

**Kemikaalivuodon sekä sammutusjätevesien talteen keräämisen
korvaava järjestelmä**



Ammattikorkeakoulututkinto
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)
Kevät, 2023
Harri Sappinen

Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Tiivistelmä

Tekijä Harri Sappinen

Vuosi 2023

Työn nimi Kemikaalivuodon sekä sammutusjätevesien talteen keräämisen korvaava järjestelmä

Ohjaaja Juhani Henttonen HAMK, Pekka Leppänen Satakunnan lennosto

Satakunnan lennostolle tehdyn opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voidaanko lentopetrolivuoto tai säiliön palotilanteessa muodostuvat paloyhdisteet kerätä talteen muulla kuin nykyisin käytössä olevilla patoamisjärjestelyillä.

Vaihtoehtoisena menetelmänä selvitettiin, voidaanko käyttää erottavaa sekä suodattavaa järjestelmää, jolla vaaralliset aineet saadaan pois ennen puhdistettujen sade- ja sammutusjätevesien vesistöön johtamista.

Opinnäytetyössä otettiin huomioon palotapahtumassa osallisena olevat kemikaalit sekä talteen keräämismääriin vaikuttavat sadevedet. Talteen kerättävät sammutusjäte- ja sadevesi virtaamat sekä -määrät arvioitiin ja niiden käsittelyyn tarvittavista laitteisto ja rakenne-eroista muodostuvat kustannusvaikutukset määritettiin.

Suoritetun kyselyn perusteella tarkastelun mukaista järjestelmää ei ole Suomessa aiemmin rakennettu. Opinnäytetyössä laskettujen virtausten suodattaminen vaatisi isoja ja kalliita suodatinratkaisuja.

Opinnäytetyössä saatiin kuitenkin jatkotutkimuskohteita, joilla voisi olla saatavissa taloudellista hyötyä vuoto- ja palotapahtumassa talteen kerättävien vaarallisten aineiden jatkokäsittelyssä.

Avainsanat Vuodot, kemikaalionnettomuudet, vaaralliset aineet, sammutus, suodatus.

Sivut 18 sivua ja liitteitä 9 sivua.

Electrical and automation engineering (BEng)

Abstract

Author Harri Sappinen

Year 2023

Subject A replacement system for the recovery of leaked chemicals and extinguishing wastewater

Supervisors Juhani Henttonen HAMK, Pekka Leppänen Satakunta Air Command

In this thesis, commissioned by Satakunta Air Command, the aim was to determine if there were other means than currently used damming system, to recover the leaked jet fuel and residue compounds formed in extinguishing jet fuel tank fires.

As an alternative, it was examined whether there was separating and filtering system, that could be used to remove hazardous substances before purified rain and extinguishing water is returned into the water system.

This thesis considers the chemicals involved in the event of a fire, as well as the effects of rainwater on the collection volumes. Volumes and flow of extinguishing wastewaters and rainwater to be collected were considered. Equipment for handling the recovery and the cost implications of structural differences were assessed, as well.

Based on the conducted survey, this kind of recovery system has not previously been built in Finland. Flow amounts calculated in this thesis would require large and expensive filter solutions.

Post-study subjects were found, which could provide economic benefits in the treatment of hazardous substances collected during leaks and fires.

Keywords Leaks, chemical accidents, hazardous substances, extinguishing, filtering.

Pages 18 pages and appendices 9 pages.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kemikaaliturvallisuus.....	2
3	Kemikaalit	4
3.1	Lentopetroli.....	4
3.2	Sammutusvaahto	6
4	Palotuotokset	6
5	Talteen kerääminen.....	7
5.1	Vuoto säiliöstä tai tankkauslaitteistosta	8
5.2	Sammutusjätevedet.....	9
5.3	Sadevedenkertymä ja -virtaama	10
5.4	Erottaminen	14
5.5	Suodattaminen.....	15
6	Johtopäätökset	16
	Lähteet.....	18

Kuvat, taulukot ja kaavat

Taulukko 1. Lentopetrolin aineet ja raja-arvot.....	5
Taulukko 2. PAH-yhdisteet ja raja-arvot.....	7
Taulukko 3. Kyselyn vastaukset	8
Taulukko 4. Suurimmat tuntikohtaiset sademäärät vuosina 2012–2022.	10
Taulukko 5. Sademäärien maksimi, keskiarvo sekä todennäköisyys.	11
Taulukko 6. Kolme suurinta sateen intensiteettiä vuosittain.	12
Taulukko 7. Sateen intensiteetin maksimi, keskiarvo sekä todennäköisyys.	13

Kaava 1. Vuodon virtaama.....	9
Kaava 2. Sammutusjäteveden määrittäminen.	9
Kaava 3. Todennäköisyys suurimman sademäärän keskiarvon ylittymiselle.....	11
Kaava 4. Sateenkertymä.	11
Kaava 5. Todennäköisyys suurimman keskiarvo intensiteetin ylittymiselle.	12
Kaava 6. Sadevesivirtaama.	13
Kaava 7. Erottimen mitoitus.	14

Liitteet

Liite 1.	Esimerkkitapauksen kuvaus
Liite 2.	Talteen keräämisen laskennat
Liite 3.	Suodatuskyselypohja
Liite 4.	GeoClean-laskennat
Liite 5.	Aineistonhallintasuunnitelma

1 Johdanto

Lainsäädäntö vaatii nykypäivänä kemikaalien toiminnanharjoittajia vuoto- ja onnettomuustapauksissa huolehtimaan siitä, että tuotantolaitoksen ennakoitavissa olevat vikatapaukset eivät aiheuta vaaraa terveydelle eivätkä ympäristölle (Kemikaalilaki 599/2013).

Nykyvaatimuksien mukaiset allastamalla patoavat keräilyjärjestelmät ovat raskaita, kalliita sekä huollon ja kunnossapidon kannalta vaivalloisia teknisiä järjestelmiä. Opinnäytetyössäni kartoitetaan kemikaalien vuodon sekä sammutusvesien talteen keräämiselle vaihtoehtoisen toimintatavan mahdollisuutta. Työssäni kartoitetaan teknistaloudellisinta riskitarkasteluun perustuvaa keräilyjärjestelmää, jonka toiminnantaso pystytään perustelemaan sekä osoittamaan sen lain vaatimukseen vastaaminen.

Asiakkaana opinnäytetyössäni on Satakunnan lennosto. Pirkkalan ja Lempäälän kunnan rajalla sijaitseva Satakunnan lennosto on toimintaperiaateasiakirjan omaava kemikaalilain tarkoittama laajamittainen kemikaalituotantolaitos. Asiakkaan edustajana on toimintaperiaatteesta vastaava henkilö insinöörimajuri Pekka Leppänen.

Tarkastelu suodatusjärjestelmän mahdollisesti tuomista eduista tehdään laskemalla lentopetrolin vuoto- sekä palonsammuttamistapahtuma 16 m³ lentopetrolin tankkaus-/varastokontista. Periaatekuva esimerkkitapauksesta on liitteessä 1. Opinnäytetyön perusteella asiakkaan on mahdollista arvioida riskitekijöitä ja saavutettuja taloudellisia säästöjä keräysjärjestelmien välillä.

Veteen liuenneiden lentopetrolin ainesosien ja PAH-yhdisteiden osalta tehtiin suodatuskysely, joka lähetettiin internetissä suoritettuna kartoituksen perusteella kahdeksalle yritykselle. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää markkinoilla olevat kaupalliset järjestelmät, jotka kykenisivät erottamaan vuotaneen lentopetrolin sadevedestä sekä poistamaan sammutusjätevedestä siihen mahdollisesti liuenneet vaaralliset kemikaaliyhdisteet.

Kyselyssä haettiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin: Pystytäänkö vaarallisiksi määritetyt aineet suodattamaan? Mikä on järjestelmän mahdollistama maksimivirtaus suodatettavalle vedelle? Mihin suodatustasoon järjestelmä kykenee? Kyselypohja on liitteessä 3. Kyselyn perusteella luodaan asiakkaalle tilannekuva siitä, voidaanko patoavaa allastusta korvata suodatuksella ja minkälaisia suodatustuloksia suodatusjärjestelmillä voidaan saavuttaa.

