



RAKENNETTU MAANALAINEN KOSTEIKKO LENTOKENTTÄVESIEN HALLINNASSA

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Kestävä kehitys, Forssa

Kevät 2024

Minna Helasti

Kestävä kehitys

Tekijä Minna Helasti

Työn nimi Rakennettu maanalainen kosteikko lentokenttävesien hallinnassa

Ohjaaja Rauni Varkia

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Etelä-Suomen aluehallintovirasto myönsi Helsinki-Vantaan lentoasemalle ympäristöluvan 4.8.2011 ja asetti Finavialle selvitysvelvoitteen koskien Helsinki-Vantaan lentoaseman hulevesien hallintaa, käsittelyä ja puhdistusta. Tästä käynnistyi prosessi, jonka tarkoituksena oli parantaa lentoasemavesien laatua. Tässä Finavian tilaamassa opinnäytetyössä esitellään vaiheet, joiden tuloksena maanalainen kosteikko (subsurface flow wetland) rakennettiin ja se toimii vesienpuhdistusratkaisuna. Tietoa kerättiin Finavian ympäristöluvan edellyttämästä omasta vesientarkkailuohjelmasta ja sen tuloksista, kosteikon suunnitteluun ja rakentamiseen osallistuneilta tahoilta haastatteluilla sekä vertailemalla vesinäytteiden tuloksia mittauspisteillä ennen ja jälkeen kosteikkokäsittelyä.

Tulosten mukaan kosteikko pidättää hyvin fosforia ja kiintoaineita, todennäköisesti myös typenpidätys paranee, kun kosteikko on ollut käytössä pidempään. Ensimmäisellä kaudella typpipitoisuuteen saattaa vielä vaikuttaa kosteikon täytössä käytetyn louheen sisältämä typpi, joka on peräisin kiviaineksen valmistuksessa käytettyjen räjähdysaineiden tyyppistä. On myös mahdollista, että kosteikosta poistuvan veden typpipitoisuutta nostaa veden ilmastus kosteikossa. Lentoasemalla käytettyjen kemikaalien suurin haittavaikutus on suuri hapenkulutus, ja kosteikon ilmastusjärjestelmä on nostanut kosteikosta poistuvan veden happipitoisuutta, joten siltä osin kosteikko toimii hyvin. Imeytystä tulee kuitenkin parantaa, koska kosteikkoon ei imeydy suunniteltua määrää vettä suodatinkankaan läpäisykyvyn riittämättömyyden vuoksi. Tämä oli yllättävä ja odottamaton tulos, jonka syy jäi epäselväksi. Tilanne voidaan kuitenkin korjata avaamalla kosteikon hulevesikanavan sivuilta suodatinkankaat, jolloin imeytys paranee. Ensimmäisessä kanavassa avaamista testattiin ja sen vaikutus havaittiin toimivaksi.

Toimiessaan suunnitellusti kosteikko lisää veden happipitoisuutta ja vähentää orgaanista ainesta sekä tyypeä ja fosforia, toisin sanoen parantaa lentoasemavesien laatua Veromiehenkylänpurossa, johon kosteikon vesi purkautuu. Näin lentoasematoiminnan vesistövaikutuksia saadaan pienennettyä.

Avainsanat Maanalainen kosteikko, vesien hallinta lentoasemalla, propyleeniglykoli, formiaatti

Sivut 40 sivua ja liitteitä 7 sivua

In 2011, the Regional State Administrative of Southern Finland, that is the environmental authority, (Etelä-Suomen aluehallintovirasto) imposed an investigation obligation on Finavia to report the management of stormwater at Helsinki-Vantaa Airport. The aim of this thesis, commissioned by Finavia, was to present the steps leading to the construction of the underground wetland as a water purification solution for the airport.

Information was collected from the water monitoring programme of Finavia related to its environmental permit and results and by interviewing parties involved in the project which investigated the results of the constructed subsurface flow wetland in Helsinki-Vantaa airport. The interviews were addressed to chief of Finavia's water management team, the constructor of the wetland and the consult who designed the wetland. In addition, the experimental part of the thesis consisted of comparing the results of collected water samples which were taken by the subcontractors before and after the wetland treatment.

According to the results, the wetland retained phosphorus and solid matters well, when functioning as intended. So, in this respect the wetland worked as planned. However, the planned amount of water was not absorbed into the wetland due to the insufficient permeability of the used filter fabric. This problem was solved by opening the fabric on the sides of the stormwater canals of the wetland. So, the negative impact of the airport operations on the waterways and water bodies could be reduced and the quality of the waters at Brook Veromiehenkylä in Vantaa improved, where the water of the wetland discharge.

In conclusion, it can be assumed that the nitrogen retention will improve later. In the first season, its amount may still be affected by the nitrogen in the gravel used to fill the wetland. The nitrogen content of the wetland may also stay the same because of the aeration of water leaving the wetland.

Keywords Subsurface flow wetland, water management, airport environment, propylene glycol

Pages 40 pages and 7 appendices

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Toimintaympäristön kuvaus	3
2.1	Pintavedet	5
2.2	Pohjavesiolosuhteet	5
2.3	Vesientarkkailuohjelma	6
3	Kosteikon tarkoitus	9
3.1	Lentoaseman vesien laatu ja puhdistus	9
3.1.1	Propyleeniglykoli	10
3.1.2	Formiaatti	12
3.1.3	Vesimäärät	15
4	Miksi maanalaiseen kosteikkoon päädyttiin vesienpuhdistuksessa	16
4.1	Päämääränä parempi vedenlaatu	17
4.2	Pinnanmuodot ja kosteikon sijainti	18
5	Maanalaisen kosteikon toteutusvaiheet	19
5.1	Lupaprosessi	22
5.2	Rakentaminen	23
5.3	Rakentamisaikaiset haasteet	24
6	Ensimmäinen tarkkailukausi	26
7	Tehdyt muutokset ja parannukset	28
7.1	Intensiivitarkkailu	32
7.2	Kosteikon käyttö ja kunnossapito	33
8	Automaatio	35
9	Tulosten esittely	36
10	Tulosten tarkastelu, johtopäätökset ja pohdinta	38
	Lähteet	39

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Pohjavesien virtaussuunnat (nuolet) sekä tärkeimpien lentoasematoimintojen sijoittuminen (Finavia, 2023)	6
--	---

Kuva 2. Vesitarkkailun näytepisteiden sijainnit lentoasema-alueella (Finavia, 2023).....	8
Kuva 3. Lentokoneen jäänpoisto asematasolla R8.	11
Kuva 4. Jäänesto- ja poistoalueet lentoasemalla, ”Alue 6” ja ”alue 8” (Finavian intranet, 2023).	12
Kuva 5. Liukkaudentorjunta-aineiden käyttö Helsinki-Vantaan lentoasemalle vuosina 1988–2023 (Finavia, ympäristöyksikkö, 2024).	14
Kuva 6. Mitatut hapenkulutuskuormitukset 1995-2023 (Finavia, 2023).....	15
Kuva 7. Glykolivesien määrä 2001-2023 (Finavian ympäristöyksikkö, 2024).	16
Kuva 8. Kosteikko heinäkuussa 2023.....	18
Kuva 9. Lentoaseman korkeuserot (Paikkatietoikkuna, n.d.).	19
Kuva 10. Maanalaisen kosteikon lohkon rakenne (Finavia, 2023).	20
Kuva 11. Kosteikon toiminnallinen kuvaus (Sitowise, 2023).	21
Kuva 12. Patokaivon rakenne (Sitowise, 2023).....	22
Kuva 13. Lupaprosessin aikataulu (Kirsi Pitkäranta, henkilökohtainen tiedonanto, 10.11.2023).	23
Kuva 14. Savikerros kosteikon rakennuksen aikana (Finavia 2023).	24
Kuva 15. Kosteikon ilmastuslohko ennen sepelitäyttöä (Finavia, 2022).....	26
Kuva 16. Tarkkailupisteiden sijainti (Finavia, 2023).	26
Kuva 17. Kokonaistypen ja -fosforin sekä kiintoaineksen ja määrät sekä hapen kyllästysaste kosteikon tulevassa ja lähtevässä vedessä sekä ilmastetussa ja ei-ilmastetussa lohkoissa. (Finavian ympäristöyksikkö, 2023).	28

Kuva 18. Vuorokauden keskilämpötilat ja sademäärät maaliskuun 2023 alusta (Ilmatieteen laitos, 2023).	28
Kuva 19. Katselmuksessa havaittuja asioita (Sitowise, 2023).....	30
Kuva 20. Korjausehdotus imeytykselle (Sitowise, 2023).	32
Kuva 21. Intensiivitarkkailun suunnitelma (Sitowise, 2023).	33
Kuva 22. Ilmastinlaite.	34
Kuva 23. Esimerkkikuva lentoasemalla käytössä olevasta Mipron Misonet ohjausjärjestelmästä (Mipro, 2024).	35
Kuva 24. Veromiehenkylän kosteikon tulevan veden happisaturaation kuvaaja (Luode Consulting Oy).....	37
Kuva 25. Veromiehenkylän kosteikon lähtevän veden happisaturaation kuvaaja (Luode Consulting, 2024).	37

Liitteet

Liite 1.	Kartta valuma-alueesta
Liite 2.	Veromiehenkylänpuron maanalaisen kosteikon sijainti ja valuma-alue
Liite 3.	Tarkkailualue
Liite 4.	Veromiehenkylänpuron kosteikon lohkorakenne
Liite 5.	Maanalaisen kosteikon toiminta
Liite 6.	Automaatiokaavio
Liite 7.	Aineistonhallintasuunnitelma

1 Johdanto

Ilmastonmuutos, veden kasvava kysyntä ja kaupungistumistrendi aiheuttavat vesivarojen riittävyydelle yhä suurempia haasteita. Maailmassa on tulevaisuudessa nykyistäkin enemmän alueita, joissa makeasta vedestä on pulaa. Vesien suojelu ja vedenkäytön kaikkinaisen järkipäistäminen on siksi välttämätöntä.

Osa vesiympäristöjen suojelua on yhdyskuntajätevesien ja hulevesien asianmukainen käsittely. EU:n tasolla siitä on säädetty direktiivissä, 91/271/ETY. Siinä vahvistetaan seuranta ja arviointia koskevat yleiset vaatimukset koskien muun muassa keräysjärjestelmiä, vesistöön johtamista ja haitta-aineiden raja-arvoja. Kansallisella tasolla vastaavat määräykset ja velvoitteet sisältyvät vesihuoltolain (119/2001) ensimmäiseen pykälään.

Yllä mainitut velvoitteet määrittelevät myös lentoasematoimintaa, jossa vesi ja sen käsittely on otettava huomioon kolmella eri tavalla. Näistä ensimmäinen on veden käyttö, siis lentoasematoimintaan tuleva puhdas vesi. Sen suhteen on huomioitava, onko lentoasemalla keinoja vähentää veden kysyntää ja käyttöä.

Toinen osa-alue on vesien käsittelykapasiteetti, kuten tulvien hallinta, salaojat, eroosio ja muut hulevesiin liittyvät tilanteet. Lentoasemilla syntyy suuri määrä hulevesiä, koska läpäisemättömiä pintoja on niiden alueella paljon. Kolmanneksi tulee huomioida vesien hävittäminen. Lentoaseman on varmistettava, että sen alueelta lähtevä vesi on puhdasta ja ympäristölle turvallista. Eri lentoasemat hallitsevat näitä prosesseja eri tavoin.

Kylmässä ilmanalassa sijaitsevilla lentoasemilla on keskeisen tärkeää kiinnittää huomioita muun muassa lentokoneiden jäänpoistossa käytettävän glykolin sekä kiito- ja rullausteiden liukkaudentorjunnassa tarvittavan formiaatin ympäristövaikutuksiin. Nämä kemikaalit ovat lentoaseman hulevesien pääasiallisia kuormituslähteitä. Muita mahdollisia vesien ja maaperän kuormittumisen aiheuttajia ovat esimerkiksi hydraulioöljyvuodot ajoneuvoista tai polttoainevuodot lentokoneita tankattaessa, sekä paloharjoituksissa aiemmin käytetyt kemikaalit. (ICOA, n.d.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään Helsinki-Vantaan lentoaseman vesienkäsittelyyn ja -puhdistukseen lähinnä glykolin ja formiaatin osalta silloin, kun se tapahtuu rakennetussa maanalaissessa hulevesikosteikossa. Lisäksi tarkastellaan kosteikon toimintaa vesien puhdistuksessa sekä perehdytään sen nykytilanteeseen ja kehittämissuunnitelmiin.

Finavia Oyj on valtion omistama suomalainen osakeyhtiö, joka johtaa ja kehittää koko Suomen lentoasemaverkostoa. Verkosto kattaa 20 lentoasemaa eri puolilla maata. Helsinki-Vantaa on näistä suurin ja vilkkaimmin liikennöity. Kaikki Finavian lentoasemat ovat hiilineutraaleja. (Finavia, 2024).

Ympäristötyö ja kestävä kehitys edistäminen ovat Finavian toiminnan tärkeitä painopisteitä, siitä esimerkkinä muun muassa se, että kaikki Finavian lentoasemat ovat toimiessaan hiilineutraaleita ja Helsinki-Vantaan lentoasema saavutti hiilineutraaliuden vuonna 2017. Finavia käyttää ympäristöraportoinnissaan GRI307-viitekehystä, joka on suunniteltu yritysten ympäristövaikutusten arviointiin. Finavian ympäristöjärjestelmälle on myös myönnetty ISO14001 sertifikaatti. Se tarjoaa puitteet, joiden avulla yrityksen ympäristönsuojelun tasoa voidaan parantaa. Siinä määritellään myös vaatimukset, joiden mukaan yrityksen tulee huomioida toimintoihinsa liittyvät ympäristövaikutukset ja -näkökulmat sekä velvollisuudet reagoida niihin ennakoivasti. (DNV. n.d.)

Osa Finavian ympäristötyötä on vesienhallinta, jolla lentoasemalla muodostuvat glykolivedet pyritään keräämään käsittelyyn mahdollisimman tehokkaasti sekä glykolin ja formiaattien vaikutusta vesiin pyritään hallitsemaan. Näiden kemikaalien käyttö on talviaikaan välttämätöntä lentokoneiden jäänestossa ja -poistossa sekä liukkaudentorjunnassa lentoasemaympäristössä, jossa turvallisuudesta ei voida tinkiä.

Veromiehenkylänpuro on yksi Helsinki-Vantaan lentoaseman kuudesta laskupuroista. Sen valuma-alue on kasvanut merkittävästi, kun Kirkonkylänojan latva-alue käännettiin Veromiehenkylänpuron suuntaan terminaalilaaajennusten myötä 2017. Myös Aviapoliksen alueelta tulee aiempaa enemmän hulevesiä Veromiehenkylänpuron suuntaan. Aviapolis on keskellä Vantaata, Helsinki-Vantaan lentoaseman kupeessa sijaitseva kasvava työpaikka-alue, johon suunnitellaan myös asuinalueita ja tavoitellaan jopa 50000 asukasta (Vantaa, 2022).

Lentoaseman ympäristöluvassa on edellytetty selvitystä laskupurojen kunnostustarpeesta. Veromiehenkylänpuron osalta selvityksessä todettiin tarve vedenlaadun parantamiseen ja ääreivien virtaamien hallintaan. Tästä syystä Finavia rakensi Helsinki-Vantaan lentoasemalle maanalaisen kosteikon, jonka rakennustyöt valmistuivat keväällä 2023 Sitowise-konsulttiyhtiön suunnitelmien ja Aalto-yliopistossa tehdyn diplomityön pohjalta. (Chaurand G., 2019.)

Veden imeytyminen kosteikkoon ei kuitenkaan ole aluksi toiminut halutulla tavalla, ja sitä on tarkoitus parantaa. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, minkälaisia vesiä uuden vesienkäsittelyratkaisun on tarkoitus puhdistaa, mitkä seikat vaikuttivat kyseisen ratkaisun valintaan, miten kosteikon suunnittelu eteni sekä mitä haasteita rakennusvaiheessa tuli. Työssä esitellään myös tulevia parannusratkaisuja sekä kosteikon ylläpito- ja huoltotoimia sekä luodaan katsaus suunnitteilla olevaan automaation kehitykseen.

