS.
- Vakkilainen, Julkaisuaika tuntematon. Hydrologinen kierto. Verkojulkaisu. <https://docplayer.fi/35098593-Hydrologinen-kierto-pertti-vakkilainen-vesitalouden-emeritusprofessori.html>. Viitattu 16.3.2022
- Vesi ja ympäristöhallitus, 1995. Suomen vesitase valuma-alueittain 1961–1990. Pdf-tiedosto https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135458/VYH_Julkaisuja_A_220.pdf?sequence=1. Viitattu 8.4
- Water Recourses and Industry, 2016. Industrial water mass balance as a tool for a water management in industrial parks. Pdf-tiedosto. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371716300221>. Viitattu 7.4.2022
- Yara Suomi Oy, 2015. Kiertovesialtaiden pinnankorkeudet. Viitattu 18.3.2022

Yara Suomi Oy, 2015. Hapanvesiviemäriin tulevat vesi- ja happojakeet. Viitattu 11.3.2022

Yara Suomi Oy, 2016. Kipsin läjitysalueen uomat. Saatavissa: Yaran aineistot. Viitattu 12.5.2022

Ympäristö, 2022. Hydrologinen vuositilasto. Verkojulkaisu. <http://wwwi3.ymparisto.fi/i3/paa-sivu/fin/etusivu/etusivu.htm>. Viitattu 14.2.2022

LIITE 1: KIPSIN LÄJITYSALUEEN UOMAT

Vain tilaajan käyttöön.