Opinnäytetyön luvussa 2 on kuvattu laki- ja asetusperusta pilaantuneiden sammutusvesien sekä kemikaalivuotojen talteen keräämiselle. Luvussa 3 on esitelty esimerkkiympäristössä esiintyvät kemikaalit sekä niiden ominaisuuksia. Luvussa 4 esitellään palotapahtumassa muodostuvia yhdisteitä siltä osin, kun niistä asetusten mukaan aiheutuu vaaraa vesieliöstölle. Luvussa 5 käsitellään talteen keräämiseen vaikuttavia seikkoja sekä järjestelmän mitoitukseen vaikuttavia olosuhteita. Lukuun 6 on koottu johtopäätökset. Liitteenä 1 on kuvaus esimerkkitapauksesta, jota on käytetty opinnäytetyössä käytettyjen laskentojen pohjana. Liitteessä 2 on laskettu vaarallisten aineiden talteen keräämiseen liittyviä laskentoja. Liitteessä 3 on yrityksille lähetetty kyselypohja. Liitteessä 4 on laskettu puhdistustekstiilin käyttöön liittyviä laskelmia sekä liitteenä 5 on aineistonhallintasuunnitelma.

2 Kemikaaliturvallisuus

Kemikaalilain yleisenä periaatteena kemikaalien käytössä on se, että toiminnanharjoittaja noudattaa riittävää selvillä oloa, huolellisuutta sekä terveys- ja ympäristöhaittojen ehkäisyä, käytössä olevien kemikaalien määriin ja vaarallisuuteen suhteuttaen. (Kemikaalilaki 599/2013 § 19)

Lain perusteella annetut valtioneuvoston asetukset eivät koske asiakasta, mutta laki antaa puolustusministeriölle mahdollisuuden tarkempiin säädöksiin puolustushallinnon sisällä. Laki määrittää lisäksi valvovan viranomaisen tehtävät suoritettavaksi puolustushallinnon sisäisesti. (Laki 390/2005 § 3)

Toiminnanharjoittajalle on säädetty laissa huolehtimisvelvollisuus, jossa on kemikaalin määrät ja vaarat riittävästi huomioonotettuna noudatettava huolellisuutta ja varovaisuutta

vaarallisen kemikaalin käytössä sen ehkäisemiseksi, ettei omalla toiminnalla aiheuteta henkilöille, ympäristölle tai omaisuudelle vahinkoa. Mikäli huolimattoman tai varomattoman käsittelyn takia aiheutetaan saastumista rakenteille tai ympäristölle, on saastumisen aiheuttajan tai toiminnanharjoittajan huolehdittava puhdistustyöt rakenteille sekä ympäristölle siten, että vaara ympäristölle ja ihmisille poistuu. (Laki 390/2005 § 9)

Onnettomuuksien ehkäisemiseksi on toiminnanharjoittajan suoritettava kaikki toimet, joilla ehkäistään onnettomuuksia sekä rajoitetaan onnettomuuksien seurauksia ympäristölle, omaisuudelle ja terveydelle. (Laki 390/2005 § 10)

Tuotantolaitos on mitoitettava normaalin käytön ja tunnistettujen poikkeustilanteiden varalta niin, ettei tapahdu kemikaalipäästöjä, joiden seurauksena voisi tulla ympäristö-, omaisuus- tai henkilövahinkoja tuotantolaitoksen alueella ja alueen ulkopuolella (Laki 390/2005 § 13). Onnettomuustapauksissa vaaralliset kemikaalit tulee voida tehdä vaarattomaksi tai ne pitää pystyä keräämään talteen vahinkotapauksissa (Laki 390/2005 § 35).

Puolustusministeriön asetuksessa vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä sekä varastoinnin turvallisuusvaatimuksista puolustushallinnossa, määritetään varastoinnin turvallisuusvaatimukset sekä vaarallisten kemikaalien teollinen käsittely maanpuolustuksen kannalta erityissuojattavissa kohteissa. (PLM asetus 712/2017 § 1)

Tuotantolaitoksessa tapahtuvan tulipalon sammutusvesi ei saa pilata vesistöä tai maaperää, eikä vahingoittaa jätevedenpuhdistamon toimintaa. Sammutusveden talteen keräämisjärjestelmän tekeminen on toiminnanharjoittajan velvollisuus, mikäli viemäriin, vesistöön, maaperään tai jätevedenpuhdistamolle voi päästä haitallinen määrä kemikaaleja. Keräysjärjestelmään on mahduttava suurimman säiliön sammuttamisesta muodostuva sammutusvesimäärä. Keräysjärjestelmän tilalla voidaan käyttää järjestelmää, jolla haitalliset aineet erotellaan sammutusvedestä luotettavasti. (PLM asetus 712/2017 § 77)

Valtioneuvoston asetuksen 1022/2006 tarkoitus on vähentää nollaan vesiympäristölle vaaralliset päästöt. Asetus antaa myös pinta ja pohjavesien suojeluun, niiden laadun

ylläpitämiseksi sekä pilaantumisen estämiseksi päästöarvot vesiympäristölle haitallisille aineille. (VNa 1022/2006 § 1)

3 Kemikaalit

Tässä luvussa esitellään kemikaalit valmistajan internet-sivuilta saatujen tuotetietojen sekä kemikaalin turvallisen käyttämisen ja työntekijän asianmukaisen suojautumisen perusteeksi julkaistun käyttöturvallisuustiedotteen pohjalta. Työterveyslaitos on myös julkaissut OVA-turvallisuusohjeita, joissa kerrotaan kemikaalin vaaraominaisuuksia ja suojautumisohjeita. Osasta opinnäytetyössä tarkastelluista PAH-yhdisteistä löytyi tietoja EU:n tuella ILO:n ja WHO:n toimesta tehdyistä ainekohtaisista kemikaalikorteista.

Kemikaalien osalta arvioidaan niiden osallistumista vuoto- ja palotapahtumaan sekä vaikutusta talteen keräämisjärjestelmään. Lentopetrolisäiliön vuoto- tai palotapahtumaan liittyvät kemikaalituotteet ovat polttoaineena käytettävä lentopetroli sekä lentopetrolipalon sammutustoimenpiteiden tehon parantamiseksi kehitetty sammutusvaahto.

3.1 Lentopetroli

Lentokoneiden polttoaineena käytetty lentopetroli on seos, joka koostuu maaöljyistä sekä lisäaineista. Pääasialliseen koostumukseen kuuluu C9-C16 hiilivetyjä. Parafiinien sekä nafteenien määrä on yleisesti yli 70 %, aromaattisten hiilivetyjen määrä on alle 25 % ja alle 5 % sisällöstä on olefiineja. Lentopetroli omaa voimakkaan bensiinimäisen hajun, nesteen väri on kirkas. Voimakkaat hapettimet aiheuttavat reaktion lentopetrolin kanssa. Lentopetroli on palava neste, joka syttyy palamaan lämmön, kipinöiden ja liekkien vaikutuksesta.

Lentopetroli voi muodostaa syttyvän ilmaseoksen haihtuvista höyryistä ollessaan lämmintä. Tulipalossa kuumenevan lentopetrolisäiliön on mahdollista repeytyä. (Työterveyslaitos, 2022)

Leimahduspisteeksi lentopetrolille on ilmoitettu ≥ 38 °C. Myrkyllisyydestä ja biokertyvyydestä johtuen, lentopetrolilla on pitkäaikaisia haittavaikutuksia vesieliöstölle.

Lentopetrolilla on kyky maakerroksen läpäisyyn ja se voi muodostaa pohjaveden pinnalle kalvon. Haittavaikutuksia voi aiheutua pohjasedimentin eliöille. (Neste, 2022)

Taulukossa 1 on lueteltu Valtioneuvoston asetuksen 1022/2006:ssa vesieliöstölle vaarallisiksi määritetyt aineet raja-arvoineen. Taulukkoon on lisätty myös tolueeni, joka ei ole asetuksen mukainen vaarallinen aine, mutta kemikaalikortin mukaan tolueeni on vaarallista vesiympäristölle. Lentopetrolin käyttöturvallisuustiedote mainitsee lentopetrolin sisältävän vähäisiä määriä myös tolueenia.

Taulukko 1. Lentopetrolin aineet ja raja-arvot.