Tässä tutkimuspainotteisessa, laadullisessa opinnäytetyössä tietoperusta nojaa Finavian ympäristöluvan edellyttämään vesientarkkailuun ja sen tuloksiin sekä niistä laadittuihin raportteihin ja katsauksiin. Työtä varten on myös haastateltu kosteikon rakentanutta urakoitsijaa, kosteikon suunnitellutta konsulttia sekä Helsinki-Vantaan lentoaseman vesienhallintapäällikkö Elina Kauppilaa, Finavian ympäristöasiantuntija Tuija Hännistä sekä pumppaamoiden ja pintavesien näytteenotoista vastaavia Star Expertin Toni Paavilaista ja Hannu Paavilaista. Lisäksi työssä on käytetty Finavian teettämää Aalto-yliopistossa tehtyä tutkimusta, jossa etsittiin sopivinta vesienpuhdistusmenetelmää tähän tarpeeseen.

Tutkimuskysymykset ovat:

- Miten Helsinki-Vantaan vesienhallinnassa päädyttiin juuri tähän puhdistusmenetelmään?
- Miten rakentaminen toteutettiin ja mitä haasteita tuli vastaan?
- Toimiiko kosteikko odotetusti?
- Miten toimintaa aiotaan parantaa ja kehittää?

2 Toimintaympäristön kuvaus

Helsinki-Vantaa on Euroopan 27. liikennöidyin lentoasema, keskimäärin 152 päivittäisellä lennolla. Liikennemäärä on suurempi kuin esimerkiksi Tukholman päälentoasemalla, Arlandalla (Flightsfrom, 2023). Lentojen määrä, mukaan lukien saapuvat ja lähtevät lennot, yhteensä Helsinki-Vantaan lentoasemalla vuoden 2023 ensimmäisten 11 kuukauden aikana oli 132 068.

Lentoasematoiminnassa turvallisuusnäkökulmat on aina huomioitava ensimmäisenä ja osa turvallisuutta on lentokoneiden jäänesto ja -poisto sekä kiitoteiden liukkaudentorjunta. Tähän

tarkoitukseen käytettävistä kemikaaleista syntyy kuormitusta hulevesiin, varsinkin hapenkulutuksen osalta. Hapettomuuden seurauksena veden luontaisesti sisältämä sulfaatti pelkistyy sulfidiksi eli mm. rikkivedyksi (H₂S) ja pohjaan sitoutunut fosfori liukenee takaisin veteen. Tämän lisäksi veden pieneliöt ja kalat kärsivät veden matalasta happipitoisuudesta.

Kaikkien lentoasema-alueen laskupurojen valuma-alueet jatkuvat myös lentoaseman ulkopuolella ja vedet päätyvät lopulta Vantaanjokeen. Se laskee Suomenlahteen Helsingin Vanhankaupungin lahdelle noin 9 kilometrin päässä lentoasemasta. Vantaanjoen valuma-alueen pinta-ala on noin 1668 km². Osa lentoaseman valuma-alueesta sijaitsee Keravanjoen valuma-alueella. Keravanjoki on Vantaanjoen itäinen haara, ja se liittyy Vantaanjoen pääuomaan noin 4 km lentokentän eteläpuolella. Noin 5 km pääuoman ja Keravanjoen yhtymäkohdasta alavirtaan Vantaanjoki laskee Helsingin Vanhankaupungin lahdelle. (Aittola, Helenelund, Kamppi, 2023, s.11)

Lentoaseman maa-alue on rajallinen, joten vesien käsittelyyn ei ole mahdollista käyttää suurta pinta-alaa, siksi maankäytön on oltava, myös vesienhallinnassa, tehokasta. Kosteikko on tässä ympäristössä hyvä ratkaisu, sillä se pystyy käsittelemään suurenkin määrän hulevettä suhteellisen pienellä alueella.

Ympäristönsuojelulaki edellyttää lentoasematoiminnalta ympäristölupaa. Lupaprosessit ovat Finavialle osa vastuullisuutta, ympäristötyötä sekä lainsäädännön vaatimusten täyttämistä. Lupahakemusten tekoon tarvitaan paljon taustatyötä sekä toiminnan arviointia pitkälle tulevaisuuteen. Toiminta on hakemuksessa kuvattava monipuolisesti vesien- ja maaperän suojelun, ilmapäästöjen, lentomelun sekä kemikaalien käsittelyn kannalta. Kaikilla Finavian omistamilla lentoasemilla seurataan pinta- ja pohjavesien laatua. Helsinki-Vantaan lentoasemalla vesientarkkailua koordinoi vesienhallintayksikkö. Muilla lentoasemilla, eli verkostolentoasemilla ympäristöseurantaa ja raportointia koordinoi Finavian ympäristöyksikkö. Alueelliset ELY-keskukset valvovat lupapäätöksissä annettujen määräysten, kuten ympäristötarkkailun toteutumista. Helsinki-Vantaan lentoaseman valvova viranomaisena on Uudenmaan ELY-keskus. (Finavia, 2023a)

2.1 Pintavedet

Pintavesiä ovat kaikki maan pinnalla sijaitsevat virtaavat, tai paikallaan olevat vedet, kuten purot, joet ja järvet. Helsinki-Vantaan Lentoasema sijaitsee Vantaanjoen vesistöalueen alajuoksulla, valuma-alue nro 21.021 (Liite 1). Lentoaseman kohdalla Vantaanjoen valuma-alueen pinta-ala on noin 1680 km². Lentoaseman valumavesien purkureitit ovat:

1. Brändönin oja, Viinikanmetsänoja ja Mottisuonoja, jotka virtaavat kiitotie 3:n luoteispuolelta Vantaanjoen pääuomaan.
2. Veromiehenkylänpuro, joka virtaa kiitotie 1:n eteläpuolelta Vantaanjoen pääuomaan.
3. Kirkonkylänoja ja Kylmäoja, jotka virtaavat kiitotie 2:n etelä- ja itäpuolelta Keravanjokeen. Keravanjoki on Vantaanjoen itäinen haara, joka liittyy Vantaanjoen pääuomaan noin 5 km lentoaseman eteläpuolella.

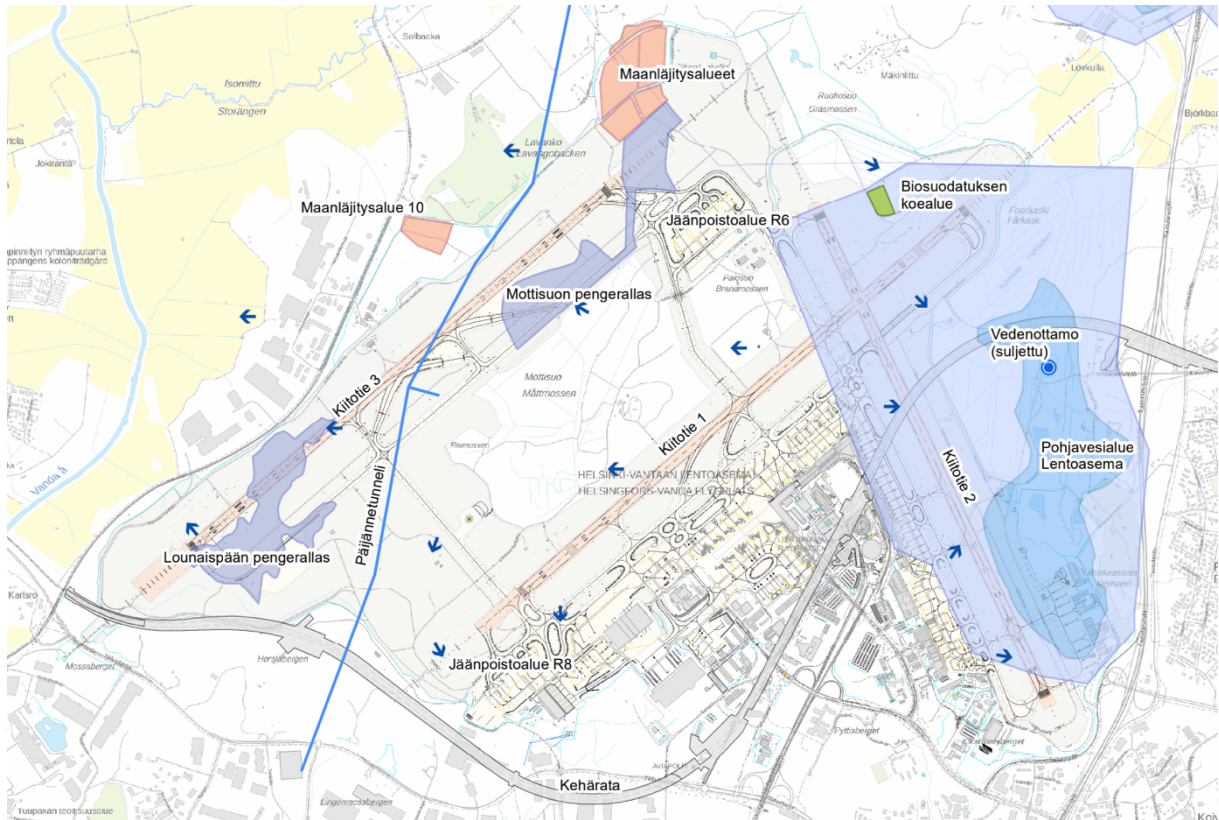
Pintavesien purkureittien pituudet lentoasemalta Keravanjokeen ja Vantaanjokeen vaihtelevat välillä 0,4–6 km. Vantaanjoki laskee Suomenlahteen Helsingin Vanhankaupunginlahdelle noin 9 km päässä lentoasemalta.

2.2 Pohjavesiolosuhteet

Helsinki-Vantaan lentoasema sijaitsee osin pohjavesialueella (Lentoasema 0191404) ja sen ympäristössä sijaitsee runsaasti kallioharjanteita, joiden väliset painannealueet ovat eri maalajien peitossa. Kallioharjanteet ohjaavat ja rajoittavat pohjaveden virtausta lentoaseman alueella, kuten Finavian intranetissä olevassa kuvassa 1 nähdään.

Pääasialliset pohjaveden purkureitit sijoittuvat kalliokehysten välisiin notkelmiin, joiden kautta pohjavedet pääsevät virtaamaan maaperässä lentoasema-alueen ulkopuolelle. Lentoaseman alueella pohjavedellä on useita päävirtaussuuntia ja alueella sijaitsee useita valuma-alueita (Aittola, Helenelund, Kamppi, 2023, s.18).

Kuva 1. Pohjavesien virtaussuunnat (nuolet) sekä tärkeimpien lentoasematoimintojen sijoittuminen (Finavia, henkilökohtainen tiedonanto, 2023).



2.3 Vesientarkkailuohjelma

Lentoaseman vesien tarkkailu on aloitettu vuonna 1979. Tarkkailun avulla seurataan lentoasematoiminnasta aiheutuvaa vesistökuormituksen määrää sekä vaikutuksia pinta- ja pohjavesiin. Jatkuvassa tarkkailussa olevia vesinäytekisteitä on Helsinki-Vantaan lentoaseman alueella noin 130 kappaletta.

Lentoasematoimintoihin liittyen glykoli-, pinta-, pengeriallas- ja pohjavesiä ja maanläjitysalueisiin pinta- ja pohjavesiä tarkkaillaan FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:n 26.2.2016 laatiman tarkkailuohjelman mukaisesti.

Kiitoteiden 1 ja 2 alueilla muodostuvat valumavedet johdetaan ympäri vuoden suurelta osin ilman käsittelyä Veromiehenkylänpuroon, Kirkonkylänojaan ja Kylmäojaan. Vaikka vesille ei pääosin ole varsinaista käsittelyä, salaojissa oletetaan tapahtuvan merkittävässä määrin

puhdistumista ennen kuin vedet päätyvät vesistöön. Kiitotie 3 alueen vedet kerätään kiitotien alla oleviin pengeraltaisiin, joissa viipymä on keskimäärin kolme kuukautta. Pääosa liukkaudentorjunta-aineista ja lentokoneiden jäänpoisto- ja jäänestoaineista hajoaa altaissa biologisesti ennen veden johtamista purkuoihin. (Aittola, Helenelund, Kamppi, 2023, s.12)

Lentoasemalta lähtevää vesistökuormitusta mitataan säännöllisesti seitsemältä (E1, D1, C2A, B1, A1A, A3, 4B) pintavesien tarkkailupisteeltä, jotka on osoitettu kuvassa 2, joka on julkaistu Finavian intranetissä. Pohjavesistä näytteitä otetaan säännöllisesti noin kahdeksastakymmenestä putkesta tai kaivosta. Sen lisäksi näytteitä otetaan glykolivesipumppaamoilta ja -altaista. Näistä pisteistä määritetään veden glykolipitoisuudet ja virtaamat tai vesimäärät. Näytteitä otetaan 1–4 kertaa kuukaudessa pumppaamoiden ollessa käytössä. Glykolivesipumppaamoiden jätevesiviemäriin johdetun veden näytteet otetaan yhden vuorokauden kokoomanäytteenä. Kaikissa glykolivesipumppaamoissa on kiinteä jatkuvatoiminen virtaamamittaus. Glykolivesialtaista näytteet otetaan kerta-äytteinä.

3 Kosteikon tarkoitus

Kosteikkoa käytetään vesienkäsittelyratkaisuna yleensä tulvien tasaamisessa, eli hieman eri tavalla kuin lentoasemavesien yhteydessä. Se vähentää tulvia tasaamalla sateiden aiheuttamia tulvapiikkejä sekä puhdistaa hulevesiä, kun bakteerit ja muut eliöt käyttävät ravinteita. Puhdistuminen tapahtuu myös viivyttämällä vettä, jolloin kiintoaines ja ravinteet laskeutuvat pohjalle. Viipymällä tarkoitetaan aikaa, jonka kuluessa vesi virtaa kosteikon läpi. Mitä enemmän virtausta saadaan viivytettyä, sitä enemmän laskeumaa tapahtuu. Toinen tehokas keino ravinteiden poistamiseen vedestä on kasvillisuus, joka käyttää ravinteet omiin elintoimintoihinsa sekä kasvamiseen. Paras hyöty kasvillisuudesta saadaan luonnollisesti niiden kasvuaikaan, eli kevästä syksyyn. Kasvipeitteisyys auttaa myös veden viivytyksessä ja tulvien tasaamisessa. Tulvat myös aiheuttavat eroosiota vesien purku-uomissa, joten virtauksen tasaaminen on tärkeää senkin vuoksi. (Suomen riistakeskus, 2023)

Kosteikon suunnittelu on haastavaa, koska siinä on paljon huomioitavia asioita, muun muassa sen koko, joka riippuu valuma-alueen laajuudesta sekä sen korkeuseroista. Kosteikon hydraulinen tehokkuus, eli se kuinka tasaisesti vesi virtaa kosteikossa, on parempi suuremmassa kosteikossa, mutta pienempi on helpompi ja edullisempi toteuttaa. Hydraulista tehokkuutta voidaan parantaa myös toteuttamalla kosteikkoon erilaisia rakenteita, jotka viivyttävät virtausta, kuten niemekkeitä, saaria ja vedenalaisia harjanteita. Suunnittelun tärkeä tekijä on löytää oikea tasapaino kosteikon koon ja veden viipymän välillä. Suositus kosteikon koolle on noin 0,5 % valuma-alueen pinta-alasta. (Turku AMK, 2023)

Lentoasemavesien puhdistuksessa kosteikon tarkoitus on kuitenkin erilainen, sillä ravinnekkuutta ja kiintoainesta tärkeämpää on orgaanisten aineiden vähentäminen ja vesimäärän tasaaminen. Helsinki-Vantaan lentoaseman rakennetussa kosteikossa happipitoisuutta nostetaan ilmastamalla vettä. Vettä lisäksi viivytetään ennen kosteikolle saapumista tulva-altailla sekä uomaan lisätyllä mutkittelulla.

3.1 Lentoaseman vesien laatu ja puhdistus

Helsinki-Vantaan lentoasemalla on sijaintinsa vuoksi vaativat sääolosuhteet ja talviaikaan lämpötilan painuessa pakkaselle tarvitaan tehokasta jäänestoa sekä liukkaudentorjuntaa. Ensisijaisesti pyritään käyttämään mekaanisia lumen- ja jäänpoistomenetelmiä, kuten

auraamista ja harjaamista, mutta myös kemiallisia aineita tarvitaan. Niiden suurin haittavaikutus vesiin on hapenkulutuksen nousu.