Lentopetrolin aineet ja niiden raja-arvot			VNa 1022/2006			
Ainesosa	CAS	Vesiliukoisuus +20 °C	Luettelo kohta Toimenpide	Sisämaan pintav. AA-EQS ug/l	muut pintav. MAC-EQS ug/l	Sisämaan pintav. MAC-EQS ug/l
uusiutuvat hiilivedyt	(Reach) 01-2119850115-46	<50 mg/l	E (5) Ei saa päästä			
Kerosiini, rikitön	64742-81-0	<50 mg/l	E (5) Ei saa päästä			
Kerosiini, makeutettu	91770-15-9	<50 mg/l	E (5) Ei saa päästä			
Kerosiini, täsmetämätön	64742-47-8	<50 mg/l	E (5) Ei saa päästä			
naftaleeni	91-20-3	erittäin huono	C1 (22) / C2 (22) tarkkailu 1/kk	2	130	130
bentseeni	71-43-2	1,8 g/l	C1 (4) / C2 (4) tarkkailu1/kk	10	50	50
tolueeni	108-88-3	ei liukene				

AA-EQS= Ympäristölaatu­normissa sallittu vuosittainen keskiarvo
MAC-EQS= Ympäristölaatu­normissa sallittu enimmäispitoisuus

Taulukosta 1 nähdään lentopetrolissa olevien vesistölle vaarallisten aineiden liukoisuus veteen. Liukenevuus on yleisesti ottaen heikko, erittäin huono tai liukenemistä ei tapahdu ollenkaan. Toisaalta asetus määrittää hiilivetyjen osalta, ettei niitä saa päästää vesistöön. Naftaliinin ja bentseenin osalta on määritetty mittauspistekohtainen vuosikeskiarvo (AA-EQS) sekä maksimimäärä (MAC-EQS). Mikäli tuotantolaitoksessa käsitellään taulukossa mainittuja aineita ja käsittelystä aiheutuu päästöjä pintavesistöön, asetuksessa määritetään mittausväliksi 1/kk.

3.2 Sammutusvaaho

Sammutusvaahtona tässä opinnäytetyössä tarkastellaan BIOEX-yhtiön ECOPOL A+ sammutusvaahtoa. Valmistajan tuotetietojen mukaan ECOPOL A+ on ympäristö ystävällinen sekä 100 % biohajoava tuote. Sammutusvaaho ei valmistajan ilmoituksen mukaan sisällä fluoriyhdisteitä eikä silikoneja. (BIOEX, 2023)

ECOPOL A+ on sen verran uusi tuote, ettei siitä löytynyt riippumattomia tutkimustuloksia, kuten muista BIOEX-yhtiön tuotteista. Käyttöturvallisuustiedotettakaan ei valmistajan sivustolta löytynyt. Koska tuotteesta ei löytynyt valmistajan ilmoituksesta poikkeavia tietoja, oletan opinnäytetyössäni, ettei sammutusvaahdosta muodostu terveydelle tai ympäristölle vaarallisia yhdisteitä sammutustapahtumassa.

4 Palotuotokset

Palotapahtumassa lentopetrolin hiilivedyt yhtyvät ilman hapen kanssa ja reaktion tapahtuessa täydellisenä palamisena lopputuotteena syntyy hiilidioksidia sekä vettä. Paloa sammutettaessa täydellisen palamisen reaktiota häiritään, jolloin palossa muodostuu hiilimonoksidia, vety-yhdisteitä, aromaattisia ja polysyklisaromaattisia (PAH) yhdisteitä sekä nokea.(Paloposki, 2005, ss. 15-17).

Palotuotoksista PAH-yhdisteet tunnistetaan käyttöturvallisuustiedotteen mukaan syöpävaarallisiksi ja niiden haitallista vaikutusta terveyteen ja ympäristöön halutaan rajoittaa. Taulukossa 2 on lueteltu Valtioneuvoston asetuksessa 1022/2006:ssa vesieliöstölle vaarallisiksi määritetyt PAH-yhdisteet raja-arvoineen.

Taulukko 2. PAH-yhdisteet ja raja-arvot.

PAH-yhdisteet ja niiden raja-arvot			VNa 1022/2006		
Ainesosa	CAS	Vesiliukoisuus +20 °C	Luettelon kohta Toimenpide	muut pintav. MAC-EQS ug/l	Sisämaan pintav. MAC- EQS ug/l
PAH-yhdisteet ⁽²⁾					
bentso(a)-pyreeni	50-32-8	< 1 g/l	C1 (28) / C2 (28) tarkkailu 1/kk	0,27	0,027
bentso(b)- fluoranteeni	205-99-2	ei liukene		0,017	1,017
bentso(k)- fluoranteeni	207-08-9	ei liukene		0,017	0,017
bentso (g,h,i)-peryleeni	191-24-2	ei liukene		0,0082	0,00082
indeno(1,2,3- cd)pyreeni	193-39-5	ei liukene		-	-

MAC-EQS= Ympäristölaatumormissa sallittu enimmäispitoisuus

Taulukosta 2 nähdään, että vain bentso(a)-pyreeni on vesiliukoinen. Muut listan yhdisteet esiintyvät kiinteänä olomuotona esimerkiksi tarttuneena nokihiukkasiin (Paloposki, 2005, s. 32).

PAH-yhdisteiden muodostumisen palotapahtumassa on havaittu olevan toisistaan riippuvainen. Seuraamalla pelkästään bentso(a)-pyreenin määrää voidaan myös PAH-yhdisteiden kokonaismäärää vesistössä valvoa. Asetuksessa määritetään mittausväliksi kerran kuukaudessa, mikäli käsitellään taulukossa mainittuja aineita ja käsittelystä aiheutuu päästöjä pintavesistöön. Taulukon aineille on annettu omat maksimimääränsä (MAC-EQS) mittauspistettä kohti. (VNa 1022/2006)

5 Talteen kerääminen

Talteen keräämisessä on vaatimuksena suurimman säiliötilavuuden mahtuminen keräysjärjestelmään onnettomuuden sattuessa (PLM asetus 712/2017 § 51).

Esimerkkitapauksessa se tarkoittaa vähintään 16 m³ talteen keräämisaltaan tilavuutta.

Tarkastelussa käytetty tilavuudeltaan 16 m³ lentopetrolikontti sijoitetaan yleensä kahden konepaikan väliin, jolloin kahden koneen tankkaaminen on mahdollista ilman koneen siirtämistä tankkauspaikalta erilliselle seisontapaikalle. Tarkastelun laskelmat löytyvät kokonaisuudessaan liitteestä 2.

Talteen keräämisen rajauksina tässä opinnäytetyössä on käytetty Valtioneuvoston asetuksessa 1022/2006 vesiympäristölle vaarallisten aineiden luetteloa. Luettelossa mainittuja aineita joko ei saa päästä tai päästöille on annettu tarkkailurajat. Mikäli talteen keräämisen järjestelyillä saadaan asetuksen mukaiset vaaralliset kemikaalit ja yhdisteet suodatettua pois, voidaan patoavasta allastamisesta luopua ja sitä kautta saavuttaa säästöjä rakentamis- sekä kunnossapitokustannuksissa.

Kahdeksasta kyselyn saaneesta yrityksestä seitsemän vastasi kyselyyn. Kolmella yrityksellä ei ole soveltuvia ratkaisuja lentopetrolin erottamiseen. Kolme yritystä toimittaa erottimia keveiden nesteiden erottamiseen ja yhdellä heistä oli myös ratkaisu liuennon petrolin sekä PAH-yhdisteiden suodattamiseen. Yhdellä yrityksellä on puhdistustekstiiliin perustuva ratkaisu, joka soveltuu sekä lentopetrolin että PAH-yhdisteiden puhdistamiseen. Taulukossa 3 on esitelty kyselyyn saadut vastaukset yrityksittäin. (Suodatus kyselyn sähköpostit, henkilökohtainen tiedonanto, 12.5.2020)

Taulukko 3. Kyselyn vastaukset

Suodatuskyselyn vastaukset	Hiilivedyt (keveät nesteet)			PAH-yhdisteet		Huomioita
	Virtausalue	SFS 858-1 erotinluokka	Jäännös määrä	Virtausalue	Jäännös määrä	
ACO Nordic Oy	NS 1,5 - 300	I ja II	5 mg/l	-	-	Ei tietoa, että olisi testattu liuennon ainesosien osalta.
Alfa Laval Nordic	-	-	-	-	-	Ei soveltuvia ratkaisuja.
Job group Finland						Ei vastausta
Oy Raita Environment Ltd	-	-	-	-	-	Ei soveltuvia ratkaisuja.
Pipelife Finland	10 ⁻² m/s	-	0,4-2 mg/l	10 ⁻² m/s	30-40 %	Biohajoittava puhdistustekstiili
Talokaivo Oy	NS 3 - 40+	I ja II	5 mg/l	-	-	Ei tietoa, että olisi testattu liuennon ainesosien osalta.
Uponor	-	-	-	-	-	Ei soveltuvia ratkaisuja.
Wavin Finland Oy	NS 3 - 200	I ja II	5 mg/l	(1	(1	(1 Aktiivihilikkäsittely määritettävä kohdekohtaisesti