Kuormitusta aiheuttavat kemikaalit ovat lentokoneiden jäänestoon ja -poistoon käytettävä monopropyleeniglykoli sekä kiitoteiden liukkaudentorjuntaan käytettävä formiaatti, jota käytetään sekä nestemäisenä että rakeisena. Sekä glykolin että formiaatin vesistövaikutuksia pyritään vähentämään samoin menetelmin.

3.1.1 Propyleeniglykoli

Propyleeniglykoli (C₃H₈O₂) on nestemäinen kirkas, väritön, veteen liukeneva, lähes hajuton ja mauton alkoholi. Sitä käytetään jäänpoiston ja -eston lisäksi myös muun muassa lääke- ja elintarviketeollisuudessa sekä kosmetiikassa. Muita propyleeniglykolin nimiä ovat 1,2-dihydroksiropaani, 1,2-propaanidioli, metyyliiglykoli ja trimetyyliiglykoli. Se ei ole sinänsä myrkyllistä ja sitä pidetään yleisesti ottaen turvallisena, mutta suurille määrille altistuminen, varsinkin lyhyessä ajassa, saattaa olla haitallista. Propyleeniglykoli on todettu soveltuvimmaksi lentoasemaympäristön jäänestoon ja -poistoon. (National library of medicine, 2023)

Lentokoneen siivet on suunniteltu tietyn muotoisiksi aerodynamiikan lainalaisuuksien vuoksi. Lentokoneet voivat nousta ilmaan turvallisesti vain, kun muoto säilyy tarkasti suunnitellun mukaisena ja pinta puhtaana. Lumi ja jää muuttavat siipien muotoa, mikä voi heikentää siiven noston tehokkuutta ja aiheuttaa turvallisuusriskin. Tämän vuoksi kaikki lumi ja jää on saatava pois lentokoneen pinnalta ennen ilmaannousua. Myös Euroopassa toimiva EASA (European Union Aviation Safety Agency) sekä Yhdysvalloissa toimiva FAA (Federal Aviation Administration) vaativat lentoyhtiöitä ja lentoasemia poistamaan jään ja/tai käyttämään jäänestoratkaisuja jäisissä olosuhteissa. (EASA, 2011), (Port of Seattle, 2022)

Helsinki-Vantaan lentoasemalla lentokoneiden jäänpoisto- ja jäänestokäsittelyt tehdään jätevesiviemäriin liitetyillä alueilla. Ne on keskitetty kahdelle etäjäänpoistoalueille R6 ja R8, joista ensimmäinen, R6 otettiin käyttöön vuonna 2008. Toinen alue R8 valmistui vuonna 2013 (Kuva 3). Lisäksi käsittelyjä tehdään satunnaisesti terminaalien edustalla rajoitetuilla alueilla (Kuva 4). Glykolipitoinen lumi kerätään sulamisalueille, jotka on myös liitetty jätevesiviemäriin. Osa lentokoneiden jäänpoisto- ja estoaineista kerätään käsittelyn jälkeen

väkevänä nesteenä talteen imuriautoilla. Neste kuljetetaan säiliöautoilla HSY:n Viikinmäen jätevedenpuhdistamoon käytettäväksi typenpoistoprosessissa hiilen lähteenä. Jäänpoistoalueiden jakokaivosta glykoli kerätään pumppaamalla silloin, kun veden glykolipitoisuus on yli 3 %. Myös se viedään jätevedenpuhdistamolle.

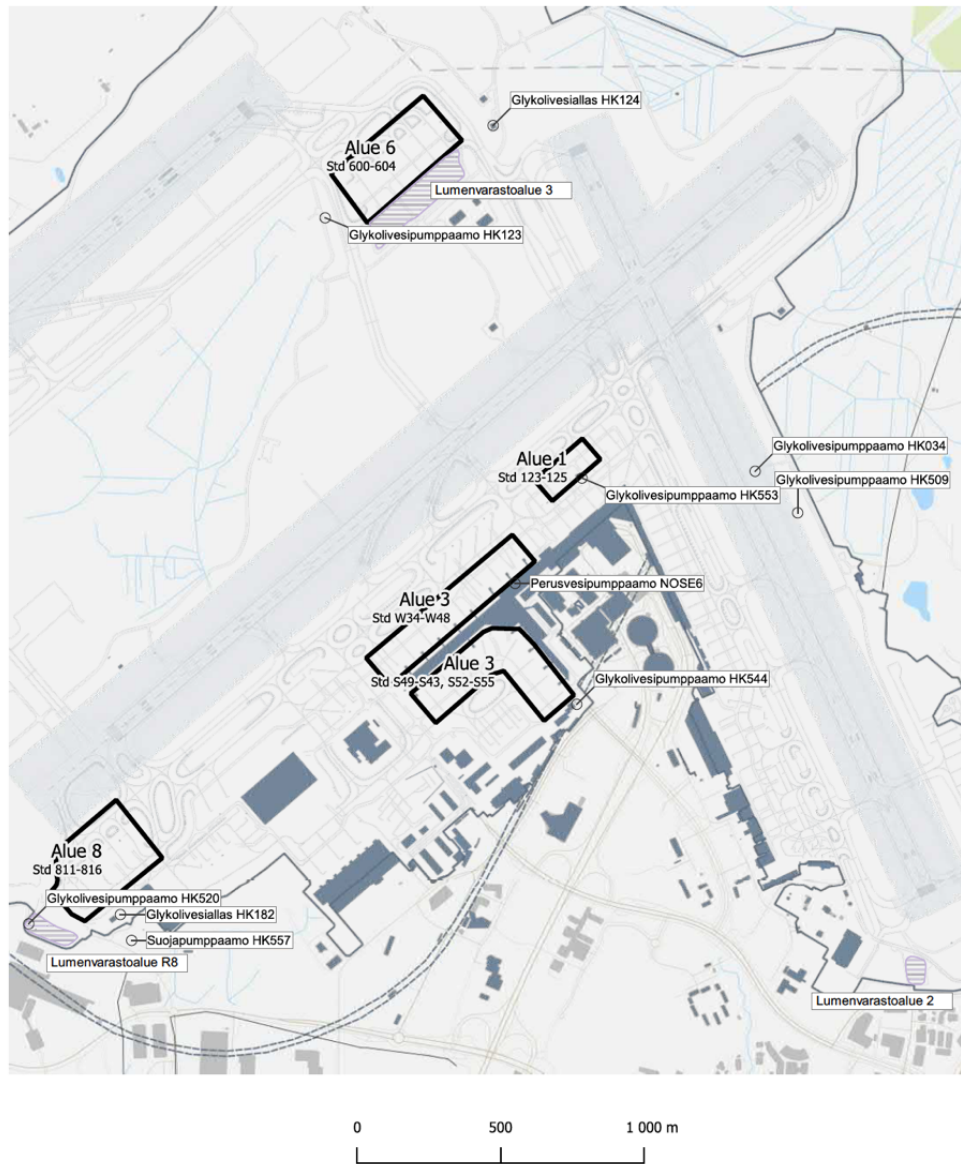
Kuva 3. Lentokoneen jäänpoisto asematasolla R8.



Vuonna 2023 jo yli 80 % glykolista saatiin kerättyä talteen. Osa glykolista hajoaa biologisesti, esimerkiksi kiitotie numero kolmen pengeraltaissa, nurmialueilla ja salaojaputkissa. Loput päätyvät kuitenkin pinta- ja pohjavesiin kulkeutumalla huleveden mukana ja ajoneuvojen renkaissa sekä tippumalla lentokoneiden pinnoilta lentoonlähdön aikana. Pintavesiin päätyvän glykolikuormituksen vähentämiseen etsitään erilaisia ratkaisuja, kuten vesien viivyttäminen maanalaisessa kosteikossa ja biosuodatusalueella.

Kuva 4. Jäänesto- ja poistoalueet lentoasemalla, alueet 1,3,6 ja 8 (Finavian intranet, 2023).

JÄÄNESTO JA -POISTOALUEET



3.1.2 Formiaatti

Jäisellä ja liukkaalla kiitotiellä lentokoneet eivät pysty laskeutumaan eivätkä nousemaan ilman riittävää kitkaa, joten jos jäätä ei saada poistettua mekaanisilla keinoilla, liukkaudentorjunta täytyy tehdä kemiallisesti. Jäänmuodostumista estetään ennakoivasti eli liukkautta torjutaan silloin, kun tiedetään, että sää muuttuu jäätäväksi. Sen lisäksi poistetaan jo muodostunutta jääkerrosta. Liukkaudentorjunnassa käytettävien aineiden tulee täyttää

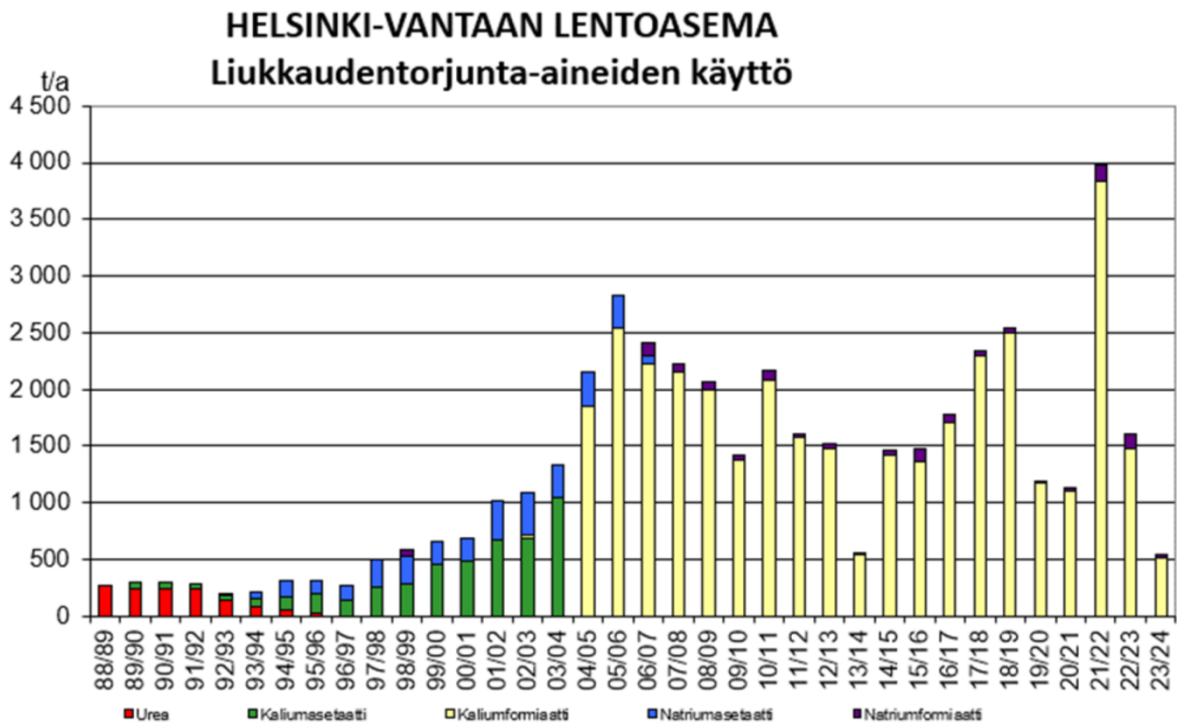
kansainvälisissä normeissa (AMS 1431 ja AMS1435) asetetut vaatimukset. Nykyisin lentoasemilla käytössä ovat asetaatti- ja formiaattituotteet. Helsinki-Vantaalla on käytetty jo 20 vuoden ajan formiaatteja.

Aiemmin kiitoteiden liukkaudentorjuntaan käytettiin ureaa, mutta siitä luovuttiin jo 90-luvun alkupuolella suuren typpikuormituksen aiheuttaman pintavesiä rehevöittävän vaikutuksen vuoksi (Kuva 5). Formiaatin suurin haittavaikutus on biologisen hajottamisen aiheuttama hapenkulutus, jonka lisäksi se nostaa veden haponsitomiskykyä eli alkaliteettia sekä pH:ta. Maaperässä olevat bakteerit hapettavat sen vedeksi ja hiilidioksidiksi. Lentoasemalla käytetään formiaatin kahta eri muotoa, rakeista ja nestemäistä.

Kiteisenä rakeena olevaa natriumformiaattia (HCOONa) käytetään kiitoteillä paksumman jään poistoon. Se on muurahaishapon natriumsuola. (Masterchem, n.d.) Natriumformiaatin biologinen hapenkulutus (BOD_7) on 170 mg/g. (Finavia, 2022) Se on perinteiseen maantiesuolaan, natriumkloridiin verrattuna hieman kalliimpaa, mutta sen pohjavesivaikutukset ovat pienemmät. Se ei myöskään aiheuta yhtä paljon korroosiota kuin natriumkloridi, joka ei ole edes vaihtoehtoinen liukkaudentorjunta-aine, koska sitä ei saa käyttää lentoasemilla juuri korroosiovaikutuksen vuoksi.

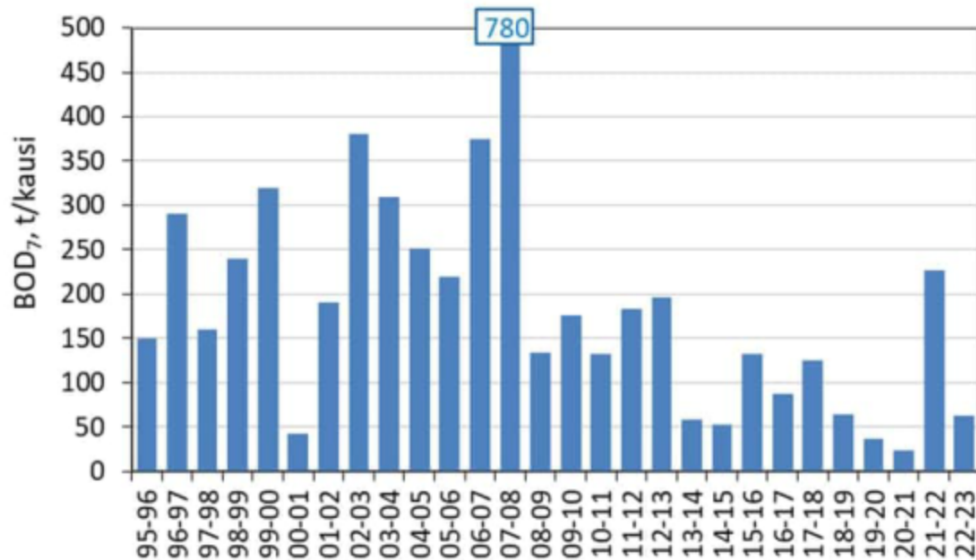
Nestemäisessä muodossa olevaa kaliumformiaattia, (HCOOK), joka taas on muurahaishapon kaliumsuola, käytetään ennakoivaan liukkaudentorjuntaan. Sen biologinen hapenkulutus (BOD_7) on kiinteään natriumformiaattiin verrattuna lähes puolet pienempi, 90 mg/g. Kaliumformiaattia suositellaan tieliikenteessä käytettäväksi pohjavesialueilla natriumkloridin sijaan, koska formiaattiosa hajoaa nopeasti hiilidioksidiksi ja vedeksi ennen kulkeutumistaan pohjaveteen. Se on myös tehokkaampaa mustan jään poistossa ja muodostaa vähemmän suolasumua kuin natriumkloridi. (SYKE, 2013)

Kuva 5. Liukkaudentorjunta-aineiden käyttö Helsinki-Vantaan lentoasemalle vuosina 1988–2023 (Finavia, vesienhallinnan sisäinen seuranta, 2024).



Sekä glykoli että formaatti ovat merkittäviä hiilenlähteitä, helposti biohajoavia ja vesistöön päätyessään aiheuttavat hapenkulutuksen kasvua, kuten kuvassa 6 nähdään. Taajamissa syntyvien hulevesien sisältämien raskasmetallien, kiintoaineiden ja hiilivetyjen lisäksi lentoasematoiminta aiheuttaa omanlaisensa koostumuksen hulevesiin, polttoaineiden käsittelyn sekä jäänestön ja liukkaudentorjunnan vuoksi.