5.1 Vuoto säiliöstä tai tankkauslaitteistosta

Vuotovirtaaman määrittäminen esimerkitapauksessa perustuu tankkausletkun katkeamiseen tai sen kiinnityspisteen murtumiseen, jolloin ympäristöön valuvan lentopetrolin virtaama perustuu käytettyyn putkikokoon. Virtaaman määrän laskemiseen on annettu kaava, joka perustuu Torricellin lakiin. Saman ilmanpaineen vallitessa sekä säilössä että säiliön ulkopuolella voidaan esimerkitapauksessa käyttää pinnankorkeuteen

perustuvaa supistettua kaavaa. Esimerkkitapauksessa ei myöskään huomioida purkausaukon muodosta johtuvia eikä paineen aleneman aiheuttamia häviöitä, koska vuodon virtaama halutaan ylimitoittaa tarkoituksellisesti. Lisättäessä Torricellin supistettuun laskukaavaan tankkausletkun pinta-ala, saadaan lasketuksi vuotovirtaama käyttäen kaavaa 1. (Aalto, 2019, s. 11)

Kaava 1. Vuodon virtaama.

$$Q = A\sqrt{2gh}$$

Vuotovirtaaman kaavasta nestemäärä Q (l/s) saadaan kertomalla letkun pinta-ala A (m²) Torricellin supistetulla kaavalla, jossa lasketaan neliöjuuri kiinteän kertoimen (2), maanvetovoiman g (m/s²) ja nesteen pinnankorkeuden h (m) tulosta. Torricellin kaavalla laskettaessa nesteen virtaama perustuu nestepinnan tasoon. Tämän takia pinnankorkeuden alapintana käytetään putken keskikohdan korkeutta. (Aalto, 2019, s. 11)

Liitteessä 2 olevan laskennan perusteella vuotovirtaamaksi saadaan esimerkkitapauksessa kaavalla 1 laskettuna 10,62 l/s. Vuotovirtaama on esimerkkitapauksen kemikaalivirtaama, jonka erottimen pitää kyetä erottamaan sade- ja sammutusjätevesivirtaamasta ennen niiden johtamista vesistöön.

5.2 Sammutusjätevedet

Sammutuksen aiheuttama sammutusjäteveden määrä voidaan laskea Turvatekniikan keskuksen kemikaalivuotojen ja sammutusvesien hallinnan oppaan kaavalla 2, sammutuskohteen tietojen perusteella. Sammutusjäteveden määrä V (m³) saadaan kertomalla ainekerroin b , ylivirtauskerroin Z , sammutusvesivirta q_f (l/min/m²), toiminta-aika t_f (min) ja palavien kemikaalien määrä A_B (t) keskenään. (TUKES, 2019)

Kaava 2. Sammutusjäteveden määrittäminen.

$$V = 0,001b(1 + Z)qft_fA_B$$

Ainekerrointa 2 käytetään laskennassa leimahduspisteeltään alle 60 °C:n palavilla aineilla, lentopetrolin leimahduspisteen ollessa ≥ 38 °C. Ylivirtauskertoimeksi määrittyy lentopetrolimäärän perusteella 0,67. Sammutusvesivirta 10 l/min/m² sekä toiminta-aika 30 min on valittu paloalueen perusteella. Yksittäisessä palavassa säiliössä ei paloalue kasva erityisen suureksi tankkauspaikan kaatojen sekä hulevesiviemäröinnin takia. (TUKES, 2019)

Liitteessä 2 on sammutustapahtumassa tarvittavan sammutusjäteveden laskenta.

Esimerkkitapauksen osalta sammutusjäteveden määräksi saadaan laskettua 12,83 m³.

Muodostuvan sammutusjäteveden määrä jaettuna sammutukseen kuluvalle toiminta-ajalla saadaan sammutusjätevedelle virtaamaksi 7,13 l/s.

5.3 Sadevedenkertymä ja -virtaama

Talteen keräämiseen liittyy myös vaikeuttavia tekijöitä, kuten esimerkiksi vallitseva säätila palonsammutusajankohtana. Pirkkalan lentoasemalta ei ole kerätty sademäärätietoa ilmatieteenlaitoksen toimesta. Lähin mittausasema, josta sademäärä ja sadeintensiteetti on saatavissa, sijaitsee Härmälässä noin 8 km koilliseen lentokentältä.

Härmälän mittausaseman sadetietojen huippuarvot aikavälillä 2012–2022 on kerätty seuraaviin taulukoihin (Ilmatieteenlaitos, 2023). Taulukossa 4 esitetään vuosittaiset kolme suurinta sademäärää, jotka yhden tunnin aikana on mitattu.

Taulukko 4. Suurimmat tuntikohtaiset sademäärät vuosina 2012–2022.

Sademäärä (mm/h)											
vuosi	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
suurin	14	32,2	9,8	10,3	7,1	8,4	19,4	7,6	10,1	8,1	24,2
2. suurin	9,3	12,2	6,8	8,8	6,8	7,5	8,2	6,6	9,1	7,6	11,2
3. suurin	6,6	10,1	6,2	5,2	5,8	6,3	7,2	5,9	7,7	6,8	8,7

Taulukkoon 5 on laskettu keskimääräinen tuntikohtainen sademäärä kolmelle suurimmalle sademäärälle tarkastelujakson aikana. Lisäksi on laskettu kerrat, jolloin suurimman 13,745 mm/h keskiarvon mukainen sademäärä ylittyy sekä todennäköisyys, jolla keskiarvon mukainen sademäärä ylittyy. Todennäköisyys P keskiarvosademäärän ylittymiselle on

laskettu kaavalla 3 jakamalla keskiarvon ylittävien sademäärien kerrat n_s 11 vuoden tarkastelujakson tuntien määrällä n_t .

Kaava 3. Todennäköisyys suurimman sademäärän keskiarvon ylittymiselle.

$$P = \frac{n_s}{n_t}$$

Taulukko 5. Sademäärien maksimi, keskiarvo sekä todennäköisyys.

Sademäärä (mm/h)				
	Maks.	k.a.	k.a. ylityksiä / kpl	Todennäköisyys / %
suurin	32,2	13,745	4	0,004151
2. suurin	12,2	8,555	0	0
3. suurin	10,1	6,955	0	0

Taulukosta 5 nähdään, että mikäli vuoto- ja sammutusjäteveden patoallas rakennettaisiin mitoitettuna 13,745 mm/h keskimääräiselle sademäärälle, eikä 32 mm/h maksimi sademäärälle, laskennallinen mahdollisuus mitoitusarvon ylittävän sateen tapahtumiselle olisi tällöin 0,042 %.

Sadevedelle tarvittava patoallastilavuus lasketaan kaavalla 4. Kaavassa sadeveden tilavuus V (m^3) saadaan kertomalla valumakerroin C , sateen keskimääräisellä intensiteetillä i (mm/h), pinta-alalla, jolle sade kertyy A (m^2) sekä sateenkestoajalla t (h). (Kuntaliitto, 2012, s. 101)

Kaava 4. Sateenkertymä.

$$V = \frac{CiAt}{1000}$$

Kaavan 4 valumakerroin voidaan tässä tapauksessa määrittää ykköseksi, koska lentokoneen seisontatasot on perinteisesti suunniteltu kaadoiltaan vedet öljynerotuskaivoon kaataviksi. Mitoitusperiaatteena laskelmissa käytettiin 30 min sadetta, kohteen sammuttamiseen menevän toiminta-ajan mukaisesti.

Sateen intensiteetti kertoo hetkellisen sateen määrän. Härmälän mittausasema tallentaa myös sateen intensiteettiä (Ilmatieteenlaitos, 2023). Taulukossa 6 on esitetty suurimmat sateen intensiteetit vuosittain.

Taulukko 6. Kolme suurinta sateen intensiteettiä vuosittain.

Sateen intensiteetti (mm/h)											
vuosi	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
suurin	15,6	60,5	14,2	14,3	16,5	22,3	17,9	12,5	13,7	18	35,2
2. suurin	11	28,2	13,5	12,8	15,5	16,4	14,5	10,3	8,5	12,2	26,5
3. suurin	9,7	26,6	11,3	10,2	8,1	16,3	11	9,8	8,2	7,9	11,6

Taulukon 6 perusteella voidaan määrittää 11 vuoden aikavälillä sateen suurin intensiteetti yhden tunnin aikana. Intensiteetin perusteella pystytään määrittämään maksimi virtaama, jota varten putkisto tulee mitoittaa. Riittävällä mitoituksella varmistetaan, ettei satanut vesi aiheuta tulvimista ja siten muuta pilaantuneiden sammutusvesien ja vuotokemikaalien virtaamia pois patoaltaista tai suodatuspisteistä.

Taulukkoon 7 on laskettu keskimääräinen tuntikohtainen sadeintensiteetti kolmelle suurimmalle sadeintensiteetille tarkastelujakson aikana. Lisäksi on laskettu kerrat, jolloin suurimman keskiarvon mukainen sateen intensiteetti ylittyy sekä todennäköisyys, jolloin suurimman keskiarvon sateen intensiteetti ylittyy. Todennäköisyys P suurimman sadeintensiteetin keskiarvo ylittymiselle on laskettu kaavalla 5 jakamalla keskiarvon ylittävien sadeintensiteettien kerrat n_i tarkastelujakson sadeintensiteetti-tuntien määrällä n_{ti} .

Kaava 5. Todennäköisyys suurimman keskiarvo intensiteetin ylittymiselle.

$$P = \frac{n_i}{n_{ti}}$$

Taulukko 7. Sateen intensiteetin maksimi, keskiarvo sekä todennäköisyys.

Sateen intensiteetti (mm/h)				
	Maks.	k.a.	k.a. ylityksiä / kpl	Todennäköisyys / %
suurin	60,5	21,882	3	0,003113
2. suurin	28,2	15,400	2	0,002076
3. suurin	26,6	11,882	1	0,001038

Taulukosta 7 voidaan nähdä, että suurimman intensiteetin keskiarvolla mitoitettun putkiston siirtokyky on ylittynyt kuusi kertaa tarkastelujakson aikana. Todennäköisyys sateen intensiteetin ylittymiselle tarkastelujaksolla on 0,062 ‰. Mittausvuonna 2013 tapahtui kaikki kolme taulukossa olevaa suurinta sateen maksimi intensiteettiä, neljänneksi suurimman sateen intensiteetti jäi keskiarvon 21,9 mm/h alle. Näin ollen taulukossa näkyy ja todennäköisyyslaskenta ottaa huomioon kaikki suurimman sadeintensiteetin keskiarvon ylittävät sadetunnit.

Hetkellisen sateen määrän perusteella voidaan määrittää sadevesivirtaama.

Sadevesivirtaamalle Q_r (l/s) on olemassa laskentakaava 6. Virtaama pystytään määrittämään tietylle pinta-alalle satavan vesisateen intensiteetistä i (mm/h) kertomalla se pinta-alalla A (m²) sekä valumakerroimella ψ (SFS-EN 858-2:2003, s. 14). Valumakerroin voidaan määrittää ykköseksi, kuten kaavassa 3.

Kaava 6. Sadevesivirtaama.

$$Q_r = \psi i A$$

Liitteen 2 laskennan mukainen patoallatilavuus, joka sadevedelle tarvitaan, on sateen maksimi kertymällä laskettuna 13,08 m³ tai vastaavasti sateen keskiarvokertymällä laskettuna 5,72 m³. Sateen aiheuttama virtaama putkistoon on sateen maksimi intensiteetillä laskettuna 13,62 l/s tai vastaavasti sateen keskiarvo intensiteetillä laskettuna 4,99 l/s.

5.4 Erottaminen

Öljyn varastointi- ja siirtoalueilla hulevesien käsittely ennen niiden laskemista pintaveteen on määritetty suodatustason S-I-P tasoiseksi. Vaadittu S-I-P suodatustaso tarkoittaa lietteenpidättimellä ja näytteenottokaivolla varustettua erotinluokan I erotinjärjestelmää. Erotinluokan I järjestelmä pystyy erottamaan keveitä nesteitä 5 mg/l jäännöspitoisuuteen asti. Vuotavien kemikaalien määrän ollessa suuri, kuten esimerkkitapauksessa, standardi suosittaa tuplaerotusta. Tuplaerotus luodaan lisäämällä erotinluokan I järjestelmään lisäksi erotinluokan II erotin, jonka tehtävänä on erottaa suurimmat määrät keveitä nesteitä ennen erotinluokan I erotinta. Erotinluokan II erotin pystyy erottamaan keveitä nesteitä 100 mg/l jäännöspitoisuuteen asti. (SFS-EN 858-2:2003)

Eroittimilla pystytään erottamaan sade- ja sammutusjätevedestä vuotava lentopetroli. Eroittimen toiminta testataan standardin mukaisella nesteellä, jonka ominaisuudet eivät ole samat kuin lentopetrolin. Eroittimen testausolosuhteet sekä testausnesteen puhtaus ovat tasalaatuisia toisin kuin vaihtelevissa ympäristöolosuhteissa tapahtuva normaali käyttö. Standardin mukaisia testauksia on mahdollista tehdä erottimelle Suomessa. (Suodatus kyselyn sähköpostit, henkilökohtainen tiedonanto, 12.5.2020)

Eroittimen nimelliskoko NS voidaan laskea kaavalla 7. Nimelliskoko perustuu sadeveden maksimivirtaamaan Q_r (l/s) sekä virtauksen haittakertoimen f_x , jolla huomioidaan mahdolliset pesuainejäämät. Lisäksi erottimen mitoitukseen vaikuttaa lentopetrolisäiliön mahdollinen vuotovirtaus Q_s (l/s) sekä nesteen tiheyskerroin f_d . Tässä erimerkkitaapauksessa haittakertoimeksi valitaan 1, koska erottimen käyttötarkoitus on vuodon talteen kerääminen sekä ympäristön suojele. Nesteen tiheyskerroimeksi standardin liitetaulukko antaa kertoimen 1. (SFS-EN 858-2:2003, s. 8)

Kaava 7. Eroittimen mitoitus.

$$NS = (Q_r + f_x Q_s) f_d$$

Liitteen 2 laskelman perusteella erottimen nimelliskooksi valikoituu keskiarvon suuruisella sadevirtaamalla NS15. Vaihtoehtoisesti mikäli hetkellistä veden padotusta putkistoon sekä

valuma-altaisiin ei sallita, valitaan maksimi virtaaman käsittelyn mahdollistama nimelliskoko NS20.

5.5 Suodattaminen

Eroittimella käsittelyn jälkeen sade- ja sammutusjätevedeen liuenneet lentopetroli sekä mahdolliset PAH-yhdisteet pitäisi suodattaa tai neutraloida pois ennen kuin sade- ja sammutusjätevedet voitaisiin laskea ympäröivään vesistöön. Suodatuskyselyn perusteella kahdella yrityksellä oli esittää vaihtoehto liunneen petrolin sekä PAH-yhdisteiden suodatukselle. Toinen niistä perustui aktiivihilisuodatukseseen ja toinen puhdistustekstiilin käyttöön. (Suodatus kyselyn sähköpostit, henkilökohtainen tiedonanto, 12.5.2020)

Suodattimessa sen läpi johdetusta nesteestä kerätään vaaralliset aineet talteen suodattimeen. Suodatin niin sanotusti ”kyllästyy” kun sen kyky kerätä talteen vaarallisia aineita loppuu. Tällöin suodatin tulee joko puhdistaa tai vaihtaa, riippuen siitä onko se uudelleen käytettävää vai kertakäyttöistä tyyppiä. Suodattimen ominaisuuksiin kuuluu läpimenevän nesteen virtaaman hidastuminen, jonka vuoksi esimerkkitapauksessa tarvittaisiin suodattimeen suuri pinta-ala. Tämä nostaa suodatusjärjestelmän kustannuksia. (Suodatus kyselyyn liittyvät puhelinsoitot, henkilökohtainen tiedonanto, 19.5.2020)

Kustannusten suuruuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi rakentamalla suodatusjärjestelmä pienemmälle virtaukselle ja keräämällä patoaltaaseen vuoto- ja sammutusajankohdan aikana valuvat nesteet. Suodatus tapahtuu tällöin hitaammin kuin vaarallisten aineiden kerääminen, mutta vaarallisten aineiden loppukäsittelyyn menevän nesteen määrä on pienempi, kun suurin osa sade- ja sammutusvedestä voidaan johtaa vesistöön puhdistuksen jälkeen. (Suodatus kyselyyn liittyvät puhelinsoitot, henkilökohtainen tiedonanto, 19.5.2020)