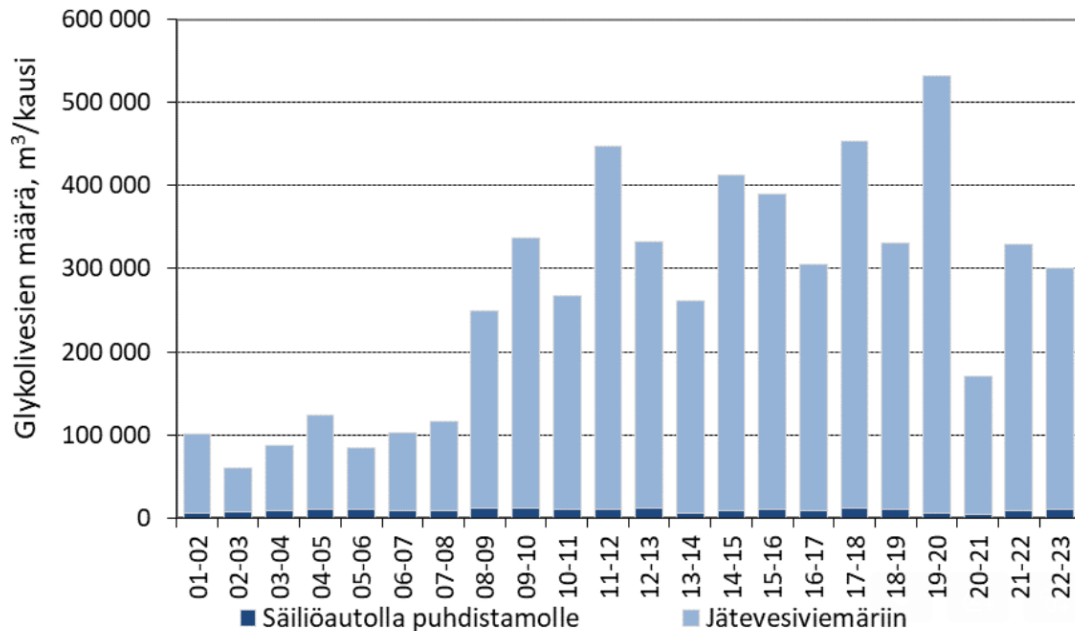
Kuva 6. Mitatut hapenkulutuskuormitukset 1995-2023, jotka on saatu vesinäytteitä laboratoriossa analysoimalla. Mitä matalampi pylväs, sitä lähempänä hapenkulutus on luonnonvesien arvoa. (Finavia, ympäristöyksikön sisäinen tiedonkeruu, 2023).



3.1.3 Vesimäärät

Helsinki-Vantaan lentoaseman tuottamat glykolipitoisen veden määrät ovat suuria (Kuva 7). Glykolipitoista hulevettä johdettiin jätevesiviemäriin tarkkailukaudella 2022–2023 puhdistamolle viemärin kautta, jonka lisäksi väkevää glykolivettä kuljetettiin sinne säiliöautoilla. Vesimäärä oli yhteensä noin 300 000 m³ (edellisellä kaudella määrä oli noin 330 000 m³). Suurin vesimäärä kauden aikana oli huhtikuussa ja pienin elokuussa. Säiliöautoilla Viikinmäen jätevedenpuhdistamolle kuljetettiin väkevää glykolivettä noin 10 000 m³ (edellisellä kaudella noin 8 500 m³). Säiliöautolla jätevedenpuhdistamolle viedyn glykolin vesistökuormitus on vahvemman väkevyytensä vuoksi huomattavasti suurempi kuin jätevesiviemäriin päätyneen, vaikka litramäärissä se on pienempi. Glykoliveden määrä vaihtelee suuresti kaudesta toiseen sääolojen ja jäänpoistotarpeen mukaan.

Kuva 7. Glykolivesien määrä 2001–2023 (Finavian ympäristöyksikkö, sisäinen tiedonkeruu, 2024).



4 Miksi maanlaiseen kosteikkoon päädyttiin vesienpuhdistuksessa

Veromiehenkylänpuron valuma-alue laajeni vuosina 2016 ja 2017, kun Aviapolis-alueen hulevesiä alettiin ohjata Veromiehenkylänpuron suuntaan. Hulevesien uudelleenohjaamisen myötä Kirkonkylänojan valuma-alueen latvaosa käännettiin Veromiehenkylänpuroon. Näiden järjestelyjen seurauksena Veromiehenkylänpuron valuma-alue kasvoi 54 hehtaaria.

Veromiehenkylänpuron valuma-alue on kokonaisuudessaan noin 1030 hehtaaria, josta noin 480 hehtaaria on Finavian hallinnoiman alueen sisällä.

Lentoaseman maa-alue on rajallinen, joten vesien käsittelyyn ei ole mahdollista käyttää suurta pinta-alaa, vaan maankäytön on oltava tehokasta. Kosteikko on tässä ympäristössä hyvä ratkaisu, sillä se pystyy käsittelemään suurenkin määrän hulevettä suhteellisen pienellä alueella.

4.1 Päämääränä parempi vedenlaatu

Helsinki-Vantaan lentoasemalle alettiin suunnitella vuonna 2018 kosteikkoa Veromiehenkylänpuron vesien puhdistamista varten. Suunnittelussa piti ottaa huomioon alueella oleva paineellinen pohjavesi, hajunpoiston tarve veden imeytyksessä, vedenlaadun tarkkailun järjestäminen ja veden kierrätys kosteikkolohkoissa paremman puhdistustehon aikaansaamiseksi.

Ulkomaisista referenssikohteista tehtyjen julkaisujen perusteella esitettiin lentoasemavesien laadulliseen käsittelyyn kosteikkoa, jollaista käytetään laajassa mittakaavassa hulevesien puhdistamiseen mm. Edmontonin, Buffalon sekä Lontoon Heathrow'n lentokentillä. Helsinki-Vantaan kosteikko tuli myös toteuttaa maanalaisena ratkaisuna, ettei se houkuttele alueelle lintuja, jotka ovat lentoturvallisuusriski törmäysvaaran vuoksi. Vastaavanlaisia ratkaisuja ei ole Manner-Euroopassa muita Helsinki-Vantaan lentoaseman lisäksi. (Airport Improvement, 2009)

Kosteikko valmistui maaliskuun alussa 2023. Samana kesänä se oli jo toiminnassa ja kasvillisuuden peitossa. (Kuva 8) Sen rakentamisen ja toiminnan tarkkailun perusteena on Etelä-Suomen aluehallintoviraston 2.8.2017 antama lentoaseman laskupurojen kunnostustarveselvitystä koskeva päätös (nro 155/2017/1, dnro ESAVI/1981/2016).

Kuva 8. Kosteikko heinäkuussa 2023.

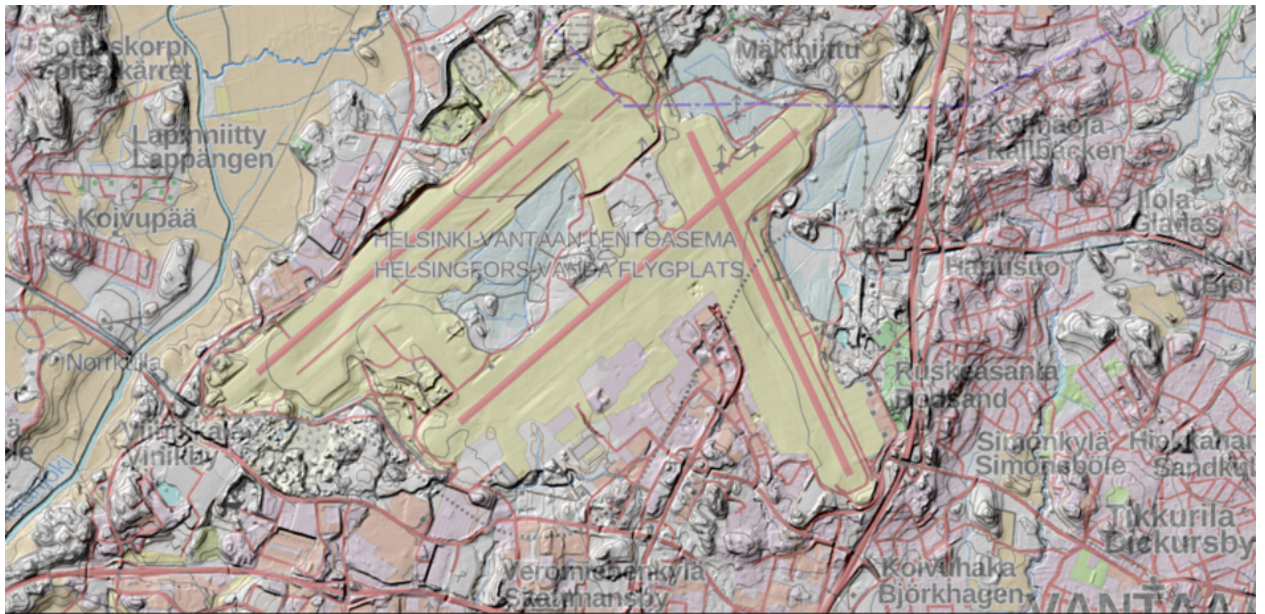


4.2 Pinnanmuodot ja kosteikon sijainti

Helsinki-Vantaan lentoaseman alue on toiminnan luonteesta johtuen hyvin tasaista, eikä siellä siis voida juurikaan hyödyntää korkeuseroja. (Kuva 9) 1700 hehtaarin kokonaispinta-alasta noin viidennes, 350 hehtaaria on päällystettyä. Hulevesiä syntyy siis paljon.

Lentoaseman eteläpuolella sijaitsevan Aviapoliksen alue on lisännyt hulevesiä entisestään. Kosteikko on rakennettu näiden vesien käsittelemiseksi Aviapoliksesta itään, Veromiehenkylänpuroon. Paikka on kosteikolle tarkoituksenmukainen. Sen valintaan vaikutti myös, ettei lentoasema-alueella juurikaan ole ylimääräistä tilaa.

Kuva 9. Lentoeseman korkeuserot (Paikkatietoikkuna, n.d.).



5 Maanalaisen kosteikon toteutusvaiheet

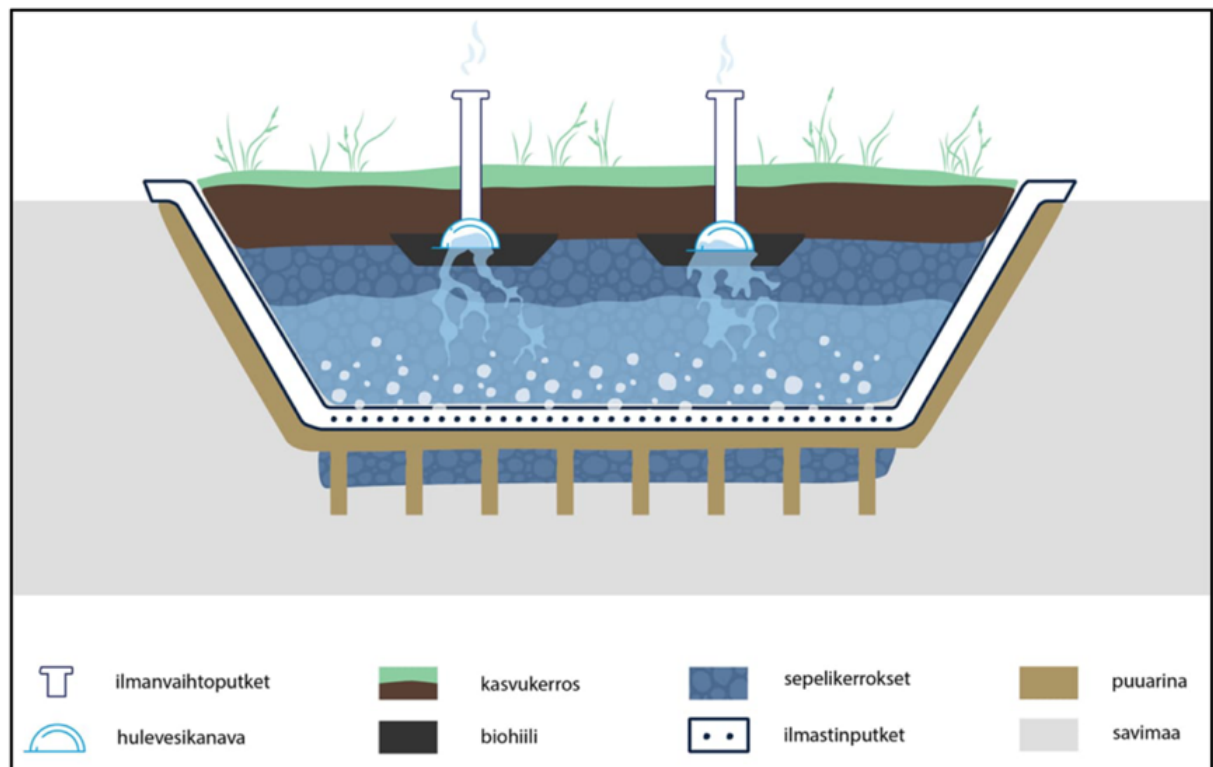
Toteutettu maanalainen kosteikkorakenne toimii hulevesiä puhdistavana ja viivyttävänä käsittelyjärjestelmänä. Se koostuu hulevesien ilmastussolusta ja kahdesta sepelitäytteisestä varastosolusta sekä niihin liittyvistä ojajärjestelyistä, hulevesipumppaamosta, ilmastusjärjestelmästä, hulevesiviemäreistä, -tunneleista ja -kaivoista. Käsittely ja varastosoluissa sijaitsevien hulevesitunneleiden alapuolelle tehty biohiili-/murskekerros toimii suodattimena, jonka läpi altaaseen purettavat hulevedet johdetaan. (Kuva 10)

Diplomityössä Giovanni Chaurand tutki erilaisten suodatusmateriaalien vaikutusta kosteikkorakenteiden suorituskykyyn erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Siinä mallinnettiin laboratoriossa kosteikkoa jäljittelevät olosuhteet, joissa käytettiin erilaisia suodatinmateriaaleja kasvualustoina lentoaseman vettä puhdistaville kotoperäisille mikrobeille. Suodatinmateriaalien vertailun jälkeen päädyttiin sepeliin, koska se osoittautui luotettavaksi ja toimivaksi ratkaisuksi sekä puhdistustehokkuuden osalta ja teknistaloudellisesta näkökulmasta. (Chaurand, 2019, s.54)

Hulevetenä käytettiin synteettistä hulevettä, joka perustui Helsinki-Vantaan lentoaseman vedenlaatuun propyleeniglykolipitoisuuden, liuenneen hapen, pH-arvon, lämpötilan, hajun,

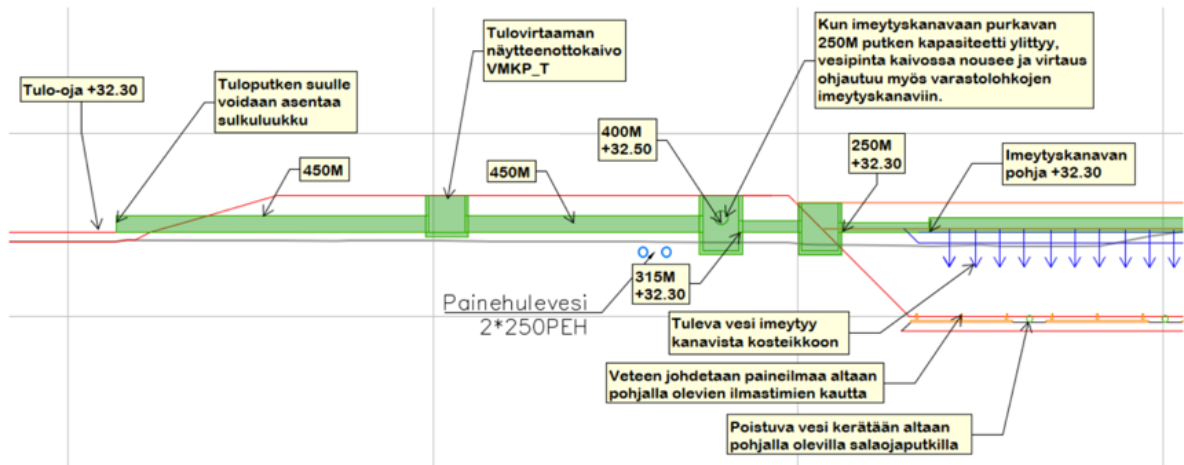
sähkönjohtavuuden, heterotrofisten bakteerien, biologisen hapenkulutuksen ja kokonaistypen sekä -fosforin osalta. Tutkimuksen tuloksia käytettiin lentoaseman maanalaisen kosteikon suunnittelussa. (Chaurand, 2019, s.55)

Kuva 10. Maanalaisen kosteikon lohkon rakenne (Finavia, ympäristöyksikön sisäinen aineisto, 2023).