Puhdistustekstiilin ominaisuuksien laskemisessa löydettiin vahvuuksia sekä heikkouksia. Puhdistustekstiili kykenee esimerkkitapauksen virtausmäärien käsittelyyn tehokkaasti, mutta vuototapauksien osalta sen öljyinsidontakapasiteetti aiheuttaa tarpeen suurelle suodatus pinta-alalle. Biohajottamiseen perustuva puhdistustekstiili puhdistaa itsensä osana

hiilivetyjen ja PAH-yhdisteiden biologista hajottamista. (Suodatus kyselyn sähköpostit, henkilökohtainen tiedonanto, 12.5.2020)

6 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä törmättiin perinteiseen ison organisaation ongelmaan. Opinnäytetyölle haettiin tutkimuslupaa, jolloin osana opinnäytetyötä olisi voitu tehdä opinnäytetyösuunnitelman mukaisesti asiakkaan olemassa olevaan infraan liittyviä laskelmia tarkoilla luvuilla erillisenä turvaluokiteltuna dokumentteina. Tutkimusluvan käsittely eri hallintoportilla kesti kuitenkin opinnäytetyön suoritusaikatauluun nähden liian kauan. Tutkimusluvan viivästyminen takia opinnäytetyösuunnitelman mukaisia asiakaslähtöisiä laskelmia ei tehty.

ECOPOL A+ on niin uusi tuote, ettei siitä löytynyt riippumatonta tutkimusta kuten valmistajan vanhemmista sammutusvaahdotuotteista oli saatavilla. Jatkotutkimuskohteena ECOPOL A+ ainesosien tutkimus sekä palotapahtuman sammuttamisessa muodostuvien haitallisten yhdisteiden määrittäminen toisivat talteen keräämisen tarpeellisuuden määrittämiseen tärkeitä tietoja.

Kolmelta kyselyyn vastanneelta yritykseltä löytyi erotin, joka soveltuu esimerkkitapauksen virtausmäärille. Kuitenkaan yhtään suodatusjärjestelmää näin suurille virtaus- ja lentopetrolimäärille ei ole yritysten toimesta tehty Suomessa.

Standardi SFS 858-1 on vuodelta 2005 sekä SFS858-2 vuodelta 2003. Asetus puolestaan on muuttunut useita kertoja aikavälillä 2009–2015, viimeisten muutosten astuessa voimaan viimeistään 2018. Ympäristölle vaarallisten aineiden listaus sekä sallitut suurimmat jäämä määrät ovat muuttuneet, standardin ollessa kuitenkin vielä vuoden 2005 vaatimusten tasolla. Mikäli asetuksen mukaisiin jäämä määriin pyritään, tulee talteen keräämisjärjestelmien hinta kasvamaan merkittävästi.

Toisena jatkotutkimuskohteena ennen erotus- ja suodatusjärjestelmien käyttöönottoa tulee testata erottimen ja suodattimen soveltuvuutta lentopetrolin ja PAH-yhdisteiden talteen

keräämisen sekä todentaa saavutettu virtausnopeus ja suodatustaso käytössä olevilla nesteillä sekä palossa muodostuvilla PAH-yhdisteillä. Lisäksi suodattamisella saavutetut kustannussäästöt pitää vertailla suodatusjärjestelmän rakentamiskustannuksiin.

Todennäköisesti lentopetroli kevyempänä nesteenä, kuin standardin testausneste, saataisiin erotettua erottimella. Standardin mukaisen testin tekeminen lentopetrolia käyttäen, tuo esille todellisen öljyjäämän määrän erottimen jälkeen. Hiilivetyjen osalta asetus määrittää, ettei niitä saa päästää vesistöön, joten erottimen jälkeen suodatuksessa pitää öljyjäämäkyetä keräämään talteen tai neutraloida ennen sade- ja sammutusjätevesien johtamista vesistöön.

Laskentojen perusteella sammutusjäteveden määrä lähes kaksinkertaistaa talteen kerättävän nesteen määrän verrattuna säiliövuodon talteen keräämiseen. Sadeveden kertymä palotapahtuman aikana on melkein yhtä suuri kuin säiliövuodon määrä. Mikäli sade- ja sammutusjätevesi kyetään keräämään puhtaaksi vaarallisista aineista, saadaan esimerkkitapauksessa patoaltaan kokoa pienennettyä 1/3 verrattuna siitä, että sade- ja sammutusjätevesikin padottaisiin talteen. Patoaltaan pieneneminen toisi osaltaan selkeitä säästöjä infran rakentamiseen. Puhdistustekstiilin käyttämisellä ei patoaltaan suhteen saavutettaisi säästöjä, koska erotinluokan I erottimen jälkeenkin öljyjäämän sitomiseen tarvittavan suodatusaltaan pinta-ala kasvaisi patoaltaan kokoluokkaan.

Opinnäytetyössä haettiin asiakkaalle mahdollisuutta arvioida saatujen tulosten perusteella talteen keräämisvaihtoehdon kustannuksia, niihin liittyviä riskejä sekä asetuksen määrittämän talteen keräämisen vaatimusten täyttymistä. Saatujen kyselyvastausten perusteella ei tällaista arviota voida tehdä. Tässä luvussa esitettyjen jatkotutkimusten jälkeen voitaisiin vasta arvioida päästäänkö erottimella ja suodatusjärjestelmällä asetuksessa asetettuihin vaatimuksiin sekä olisiko se taloudellisesti kannattavampaa.

Lähteet

Aalto yliopisto. (2019). *Hydrauliikka ja vesirakentaminen*. <https://tinyurl.com/4hcy72ez>

BIOEX. (2023). *ECOPOL A+*. <https://www.bio-ex.com/en/our-products/product/ecopol-plus/>

Ilmatieteenlaitos. (2023). *Havaintojen lataus*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Kemikaalilaki 599/2013. (2022). <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130599>

Kuntaliitto. (2012). *Hulevesiopas*. <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopas>

Laki 390/2005 vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta. (2023). <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050390>

Neste. (2022). Safety Data Sheet Aviation Jet Fuel JET A-1 (JETA1). Haettu 22.3.2023 osoitteesta https://www.neste.fi/static/ktt/10505_eng

Paloposki, T. Tillander, K. Virolainen, K. Nissilä, M. Survo, K. (2005). *Sammutusjätevedet ja ympäristö, WP40*. VTT.

PLM asetus 712/2017 vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista puolustushallinnossa. (2017). <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170712>

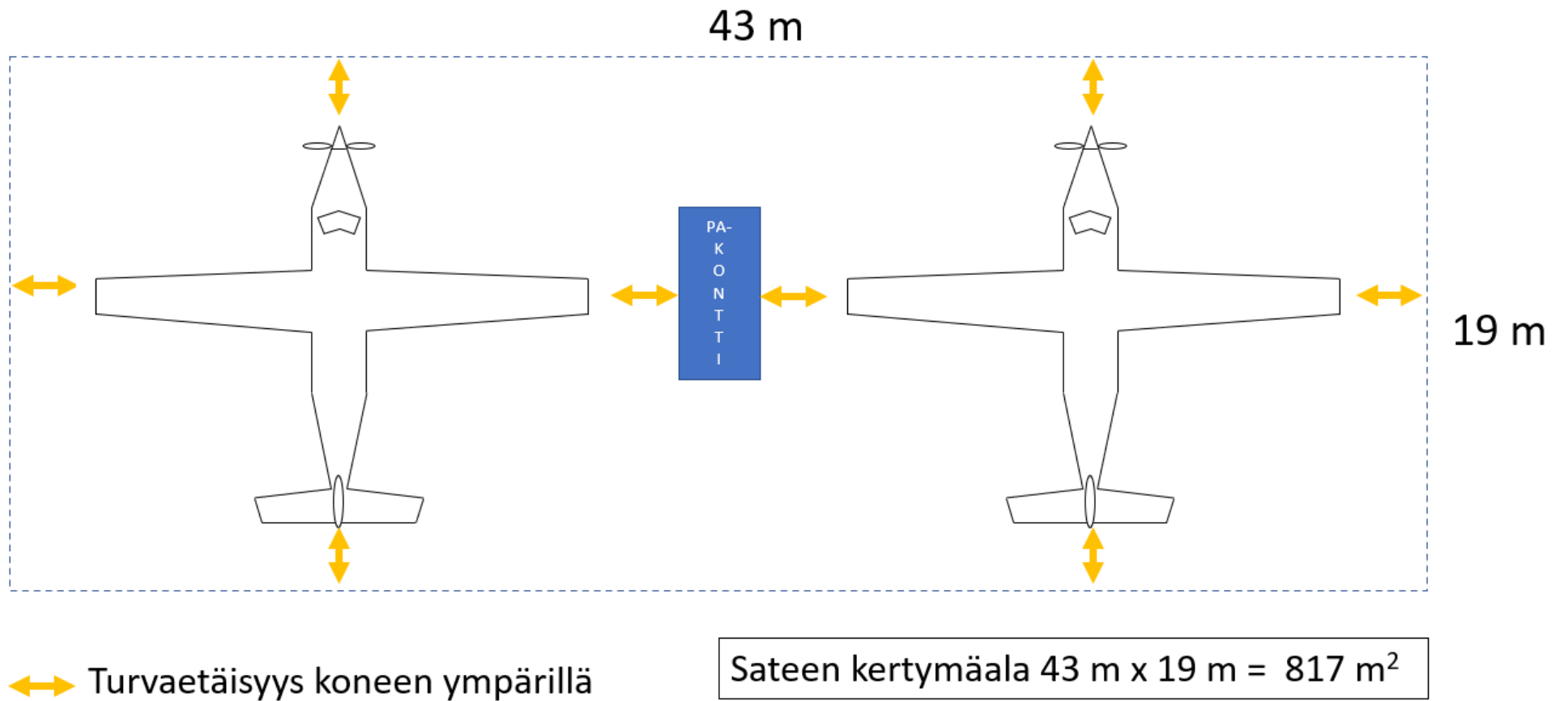
SFS-EN 858-2:2003. (2003). Kevyiden nesteiden (esim. öljy ja bensiini) erotinjärjestelmät, Osa 2: Nimelliskoon valinta, asennus, toiminta ja kunnossapito. SFS online