Mitoitustilanteen ylittävälle virtaamille ja järjestelmän tukkeutumisen varalle kosteikossa on ylivuotorakenne hulevesikanavan kautta, kuten Sitowisen katsastusraportista oleva kuva 11 osoittaa. Altaan tulo-ojaan on rakennettu toinen ylivuotoreitti, joka ohjaa vedet altaan ohi, mikäli vesipinta tulo-ojassa nousee tason +32.70 yli. (Hyöty, 2021, s. 3)

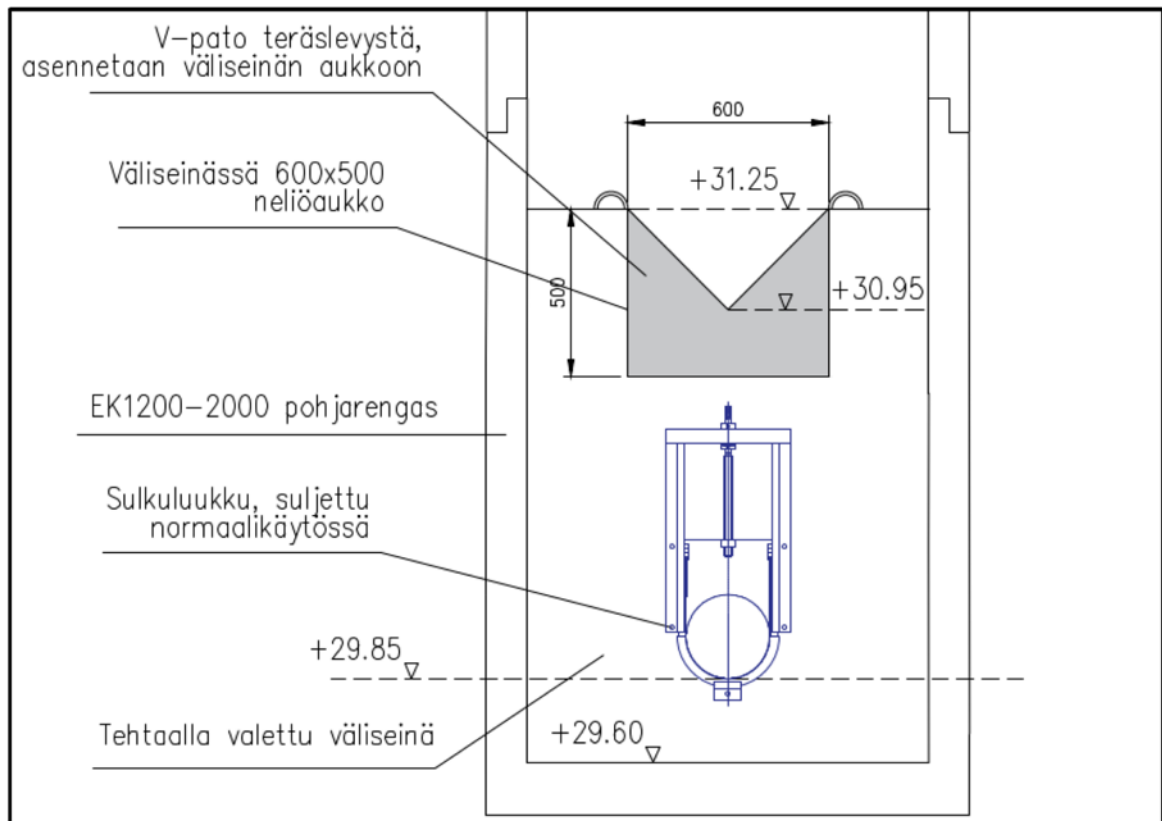
Kuva 11. Kosteikon toiminnallinen kuvaus (Sitowise, henkilökohtainen tiedonanto, 2023).



Salaojien kokoojalinjan purkukaivossa on sulkuluukku, jolla poistuvaa virtaamaa voidaan manuaalisesti säätää. Purkukaivosta vedet johdetaan lähtevän veden mittauskaivoon, jossa veden lopullinen poistuminen kosteikosta tapahtuu kaivon väliseinään asennetun V-padon kautta.

Vesi purkautuu V-padon läpi ylivuotona, minkä seurauksena kosteikon vedenpinta alenee, mutta kuitenkin vain tasoon +31, koska tarkoituksena on ylläpitää pieneliöstön elinolosuhteita. Patokaivon väliseinässä on pohjan tasossa sulkuluukku, jonka avaamalla kosteikko voidaan tyhjentää vedestä kokonaan. Rakenne nähdään Sitowisen raportista olevassa kuvassa 12.

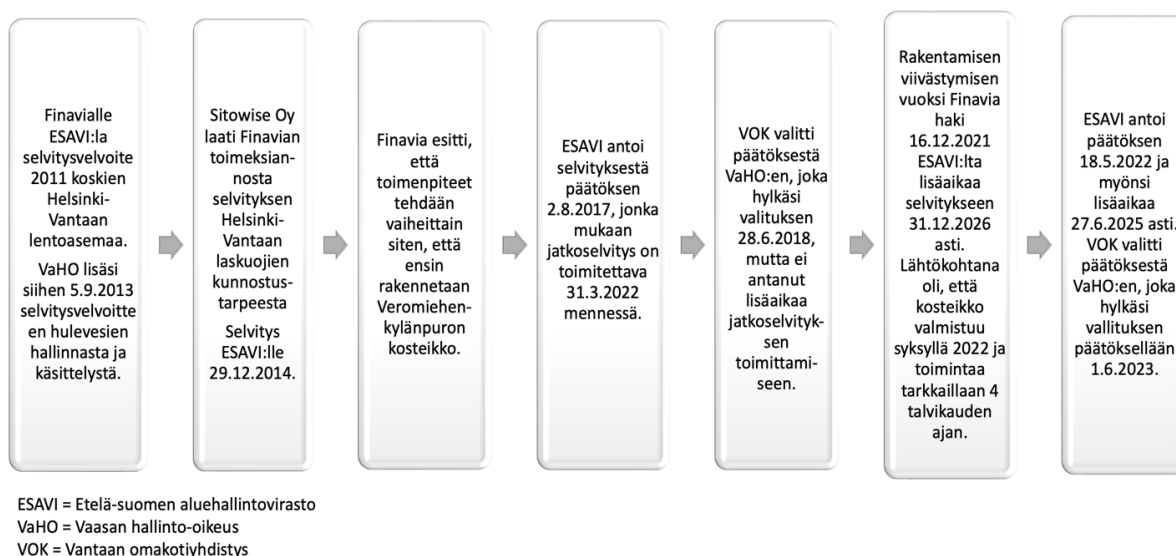
Kuva 12. Patokaivon rakenne (Sitowise, henkilökohtainen tiedonanto, 2023).



5.1 Lupaprosessi

Ympäristönsuojelulain mukaan lentoasematoiminta tarvitsee aina ympäristöluvan. Siinä lentoaseman toiminta on kuvattava monipuolisesti vesien- ja maaperänsuojelun, ilmastopäästöjen, lentomelun sekä kemikaalien käsittelyn kannalta. Ympäristöseurantaa ja -raportointia koordinoi Finavian ympäristöyksikkö. Alueelliset ELY-keskukset valvovat lupapäätöksissä annettujen määräysten, kuten ympäristötarkkailun määrän toteutumista. Helsinki-Vantaan lentoaseman valvova viranomainen on Uudenmaan ELY-keskus. (Finavia, 2023a) Lupaprosessin vaiheet ja aikataulu on esitetty ympäristöpäällikkö Kirsi Pitkärannan sähköpostin perusteella tehdyssä kuvassa (Kuva 13, Kirsi Pitkärannan henkilökohtainen tiedonanto 10.11.2023).

Kuva 13. Lupaprosessin aikataulu (Kirsi Pitkäranta, henkilökohtainen tiedonanto, 10.11.2023).



Veromiehenkylänpuron valuma-alueen hulevesien hallinnan kehittämisestä laadittiin yleissuunnitelma vuonna 2016. Sen jälkeen Finavia teetti Aalto-yliopistolla diplomityön, jossa tutkittiin sopivaa rakennetta ja ilmastutarvetta.

5.2 Rakentaminen

Rakennustyöt alkoivat syyskuussa 2019. Ensin tehtiin työmaatiet ja poistettiin pintamaat. Kosteikon pohjalle piti jäädä riittävän paksu savikerros, joka estää alueella olevan paineellisen pohjaveden purkautumisen. Siksi kosteikon itäreunassa, jossa maasto alkaa nousta, jouduttiin tekemään koekuopituksia, joiden perusteella savikerroksen paksuus voitiin varmistaa (Kuva 14). Koeporaus osoitti, että kosteikon varastolohkon nurkkaa oli pienennettävä, jotta leikkaukset olivat kauttaaltaan riittävän paksun saven alueella.

Kuva 14. Savikerros kosteikon rakennuksen aikana (Finavia ympäristöyksikön sisäinen materiaali, 2023).



Marraskuussa 2019 kosteikkoaltaan kaivutyöt olivat jo pitkällä. Tulo-oja oli eroosiosuojattu ja purkuputket kosteikolta Veromiehenkylänpuron viereen rakennettu. Joulukuussa 2019 työmaa jäi talven ajaksi tauolle. Keväällä rakentamista jatkettiin ja tehtiin laitehankintoja.

5.3 Rakentamisaikaiset haasteet

Maaliskuussa 2020 työmaalle tehtiin kaapelireittejä ja pumppaamokaivoja, kunnes koronapandemia pysäytti lentoliikenteen ja romahdutti Finavian liikevaihdon. Sen seurauksena kaikki ei-kriittiset projektit keskeytettiin. Myös kosteikon rakentaminen jäi tauolle. Tämä oli suurimpia haasteita kosteikon rakentamisessa, koska töiden keskeyttäminen ja käynnistäminen vaativat uudelleenresursointia ja suunnittelua.

Helmikuussa 2021 tilanne oli parantunut ja rakennustöitä päästiin jatkamaan. Koronan vuoksi laiteoimitukset olivat kuitenkin hankaloituneet ja huomattiin, että projektia ei ole realistista saada valmiiksi saman vuoden aikana, joten se venyi vuodelle 2022. Laitteiden

saatavuusongelmista huolimatta maanrakennustöitä pystyttiin tekemään. Varastolohko saatiin täytettyä sepelillä ja tulo-ojan sukellusviemärit sekä virtauksenohjausjärjestelyt kiintoaineksen laskeuttamisen tehostamiseksi saatiin valmiiksi vielä syksyn 2021 aikana.

Alkuvuodesta 2022 saatiin päätös projektin loppuun saattamisesta ja ilmastimien hankinta voitiin käynnistää. Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan keväällä 2022 sekoitti kuitenkin teräsmarkkinat ja happoteräksestä valmistettavien ilmastinputkistojen hinnat kaksinkertaistuivat suunnitteluvaiheen kustannustiedusteluihin verrattuna. Puhallinyksikön hinta ei muuttunut, mutta toimitusviiveet koskivat sitäkin.

Alkusyksystä 2022 rakennettiin jo viimeisiä putkistoja sekä paalutettuja puarinoita ilmastimien asennusalustoiksi. Marraskuun lopulla edettiin ilmanjakoputkistoiden asennukseen. Ennen joulukuun puoltaväliä toimitettiin puhallin ja myös ilmastinasennukset saatiin tehtyä. Ilmastimia ei voitu asentaa ennen kuin puhallin oli käyttökunnossa, koska puhallus piti sekä ilmastimet että koko järjestelmän sulana. Vesi otettiin sisään kosteikkoon heti, kun puhallus oli päällä. (Kuva 15)

Vuodenvaihteen jälkeen ilmastuslohko täytettiin sepelillä. Puhallus pidettiin koko ajan päällä jäätymisen estämiseksi ja ettei hienoainesta pääsisi ilmastimiin. Maaliskuussa 2023 varsinainen urakkavaihe päättyi ja ilmastinlohkon imeytyskanavat ja pintarakenteet saatiin valmiiksi. (Hyöty, 2023, s.22)

Kuva 15. Kosteikon ilmastuslohko ennen sepelitäyttöä (Finavia, ympäristöyksikön sisäinen aineisto, 2022).



6 Ensimmäinen tarkkailukausi

Kosteikon valmistuttua tarkkailu aloitettiin maaliskuussa 2023 neljästä eri vesientarkkailupisteestä. Ne on nimetty sijaintinsa mukaan seuraavasti: Tuleva (VMKP_T), lähtevä (VMKP_L), ilmastettu vesi (VMKP_IS) ja ei-ilmastettu vesi (VMKP_ES). (Kuva 16)

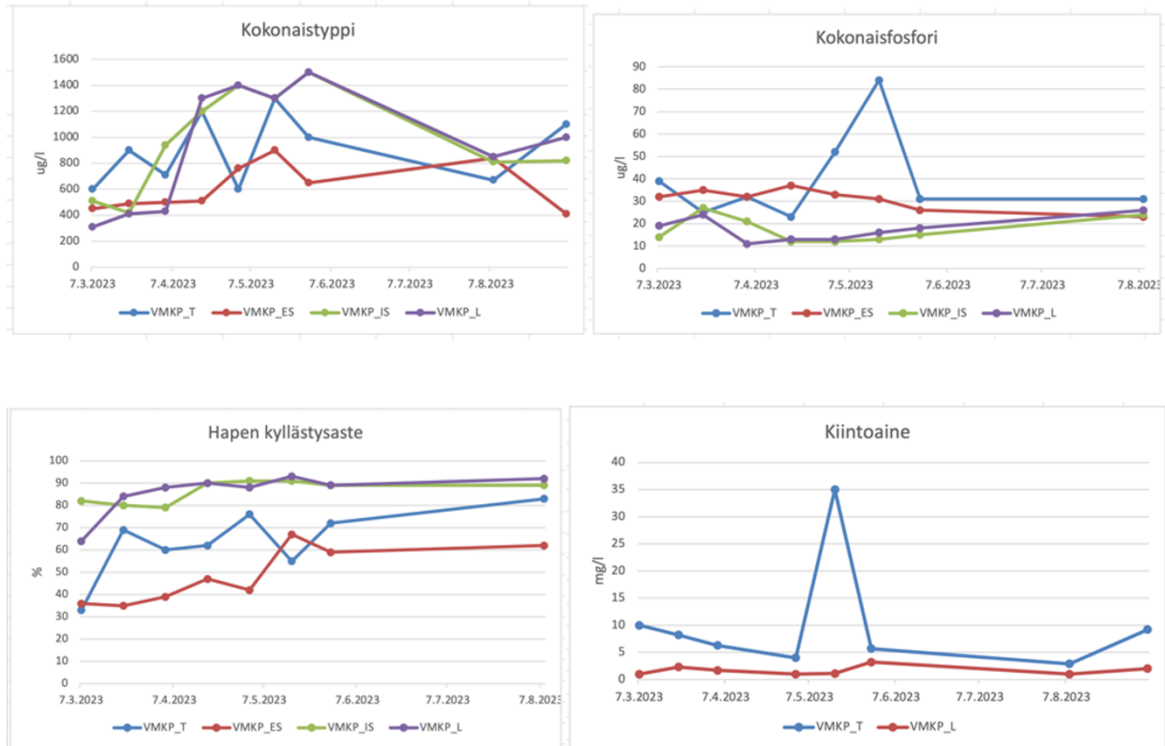
Kuva 16. Tarkkailupisteiden sijainti (Finavia, ympäristöyksikön sisäinen aineisto, 2023).



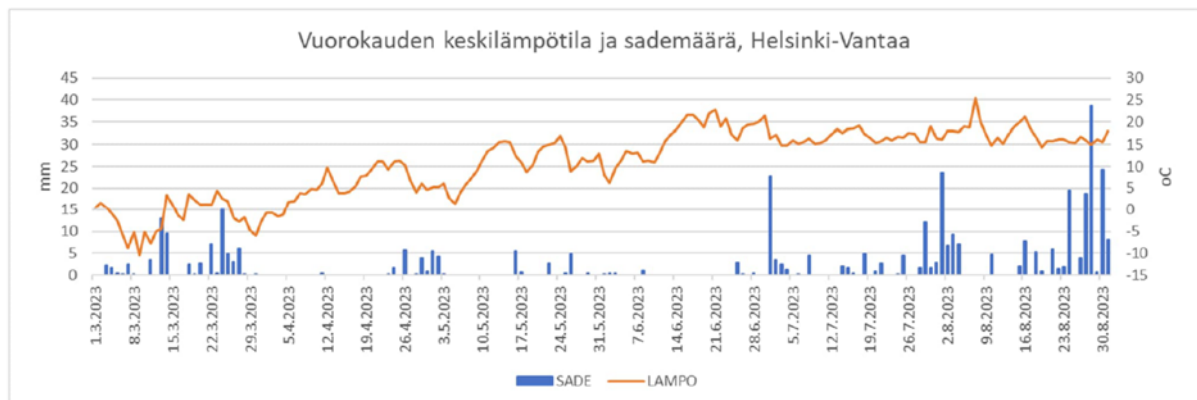
Maaliskuusta elokuuhun 2023 saaduista tarkkailun tuloksista nähdään, että ravinnepitoisuudet ja vesienlaatu vaihtelevat. Fosforipitoisuudet ovat olleet tulevassa vedessä ja ei-ilmastetussa lohkossa korkeampia kuin ilmastetussa lohkossa ja kosteikosta lähtevässä vedessä. Typpipitoisuus on vaihdellut kosteikkoon tulevassa vedessä, mutta silti pääosin kosteikosta on poistunut typpipitoisempaa vettä kuin sinne tulee. Tämä saattaa johtua siitä, että kosteikossa on käytetty sepeliä, joka valmistetaan kalliosta irti räjäytetystä louheesta ja räjähdysaineet sisältävät tyypillisesti typpeä. Siitä on luultavasti jäänteitä kiviaineksessa ja sitä liukenee kosteikon veteen kosteikon käytön alkuvaiheessa. Toinen mahdollinen typen lähde on ilmastus. Ilma sisältää typpeä noin 78 %, joten sitä saattaa päätyä kosteikon veteen myös sitä kautta. Kolmas mahdollinen lähde on rakenteen pinnalla oleva kasvukerros, josta ravinteita voi kulkeutua sadeveden mukana ennen kuin kunnan kasvillisuus on muodostunut pintaan. Jos typen pitoisuus laskee ajan kuluessa, sitä on todennäköisesti liuennut kiviaineksesta. Ensimmäisestä kaudesta ei kuitenkaan voi vielä päätellä paljoakaan. Kokonaisuudessaan ravinnepitoisuudet ovat vastanneet lievästi rehevää-rehevää vettä.

Hapen osalta voidaan nähdä, että ilmastus on selkeästi lisännyt happipitoisuutta, vaikka tilanne ei ole ollut huono ei-ilmastetussa lohkossakaan. Kiintoaineita kosteikko pidättää hyvin. Toukokuussa lumien sulamisen aikaan nähtiin tarkkailun suurin piikki tulevien vesien kiintoainemäärissä, 35 mg/l, mutta lähtevissä vesissä se oli vain 1,1 mg/l. (Kuva 17) Tästä huomataan, että myös sää vaikuttaa kosteikon vesiin, sekä sademäärän että lämpötilan osalta. (Kuva 18)

Kuva 17. Kokonaistypen ja -fosforin sekä kiintoaineksen ja määrät sekä hapen kyllästysaste kosteikon tulevassa ja lähtevässä vedessä sekä ilmastetussa ja ei-ilmastetussa lohossa. (Finavian ympäristöyksikkö, 2023).



Kuva 18. Vuorokauden keskilämpötilat ja sademäärät maaliskuun 2023 alusta (Ilmatieteen laitos, 2023).



7 Tehdyt muutokset ja parannukset

Rakenteen valmistuttua todettiin, että imeytyskanavien kapasiteetti on pienempi kuin suunnitteluvaiheessa arvioitiin, minkä seurauksena ylivuotoa tapahtuu liikaa ja liian usein.

Imeytyksen tehostamisesta on tehty korjaussuunnitelma, jonka ensimmäinen osa toteutettiin syksyllä 2023.

Kosteikon suunnittelija toimitti imeytyksen korjausehdotuksen 13.6.2023. Korjaustyöt päästiin kuitenkin aloittamaan vasta loppusyksyllä. Marraskuun ensimmäisenä päivänä yhden varastolohkon kanavan reuna kaivettiin auki ja todettiin, että vesi lähti heti purkautumaan kanavan alta sekä kanavan kyljen juuressa olevista rei'istä. Ylivuoto korjauksen alla olevasta lohkoista loppui kokonaan. Koska tyhjeneminen oli niin tehokasta, pintamaan ja biohiilisepelikerroksen välissä olevan valkoisen suodatinkankaan reunaa ei leikattu suunnitelman mukaisesti, vaan se taitettiin ylös siten että kankaan reuna oli kanavan pohjan tasossa. Kanava peitettiin uudelleen sepelillä.

Seuraavan päivän katselmuksessa todettiin, että veden purkautuminen kanavan alta ja sivulta oli jälleen tyrehtynyt. Kanavan peitesepeli poistettiin paikoitellen kaivinkoneen harjakauhalla ja todettiin että vesi purkautuu kanavan kyljen juuressa olevista rei'istä suodatinkankaan läpi. Heti kun suodatinkankaan päälle laitetaan kiviainesta, virtaus aukoista tyrehtyy. Todettiin, että kiviaineksen raekoolla ei ole suurta merkitystä, vaan ongelma aiheutuu suodatinkankaasta (Kuva 20, Sitowisen katselmus 2.11.).

Suodatinkankaasta leikattiin paikoitellen kaistaleet pois siten, että kanavan kylkireiät olivat vapaana ja kanava peitettiin koemielessä eri kiviaineksilla. Todettiin, että kiviaineksen raekoolla ei tässäkään ollut suurta merkitystä, kun suodatinkangasta ei ollut välissä vesi purkautui kiviaineksen välistä hyvin, kuten kosteikon katselmuksesta tehdyssä Sitowisen raportin kuvassa 19 nähdään.

Kuva 19. Katselmuksessa havaittuja asioita (Sitowise, henkilökohtainen tiedonanto, 2023).



Lisäksi havaittiin, että biohiilikerroksen alla oleva musta kudottu suodatinkangas ei läpäise vettä käytännössä ollenkaan. Materiaalilla sisätiloissa tehdyissä kokeissa kangas läpäisi vettä, mutta se ei toimi rakenteena kontaktissa kiviainekerrosten kanssa. Syytä tähän ei tiedetä. Yksi mahdollisuus on huleveden sisältämä kiintoainne, joka tukkii huokokset.

Katselmuksessa sovittiin, että kanavan reunan korjaus tehdään siten, että alimpana olevan mustan suodatinkankaan reunaa leikataan, jotta se ei enää nouse biohiiliseppelin pohjan tasosta. Tällöin vesi pääsee kanavasta valkoisen pohjakankaan läpi biohiiliseppelikerrokseen ja sen kyljestä varsinaiseen varastokerrokseen.

Lisäksi kanavan päällä oleva valkoisen suodatinkankaan reuna leikataan siten, että kanavan kyljen aukot jäävät peittämättä ja kanavan sivu täytetään saman raekoon sepelillä, mikä on ollut muoviputkien alkutäyttömateriaalina. Jos imeytyminen kanavan pohjan läpi on tällöin liian hidasta, vesi pääsee purkautumaan varastokerrokseen myös kyljen aukoista, Sitowisen raportin kuvan mukaisella tavalla. (Kuva 20)

Katselmuksella todettiin, että jos veden purkautumista kanavasta varastokerrokseen saadaan tehostettua, myös kierrätysvesipumppausta voidaan tehostaa. Samalla testattiin

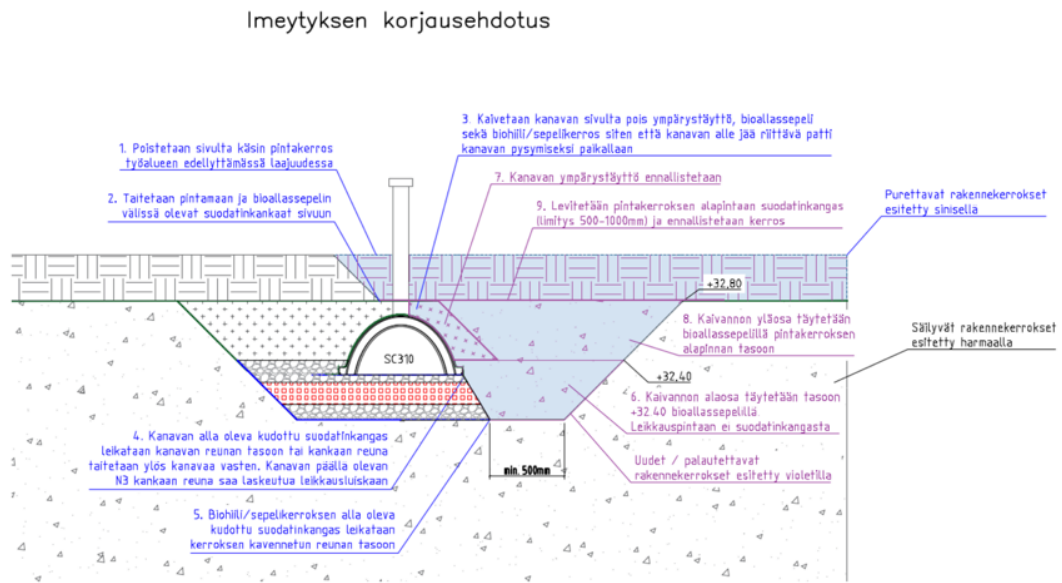
kahden pumpun yhteiskäyttö, joka ei aiheuttanut ylivuotoa, vaan virtaama purkautui avatun kanavan reunasta varastotäyttöön.

Ilmastuslohkoon ei voida tehdä vastaavaa korjausta kuin varastolohkoon, koska raskaiden työkoneiden liikkuminen ilmastuslohkon päällä aiheuttaa liian suuren riskin lohkon pohjalla olevien ilmastinputkien vaurioitumiselle. Koska ilmastuslohkon imeytys toimii jatkossakin huonosti, pitää tuloputkijärjestelyä muuttaa siten, että virtauksen pääsuunta on korjattaviin varastolohkoihin, joista se tulee ilmastuslohkoon.

Tämä korjaustoimenpide vaatii, että ilmastuslohkon tulokaivon betonikansi poistetaan, kaivoa korotetaan yhdellä 500 mm renkaalla ja ilmastuslohkoon lähtevän putken suulle asennetaan 30° tai 45° käyrä. Sitä kiertämällä nostetaan ilmastuksen suuntaan lähtevää vesijuoksua varastolohkoon lähtevän putken vesijuoksua (+32.50) ylemmäs.

Sovittiin myös, että heti korjataan vain avatun kanavan reuna ja seurataan sen toimintaa, koska talvi oli tulossa. Muiden varastolohkon kanavien reunat voidaan korjata keväällä 2024 maisemointitöiden yhteydessä.

Kuva 20. Korjausehdotus imeytykselle (Sitowise, henkilökohtainen tiedonanto, 2023).



7.1 Intensiivitarkkailu

Intensiivitarkkailu aloitetaan, kun kosteikon imeytystä parantavat toimenpiteet ovat valmistuneet. Toiminnan tulee myös ehtiä vakiintua, mikä todennetaan perustarkkailun tulosten avulla. Vakiintumiseen vaikuttavat vuodenaajat, orgaanisen aineen kuormitus, lämpötilat sekä virtaamat. Intensiivitarkkailun aikana tulevan ja lähtevän veden laatua seurataan perustarkkailua tarkemmin, kuten kuvassa 21 on esitetty Sitowisen kanssa käydyn palaverin muistiossa huhtikuussa 2023. Intensiivitarkkailun näytteenottotiheyden määrittämisessä käytetään apuna perustarkkailusta saatavia seurantatietoja. Niiden avulla voidaan arvioida kosteikon toiminnassa tapahtuvien muutosten nopeutta, ja tämän tiedon pohjalta ajoittaa intensiivitarkkailua kosteikon toiminnan kannalta tärkeisiin ajanjaksoihin riittävällä näytteenottotiheydellä. (Chaurand, 2023, s. 6)

Kuva 21. Intensiivitarkkailun suunnitelma (Sitowise, henkilökohtainen tiedonanto, 2023).

Tarkkailupiste	Jatkuvatoimiset online-mittaukset	Näytteenotto
VMKP_T	Vedenpinnankorkeus, veden sähkönjohtavuus ja happipitoisuus (O ₂) sekä lämpötila	TOC, BOD ₇ , COD _{Cr} , O ₂ , lämpötila, pH, veden sähkönjohtavuus, kiintoaine, N _{kok} , NO ₃ -N, P _{kok} , PO ₄ -P, glykolit ja hajoamistuotteet, formiaatit, haju, ulkonäkö
VMKP_L	Virtaama ja happipitoisuus (O ₂) sekä lämpötila	
VMKP_IS (ilmas-tettu lohko)	Pinnankorkeus ja happipitoisuus (O ₂) sekä lämpötila	TOC, BOD ₇ , COD _{Cr} , O ₂ , lämpötila, pH, N _{kok} , NO ₃ -N, P _{kok} , PO ₄ -P, glykolit ja hajoamistuotteet, formiaatit, haju, ulkonäkö
VMKP_ES (ei-ilmas-tettu lohko)		

7.2 Kosteikon käyttö ja kunnossapito

Maanalaisen kosteikon veden kierrättämisestä vastaavat kaksi pumppua, jotka toimivat samanaikaisesti. Niissä ei ole tehonsäätöä, vaan ne pumppaavat kumpikin 25 litraa sekunnissa muutaman minuutin ajan tunnissa. Niiden käyntiajat säädetään vesimäärän mukaan. Siihen vaikuttavat sateet sekä lentoasema-alueen hulevesien pumppaus kosteikolle.

Kosteikon toimiessa suunnitelmien mukaan vesimäärä kiertää altaassa noin kaksi kertaa vuorokaudessa. Tällä hetkellä etäohjausjärjestelmästä saadaan tieto veden pinnankorkeudesta ja tarvittaessa sulkuja joudutaan säätämään käsin. Mahdollisesti tulevaisuudessa kuitenkin myös sulkujen säätö liitetään etäsäädön piiriin. Vedenkierto ei ole vielä halutulla tasolla ja seuraava sitä parantava toimenpide on avata reunimmainen varastolohko keväällä 2024.

Katselmuksessa marraskuun ensimmäisenä päivänä kosteikon rakentamisen toteuttaneen Kenttäpalvelu Tompan Tomi Aholainen ohjeisti, että varastolohkossa vedenkorkeus ei saa ylittää 230 cm, koska vedenpaine nousee niin korkeaksi, että kourut alkavat nousta maan sisällä. Jos vedenpinta lähestyy maksimirajaa, sulkuja täytyy avata pinnan laskemiseksi.

Varastolohkojen kourut tulee huuhdella painevedellä aina ennen ja jälkeen kauden, mutta siinä on noudatettava varovaisuutta, ettei suodatinkangas repeä.

Kosteikkoaltaan koko on 45 m x 75 m x 2 m ja tilavuus lähes 7000 m³ (vesi + sepeli). Ilmastetussa lohkossa on noin 2 km rosteriputkea ja se tulee puhdistaa useammin, noin kaksi kertaa kuukaudessa, esimerkiksi näytteenottojen yhteydessä. Se tehdään ilmastimen (Kuva 22) paineilmalla, kuitenkin niin, että vedenkorkeus on maksimissaan 180 cm, muuten putket lähtevät nousemaan maasta. Puhallus saa olla puhdistuksessa enimmillään 319 litraa minuutissa, sillä sitä suurempi puhallus aiheuttaa laitteiston ylikuumentumisen ja sammumisen.