TUKES. (2019). *Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta opas*. <https://tinyurl.com/2s3et3f2>

Työterveyslaitos. (2022). *OVA-ohjeet*. <https://ova.ttl.fi/lentopetroli>

VNa 1022/2006 vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista. (2016). <https://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/>

Liite 1. Esimerkkitapauksen kuvaus



Liite 2. Talteen keräämisen laskennat

Sademäärät ja -intensiteetit vuosina 2012-2023 lähimmällä mittausasemalla																			
Sademäärä (mm/h)												Sademäärä (mm/h)							
vuosi	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		Maks.	ka.	ka. ylit. kpl.	Todennäk.			
suurin	14	32,2	9,8	10,3	7,1	8,4	19,4	7,6	10,1	8,1	24,2	suurin	32,2	13,75	4	0,00004151			
2. suurin	9,3	12,2	6,8	8,8	6,8	7,5	8,2	6,6	9,1	7,6	11,2	2. suurin	12,2	8,55	0	0,00000000			
3. suurin	6,6	10,1	6,2	5,2	5,8	6,3	7,2	5,9	7,7	6,8	8,7	3. suurin	10,1	6,95	0	0,00000000			
4,1511E-05																			
Sadeintensiteetti (mm/h)												Sadeintensiteetti (mm/h)							
vuosi	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		Maks.	ka.	ka. ylit. kpl.	Todennäk.			
suurin	15,6	60,5	14,2	14,3	16,5	22,3	17,9	12,5	13,7	18	35,2	suurin	60,5	21,88	3	0,00003113			
2. suurin	11	28,2	13,5	12,8	15,5	16,4	14,5	10,3	8,5	12,2	26,5	2. suurin	28,2	15,40	2	0,00002076			
3. suurin	9,7	26,6	11,3	10,2	8,1	16,3	11	9,8	8,2	7,9	11,6	3. suurin	26,6	11,88	1	0,00001038			
6,22665E-05																			
Vuotavan polttoaineen laskennallinen virtaama putkiyhteen murtuessa																			
Vuotavan säiliön virtaaman kaava on																			
$Q = A\sqrt{2gh}$																			
$A = \pi r^2$																			
h=	1,5																		
r=	0,025																		
Suure	Yksikkö	Selite																	
Q	l/s	Virtaama																	
A	m ²	Putkiyhteen pinta-ala																	
g	m/s ²	Putoamiskiihtyvyyys																	
h	m	nestepinnan korkeus putkiyhteen keskikohdasta mitattuna																	
π		Pii																	
r	m	Putkiyhteen säde																	
Q =	A x	$\sqrt{2 \times g \times h}$	x 1000	A =	$\pi \times r^2$														
10,652	0	2	9,81	1,5	1000	0,002	3,14	0,03									Vuotovirtaama	10,65	l/s
Sateen kertymä keskiarvo ja maksimi sateella																			
Sateenkertymä $V = \frac{CiAt}{1000}$																			
ka.	max.																		
i=	14		32																
A=	817																		
t=	0,5																		
Suure	Yksikkö	Selite																	
V	m ³	Sataneen sadeveden tilavuus																	
C		Valumakerroin																	
i	mm/h	Sateen intensiteetti																	
A	m ²	Valuma-alueen pinta-ala																	
t	h	Sadeaika																	
V =	(C x	i x	A x	t) /	1000	A =	pit x	lev											
ka.	5,719	1	14	817	0,5	1000	817	43	19								Sateenkertymä ka.	5,72	m ³
max.	13,072	1	32	817	0,5	1000									Sateenkertymä max.	13,07	m ³		
Todennäköisyys tarkastusjaksolla suurimpien sademäärien keskiarvon ylittävään sademäärään																			
Todennäköisyyden kaava $P = \frac{n_s}{n_t}$																			
Suure	Yksikkö	Selite																	
P	%	Todennäköisyys tapahtumalle																	
n _s	kpl	Suurimpien sademäärien keskiarvon ylittävien sademäärät																	
n _t	kpl	Tuntienmäärä tarkastelujaksossa																	
n _s =	4																		
n _t =	96360																		
P =	n _s /	n _t * 100 %																	
0,00415	4	96360	100	n _t =	h/vrk *	vrk/v * v													
				96360	24	365	11										Todennäköisyys tapahtumalle on	0,0042	%

Sateen aiheuttama virtaama sateen keskiarvo ja maksimi intensiteetillä

Sateenvirtaama $Q_r = \psi i A$

Suure	Yksikkö	Selite
Q_r	l/s	Virtaama
ψ		Valumakerroin
i	mm/h	Sateen intensiteetti
A	m ²	Valuma-alueen pinta-ala
k	s/h	Sekunttien määrä tunnissa

	ka.	max.
i	22	60
A	817	
k	3600	

	$Q_r = (\psi \times i \times A) / k$	$A = \text{pit} \times \text{lev}$	
ka.	4,993	817	817 43 19 Sateenvirtaama ka. 4,99 l/s
max.	13,617	817	Sateenvirtaama max. 13,62 l/s

Todennäköisyys tarkastusjaksolla suurimpien sademäärien keskiarvon ylittävään sademäärään

Todennäköisyyden kaava $P = \frac{n_i}{n_{ti}}$

Suure	Yksikkö	Selite
P	%	Todennäköisyys tapahtumalle
n_i	kpl	Suurimpien sadeintensiteetien keskiarvon ylittävien sadekerrat
n_{ti}	kpl	Tuntienmäärä tarkastelujaksossa

n_i	6
n_{ti}	96360

$P = \frac{n_i}{n_{ti}} \times 100 \%$	$n_{ti} = \frac{h}{v_{rk}} \times v_{rk} \times v$
0,006227	96360
6	24
96360	365
100	11

Todennäköisyys tapahtumalle on 0,0062 %

Sammutusjätevesi laskenta

Sammutusjäteveden kaava on $V = 0,001b(1 + Z)qf t_f A_B$

Kemikaalimäärän laskukaava on $A_s = V_s \rho$

Lähtöarvot

b	2
Z	0,67
qf	9
t_f	90
V_s	16
ρ	0,8

Suure	yksikkö	Selite
V	m ³	sammutusjäteveden määrä
b		ainekerroin
Z		ylivirtauskerroin
qf	l/min/m ²	sammutusvesivirta
t_f	min	toiminta-aika
A_B	t	paloalue (m ²) tai kemikaalimäärä (t)
V_s	m ³	lentopetrolisäiliön tilavuus
ρ	kg/l	lentopetrolin suhteellinen tiheys

$V = b \times (1+Z) \times qf \times t_f \times A_B \times 0,001$
12,826
2
1,67
10
30
13
0,001