Kuva 22. Ilmastinlaite.

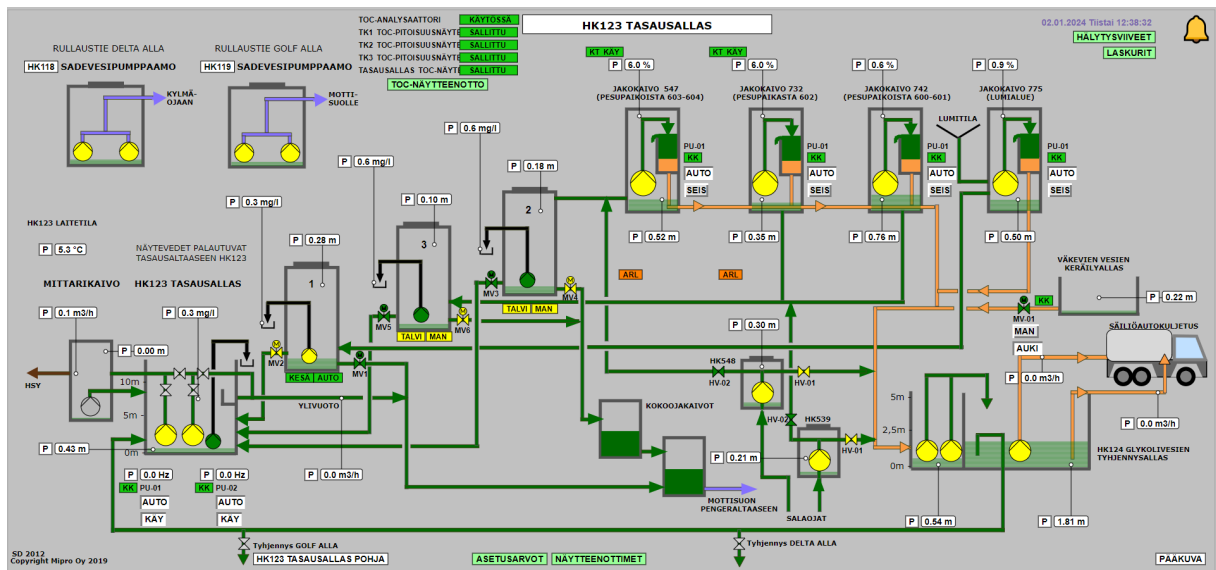


8 Automaatio

Vielä alkuvuodesta 2024 kosteikon toimintaa ohjataan manuaalisesti, koska automaatiojärjestelmän toimitusaika on pidentynyt koronapandemian ja Venäjän hyökkäyssodan aiheuttaman komponenttipulan vuoksi huomattavasti.

Jatkuvatoimiset anturit tulevat seuraamaan vedenkorkeutta, happipitoisuutta ja sähköjohtavuutta useista pisteistä. Samoista pisteistä kerätään myös glykolivesinäytteitä tarkkailuohjelman mukaisesti. Anturit välittävät järjestelmään tietoa, jonka perustella kierrätysvesipumppausta ja puhallinta ohjataan. Lentoasemavesien ohjauksessa on käytössä jo Mipro Oy:n Misonet-järjestelmä (Kuva 23), jolla voidaan seurata vesien määrää ja laatua, säätää pumppaamoita ja muita laitteita. Kosteikon valvonta tullaan liittämään Finavian nykyiseen ohjausjärjestelmään (Misonet/Mipro).

Kuva 23. Esimerkkikuva lentoasemalla käytössä olevasta Mipron Misonet ohjausjärjestelmästä (Mipro, 2024).



Etäohjausjärjestelmän lisäksi Helsinki-Vantaan vesienhallinnalla on tällä hetkellä käytössä jatkuvatoimiset happianturit ja pinnankorkeusmittaus useissa tarkkailupisteissä, muun muassa Veromiehenkylänpuron maanalaisella kosteikolla.

9 Tulosten esittely

Kosteikon rakentamisen ja toiminnan tarkkailun perusteena on Etelä-Suomen aluehallintoviraston 2.8.2017 antama lentoaseman laskupurojen kunnostustarveselvitystä koskeva päätös nro 155/2017/1. Tavoitteena oli ensisijaisesti vähentää biologista hapenkulutusta Veromiehenkylänpurossa.

Ratkaisuvaihtoehtoja vähensi lentoaseman rajattu tila ja lähes olemattomat korkeuserot toiminnan luonteen takia, joten vesienhallintaratkaisuihin ei voida hyödyntää painovoimaa. Aalto-yliopistolla teetetty tutkimus osoitti, että maanlainen kosteikko on tähän tarkoitukseen soveltuvin ratkaisu. Kosteikko on lisäksi tehokas vedenpuhdistusratkaisu.

Lentoasemaympäristöön ei voida rakentaa avoimia suuria vesipintoja, koska ne houkuttelevat lintuja, jotka voivat törmätä lentokoneisiin, joten maanlainen vaihtoehto kosteikolle oli ainoa mahdollinen toteutustapa.

Rakentaminen aloitettiin vuonna 2018, mutta se keskeytyi koronapandemian takia. Silloin Finavian liikevaihto romahti lentoliikenteen keskeyttämisen vuoksi ja kaikilta ei-kriittisiltä hankkeilta loppui rahoitus. Seuraava haaste oli Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan, josta aiheutui maailmanlaajuinen komponenttipula, joka heijastui myös kosteikon rakentamisessa tarvittavien osien saatavuuteen.

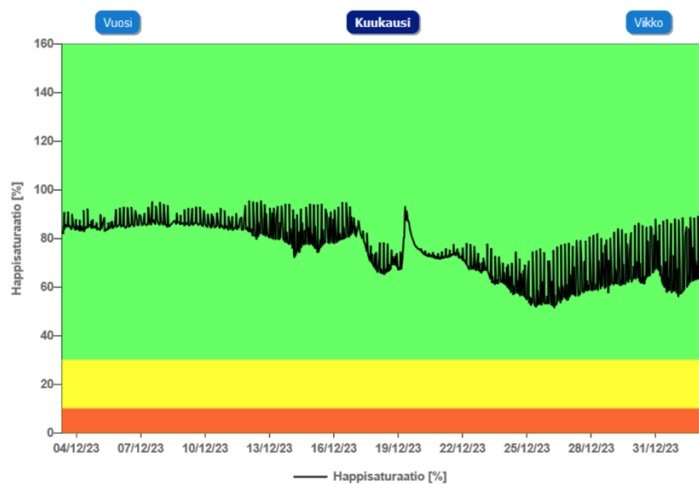
Suurimmat konkreettiset ongelmat rakentamisen aikana olivat paineellinen pohjavesi. Sen vuoksi jouduttiin tekemään koekuopituksia, jotta löydettiin alueet, joissa oli riittävän paksu savipatja. Toinen ongelma tuli vastaan, kun kosteikon toiminnan testauksessa oli saatu eri tulokset kuin oikeassa toimintaympäristössä. Aiheuttaja oli suodatinkangas, joka ei jostain syystä läpäissyt vettä odotetussa määrin. Syytä tähän ei tiedetä.

Kosteikon valmistuttua ilmeni, että kiintoaineita sekä fosforia pidättyy odotetusti ja veden happipitoisuus nousee kosteikkokäsittelyssä, mutta vesiä ei imeydy riittävästi, vaan ylivuotoa tulee liikaa. Tästä syystä varastolohkon sivua kaivettiin auki, suodatinkangasta poistettiin ja kiertosuunta muutettiin marraskuussa 2023. Lisää lohkoja kaivetaan auki alustavan suunnitelman mukaan ensi keväällä 2024 maisemointitöiden yhteydessä.

Alustavien tulosten perusteella täytyy myös pohtia tarkemmin näytepisteiden sijaintia, koska kiertopumppauksen vuoksi tuleva vesi ja kosteikossa jo oleva ilmastettu vesi saattavat sekoittua ja vääristää tuloksia. Vedet on pidettävä näytepisteillä selvästi erillään, jotta mittauksissa saadut tulokset ovat luotettavia. (Kuvat 24 ja 25)

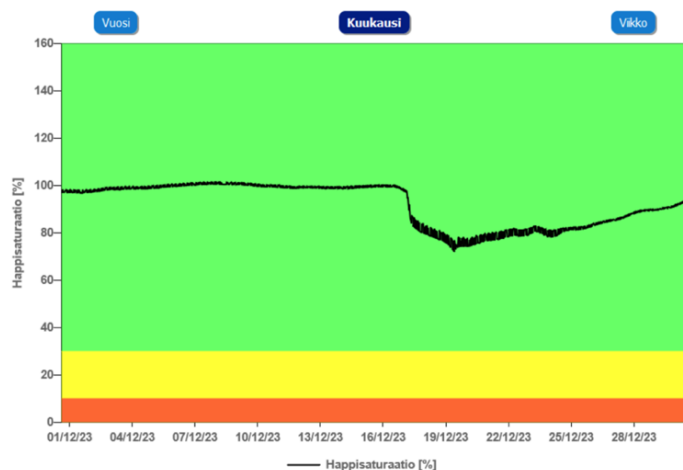
Kuva 24. Veromiehenkylän kosteikon tulevan veden happisaturaation kuvaaja (Luode Consulting Oy, sisäinen seuranta järjestelmä, 2024).

Tuleva VMKP_T



Kuva 25. Veromiehenkylän kosteikon lähtevän veden happisaturaation kuvaaja (Luode Consulting, sisäinen seuranta järjestelmä, 2024).

Lähtävä VMKP_L



Vesientarkkailun etävalvonnan automaatio otetaan lähitulevaisuudessa käyttöön ja sitä laajennetaan. Antureita lisätään, joilla valvotaan vedenlaatua, virtaamaa ja korkeutta kosteikossa.

10 Tulosten tarkastelu, johtopäätökset ja pohdinta

Tämä opinnäytetyö kokoaa yhteen kaiken Helsinki-Vantaan maanalaisesta kosteikosta ja sen toimivuudesta kevääseen 2024 mennessä kertyneen tiedon. Tietoja on kerätty haastattelututkimuksin, Finavian vesientarkkailuohjelman tuloksia tutkien sekä lähdemateriaalia käyttäen.

Näin koottua tietokonaisuutta käyttäen voidaan tulevaisuudessa vastaavien rakennushankkeiden kaikissa vaiheissa huomioda tämän projektin aikana ilmaantuneet odottamattomat haasteet. Siten säästetään sekä aikaa että kustannuksia.

Kyseinen maanalainen kosteikkoratkaisu on ollut toiminnassa vasta vajaan vuoden, joten vesientarkkailun tuloksista ei voi vielä vetää kattavia päätelmiä. Veden happipitoisuuden lisäämisessä sekä fosforin ja kiintoaineiden pidättämisessä kosteikko kuitenkin toimii kuten on suunniteltu. Imeytys sitä vastoin on ollut riittämätöntä heti valmistumisen jälkeen. Sitä parannetaan kevään 2024 aikana kosteikon maisemoinnin yhteydessä.

Yleisellä tasolla opinnäytetyö antoi näkymän siihen, miten globaalien ympäristöongelmien ratkominen ylittää lakien ja määräysten velvoittamana mitä moninaisimpiin yhteiskunnan toimintoihin. Käytännön tasolla oli kiinnostavaa tutustua maanalaisen kosteikon toteutukseen, toimintaan ja tarpeellisuuteen. Tämä opetti monipuolisesti vedenlaadun seuranta ja osoitti, kuinka keskeisen tärkeää seuranta on osana lentoasematoiminnan ympäristötyötä. Tekemieni havaintojen ansiosta hahmotan nyt entistä paremmin ympäristösuunnittelijan työn sisältöä ja tarpeellisuutta, mikä lisää motivaatiotani alan työtehtäviin.

Lähteet

Airport Improvement. (2019). *Underground Wetlands Reduce Deicing Fluid Disposal at Buffalo Int'l.*

<https://airportimprovement.com/article/underground-wetlands-reduce-deicing-fluid-disposal-buffalo-intl>

Aittola M., Helenelund A., Kamppi, K., (2023). Helsinki-Vantaan lentoaseman glykoli-, pinta ja pohjavesien tarkkailu, tarkkailukausi 2022–2023, tarkkailuraportti. FCG, Finnish Consulting Group Oy.

Chaurand G., (2019). *Performance of subsurface flow wetlands for the treatment of airport runoff* [diplomityö]. Aalto-yliopisto.

<https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/4cb2ad92-f131-483c-a220-1d4f2d15ad37/content>

Chaurand G., (2023). Veromiehenkylänpuron maanalaisen kosteikon tarkkailusuunnitelma VMKP tarkkailuohjelma. Sitowise Oy.

DNV. (n.d.) ISO14001 – Ympäristöasioiden hallinta. <https://www.flightsfrom.com/top-100-airports-in-europe>

EASA. (2011). *Regulation of ground de-icing and anti-icing services in the EASA member states.* <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/research-reports/easa20094>

Finavia. (2022). *Finavian vuosi- ja vastuullisuusraportti.*

https://www.finavia.fi/sites/default/files/documents/Finavia_Vuosi-ja-vastuullisuus_raportti_2022.pdf

Finavia. (2023a). *Finavian ympäristötyö* <https://www.finavia.fi/fi/tietoa-finaviasta/vastuullisuus/kestava-lentoliikenne/ymparistotyö>

Finavia. (2023b). *Finavian ympäristötyö* <https://www.finavia.fi/fi/tietoa-finaviasta/vastuullisuus/kestava-lentoliikenne/ymparistotyö>

Finavia. (2023). *Kolme asiaa vesien hallinnasta Finavian lentoasemilla*. <https://www.finavia.fi/fi/uutishuone/2023/kolme-asiaa-vesien-hallinnasta-finavian-lentoasemilla>

Finavia (2024) *Finavian ilmasto-ohjelma*. <https://www.finavia.fi/fi/tietoa-finaviasta/vastuullisuus/ilmasto-ohjelma>

Flightsfrom (2023). *Top 100 busiest airports in Europe*. <https://www.flightsfrom.com/top-100-airports-in-europe>

Hyöty P. (2021). *Veromiehenkylänpuron hulevesien käsittelykosteikko, maarakennustyöt*. Sitowise Oy.

Hyöty P. (2023). *Veromiehenkylänpuron maanalainen kosteikko*. Sitowise Oy.

ICOA. (n.d.) International Civil Aviation Organization *ECO AIRPORT TOOLKIT Water Management at Airports*, s. 4-6 www.icao.int/environmental-protection/Documents/Water%20management%20at%20airports.pdf

Ilmatieteenlaitos (2023). *Vuorokauden keskilämpötilat ja sademäärät maaliskuun 2023 alusta* [kuva]. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Masterchem. (n.d.). *Natriumformiaatti (CAS 141-53-7)*. <https://masterchem.fi/tuote/natriumformiaatti-cas-141-53-7/>

National library of medicine. (2023) *Propylene glycol*

Paikkatietoikkuna. (n.d.) Karttapalvelu [kuva]. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Propylene-Glycol#section=Structures>

Port of Seattle. (2022). *All you ever wanted to know about airplane de-icing* <https://www.portseattle.org/blog/all-you-never-wanted-know-about-airplane-de-icing>

Sitowise Oy (2020). *Vesimäärien ja kuormituksen hallinta Helsinki-Vantaan eteläisissä laskupuroissa.*

Suomen riistakeskus. (2023). *Kosteikko.fi, luonnon monimuotoisuus.*

https://kosteikko.fi/nauti/?doing_wp_cron=1703756035.8078880310058593750000

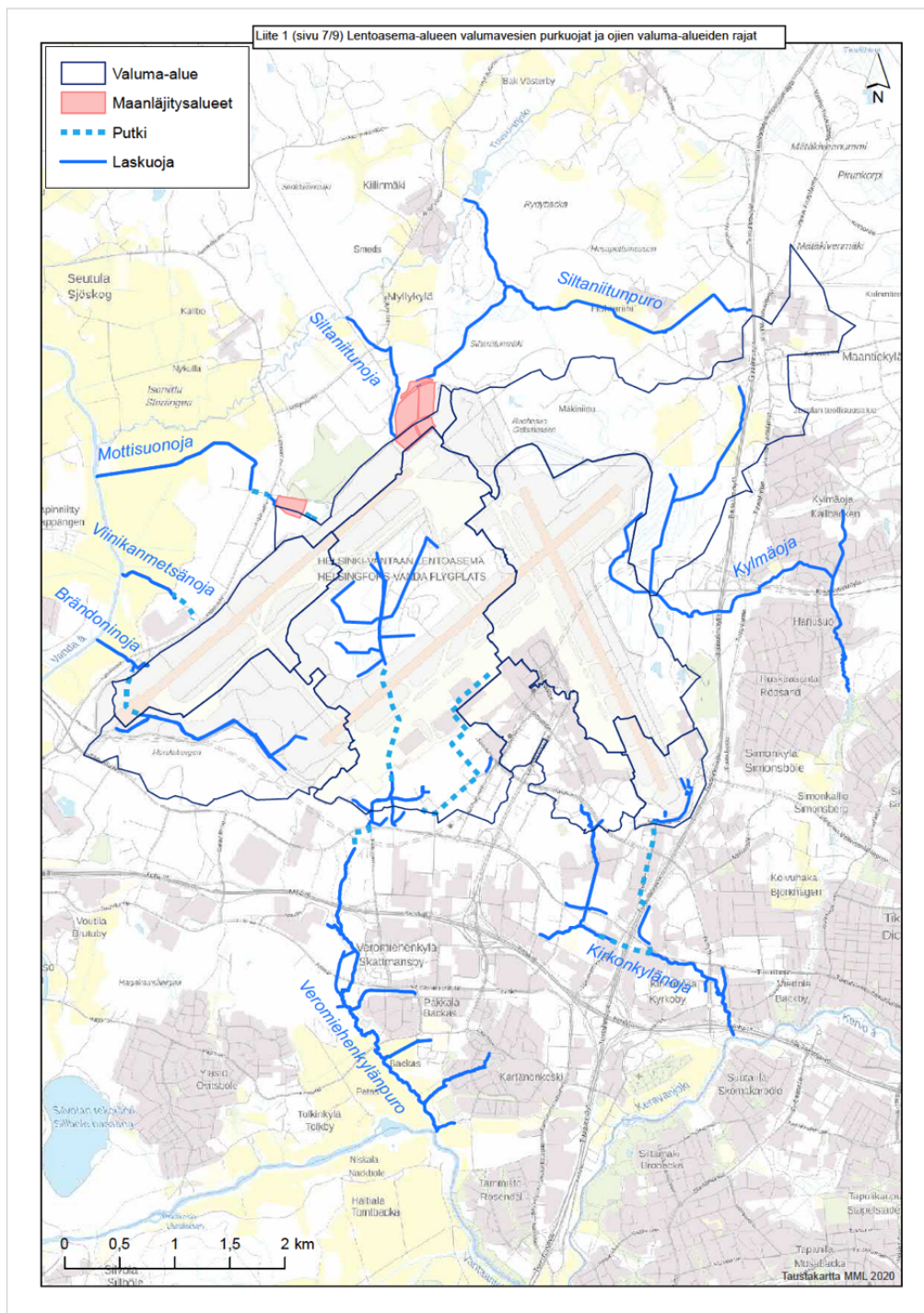
SYKE. (2013). *Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjavedessä (MIDAS)* <https://www.syke.fi/hankkeet/midas>

Turku AMK. (2023). *Kosteikot vesiensuojelumenetelmänä – hyödyt ja haasteet*
<https://talkbystudents.turkuamk.fi/energia-ja-ymparistotekniikka/kosteikot-vesiensuojelumenetelmana-hyodyt-ja-haasteet/>

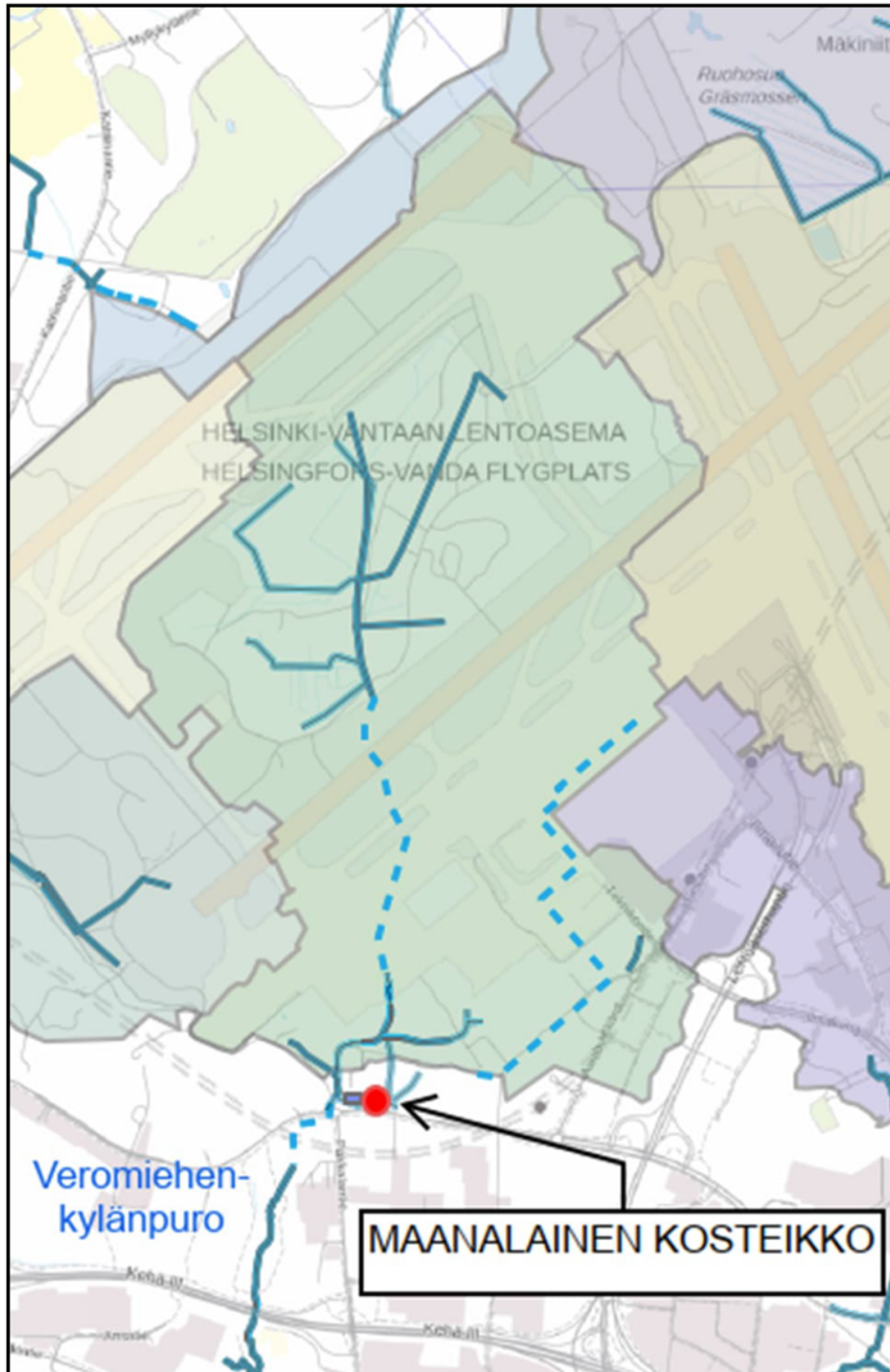
Vantaa (2022). *Tällainen on tulevaisuuden Aviapolis*

<https://www.vantaa.fi/fi/ajankohtaista/artikkeli/tallinen-tulevaisuuden-aviapolis>

Liite 1. Kartta lentoasema-alueen valumavesien purkuojista ja ojen valuma-alueiden rajat (FCG tarkkailuraportti)



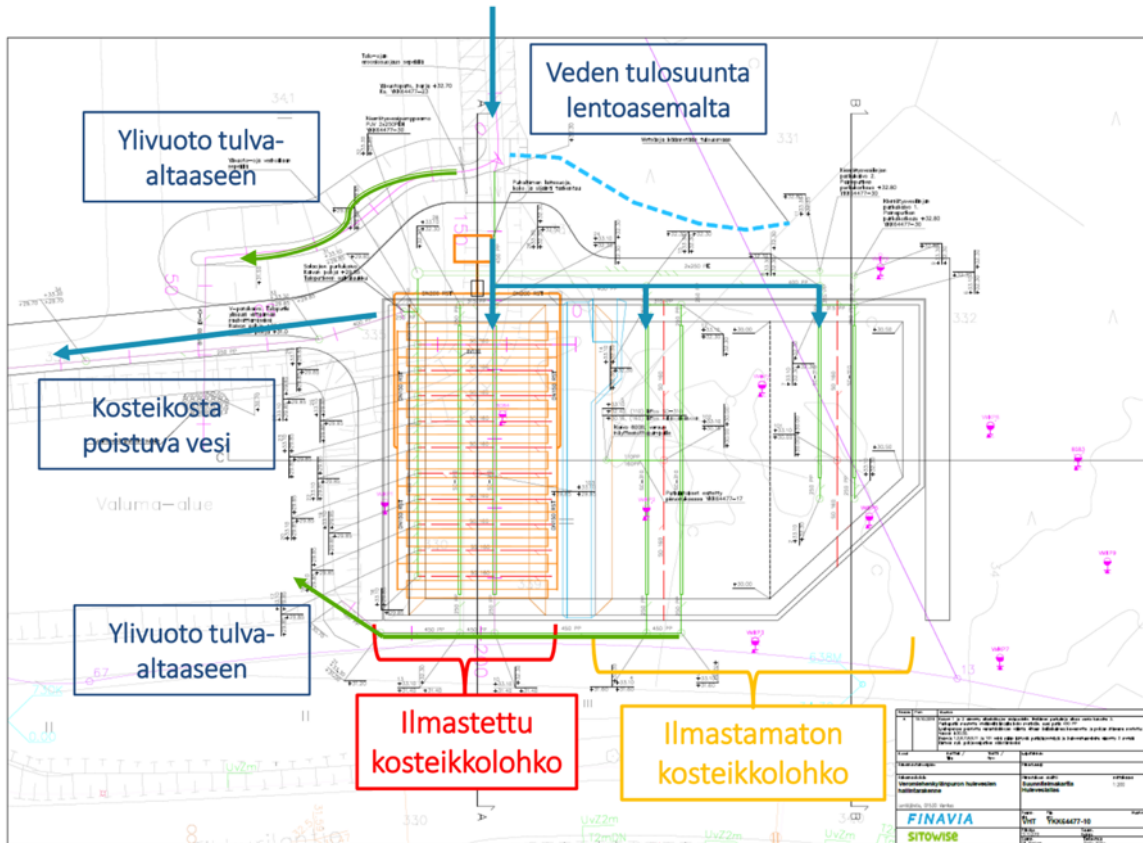
**Liite 2. Veromiehenkylänpuron maanalaisen kosteikon sijainti ja valuma-alue (vihreä)
Finavia, VMKP tarkkailuraportti maaliskuu-elokuu 2023)**



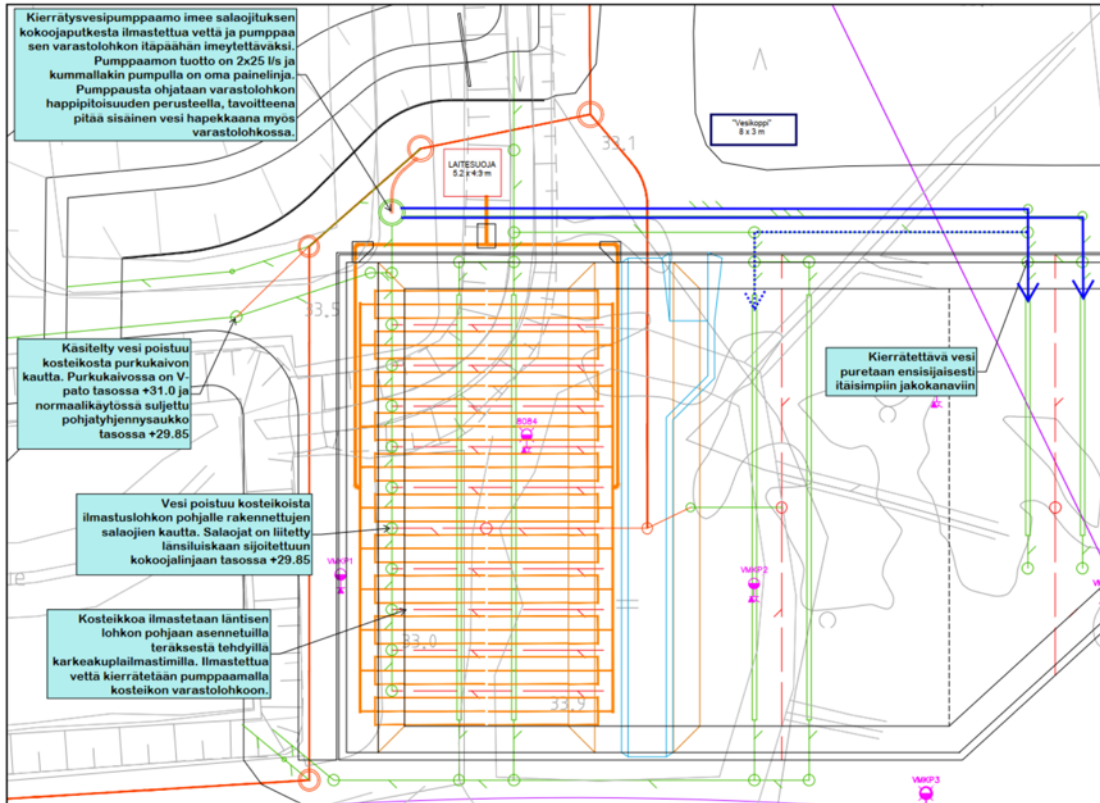
Liite 3. Tarkkailualue



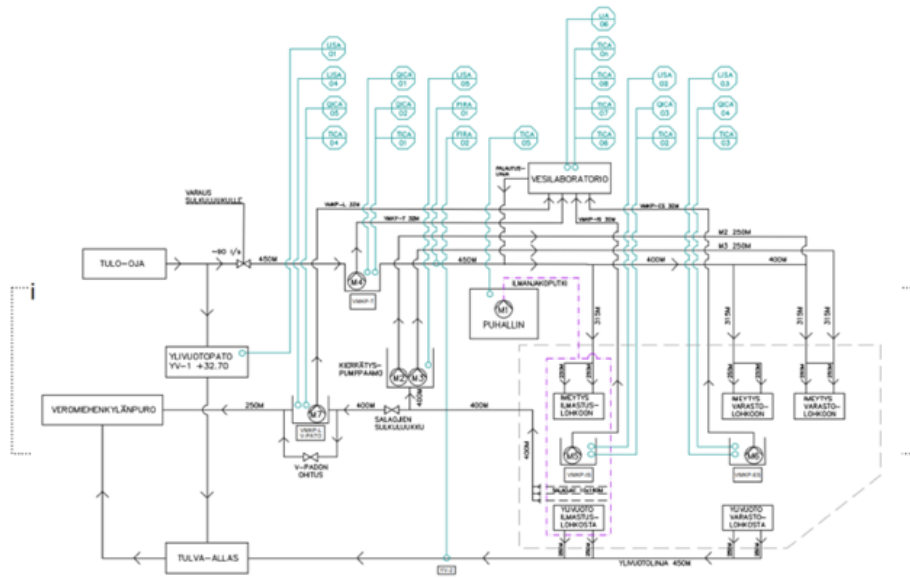
Liite 4. Veromiehenkylänpuron kosteikon lohkorakenne (Sitowise, 2020)



Liite 5. Maanalaisen kosteikon toiminta



Liite 6. Automaatiokaavio (Sitowise)



Liite 7. Aineistonhallintasuunnitelma

Tarkkailuraportit ja niiden tulokset sekä muu Finavian materiaali säilytetään Finavian omilla verkkolevyillä. Haastattelumuistiinpanot on hävitetty silppurilla.