$A_B = \frac{V_s}{\rho}$
13
16
0,8

Sammutusjäteveden määrä on 12,83 m³

Virtaamat ja tilavuudet yhteenlaskettuna

Vuotavan polttoaineen virtaama	Sadeveden virtaama	Sammutusjäteveden virtaama	Virtaama yhteensä
ka. 10,652 l/s	+ 4,993 l/s	+ 7,125 l/s	= 22,77 l/s
max. 10,652 l/s	+ 13,617 l/s	+ 7,125 l/s	= 31,39 l/s

Vuotavan polttoaineen tilavuus	Sadeveden tilavuus	Sammutusjäteveden tilavuus	Tilavuus yhteensä
ka. 16 m ³	+ 5,719 m ³	+ 12,826 m ³	= 34,54 m ³
max. 16 m ³	+ 13,072 m ³	+ 12,826 m ³	= 41,90 m ³

Eroittimen mitoitus

Eroittimen mitoituksen kaava on $NS = (Q_r + f_x Q_s) f_d$

	ka.	max.
Q_r	4,99	13,62
Q_s	7,125333	7,125
f_d	1	1
f_x	1	1

Suure	Yksikkö	Selite
NS		erottimen nimelliskoko
Q_r	l/s	Sadeveden virtaama
Q_s	l/s	Sammutusjäteveden virtaama
f_d		Nesteen tiheyskerroin
f_x		Haittakerroin

	$NS = (Q_r + Q_s \times f_d) \times f_x$
ka.	12,118
max.	20,742
4,992778	7,125333
1	1
1	1

Eroittimen nimelliskoko ka. 12,12 l/s mukaisesti

Eroittimen nimelliskoko max. 20,74 l/s mukaisesti

Liite 3. Suodatus kyselypohja

Viite 1. VNa 1022/2006 vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista

Viite 2. KÄYTTÖTURVALLISUUSTIEDOTE Lentopetroli JET A-1 (JETA1), Neste, 2022

TIETOPYYNTÖ VESIYMPÄRISTÖLLE VAARALLISTEN JA HAITALLISTEN KEMIKAALIYHDISTEIDEN SUODATTAMISESTA

Hei!

Olen Hämeen ammattikorkeakoulun (HAMK) sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelmaa käyvä insinööriopiskelija. Teen opinnäytetyötä Satakunnan lennostolle lentopetrolin vuoto- ja palotapahtumassa muodostuvien terveydelle- ja ympäristölle vaarallisten kemikaalien talteen keräämisestä.

Pyydän tietoa edustamienne suodatusjärjestelmien kyvystä suodattaa taulukossa 1. mainittuja, viitteen 2. mukaisen aineen ainesosia, jotka ovat viitteen 1. mukaan vaarallisiksi tai haitallisiksi määritettyjä. Suodatustarve esiintyy sekä vuototapauksessa pelkkinä JET-A1 - ainesosina, että tulipalo tapauksissa saastuneiden sammutusvesien PAH-yhdisteinä. Lisäksi pyydetään tietoa eri aineiden osalta saavutettavasta suodatustehosta.

Opinnäytetyössäni tehdään esimerkkilaskenta 16 m³ lentopetrolisäiliölle tapahtuvasta onnettomuudesta, mutta myös isommille varastokohteille tarkoitetut suodatusratkaisut voi lisätä luetteloon.

Mikäli suodatinjärjestelmästä on esitteitä tai malli-/tyyppiratkaisuja ne pyydetään liittämään vastaukseen omina liitteinään. Mikäli jotain suodatusratkaisua ei saa käsitellä osana julkista opinnäytetyötä, pyydän ilmoittamaan asiasta vastauksen mukana.

Opinnäytetyösuunnitelman mukaisesti opinnäytetyön taustamateriaali, mukaan lukien vastauksenne, hävitetään yhden vuoden kuluttua opinnäytetyön valmistumisesta.

Taulukko 1. Vaaralliset tai haitalliset ainesosat, joita halutaan suodattaa.

Suodatuskysely				
Tuote	Ainesosa	CAS	Reach	Vesiliukoisuus +20 °C
JET A1	uusiutuvat hiilivedyt	-	01-2119850115-46	<50 mg/l
	Kerosiini, rikitön	64742-81-0		<50 mg/l
	Kerosiini, makeutettu	91770-15-9		<50 mg/l
	Kerosiini, täsmentämätön	64742-47-8		<50 mg/l
	naftaleeni	91-20-3		erittäin huono
	tolueeni	108-88-3		ei liukene
	bentseeni	71-43-2		1,8 g/l
PAH-	bentso(a)-pyreeni	50-32-8		< 1 g/l
yhdisteet	bentso(b)- fluoranteeni	205-99-2		ei liukene
	bentso(k)- fluoranteeni	207-08-9		ei liukene
	bentso (g,h,i)-peryleeni	191-24-2		ei liukene
	indeno(1,2,3- cd)pyreeni	193-39-5		ei liukene

Vesiliukoisuus -tiedot kerätty osoitteesta https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listcards3?p_lang=fi

Opinnäytetyön kannalta tärkeitä tietoja suodatusjärjestelmästäne on:

- Pystytäänkö ainesosaa suodattamaan? (mukaan lukien sade-/sammutusveteen liuenneet ainesosat)
- Mikä on suodatintyyppi/ tuotenro?
- Millaisiin virtausmääriin suodatusjärjestelmä kykenee?
- Mihin erotinluokkaan suodatin standardin SFS 858-1 mukaisesti kuuluu tai mikäli suodattimen erotuskyky selkeästi poikkeaa standardin mukaisesta, niin mihin suodatustasoon suodatin kykenee?

Liite 4. GeoClean laskennat

GeoClean puhdistustekstiili				Suure	Tunnus	yksikkö 1	yksikkö 2
	1	2		Sammutusveden virtaama	Q_r	l/s (k.a.)	l/s (max.)
Q_r	4,993	13,617		Sadeveden virtaama	Q_s	l/s (k.a.)	l/s (max.)
Q_s	7,125	7,125		Erottimen jäämä määrä	j	mg/l	ml/l
j	5	6,25		Palotilanteen kesto	t	min	s
t	30	1800		Öljyn määrä	V_0	l	
	Origin	Crystal	Pure	Öljynsidonta kyky	s	l/m ²	
s	0,2	0,3	0,4	tupla rakenne kangas	s_2	l/m ²	
s_2	0,5	1	2	Biohajoitusnopeus	b	ml/m ² /vuosi	
b	120	120	120	Vedenläpäisykyky	k	mm/s	
k	10	10	10	Suodatin kankaan pinta-ala	A_v	m ²	
				Suodatin kankaan pinta-ala	A_0	m ²	

Puhdistustekstiilille tuleva lentopetroli määrä on erottimen jäämä määrää kerrottuna sen läpivirtaavalla nestemäärällä

Kaava öljyn jäämä määrälle on

$$V_0 = j \times (Q_r + Q_s) \times t \times 0,001$$

max.	$V_0 =$	$j *$	$(Q_r +$	$Q_s) \times$	t	x (l/ml)
	233,35	6,25	13,617	7,125	1800	0,001

k.a.	$V_0 =$	$j *$	$(Q_r +$	$Q_s) \times$	t	x (l/ml)
	136,33	6,25	4,993	7,125	1800	0,001

Suodatinkankaalle tuleva lentopetroli määrä on k.a. laskettuna 136,329 l

Suodatinkankaalle tuleva lentopetroli määrä on max. laskettuna 233,348 l

Virtaaman käsittelyyn tarvittavan suodatinkankaan pinta-ala on tulovirtaus jaettuna vedenläpäisykyvyllä

Kaava pinta-alalle on

$$A_v = (Q_r + Q_s) \div k$$

max.	$A_v =$	$(Q_r +$	$Q_s) /$	k	KIWA GmbH testi tuloksia
	2,07	13,617	7,125	10	(k=31) (k=76)
					0,66909677 0,272921

k.a.	$A_v =$	$(Q_r +$	$Q_s) /$	k	(k=31) (k=76)
	1,21	4,993	7,125	10	0,39090681 0,159449

Tarvittava suodatinkangas pinta-ala on k.a. laskettuna 1,21 m²

Tarvittava suodatinkangas pinta-ala on max. laskettuna 2,07 m²

Lentopetrolin sitomiseen tarvittava suodatinkankaan pinta-ala on öljymäärä jaettuna kankaan öljynsitomiskyvyllä

Kaava pinta-alalle on

$$A_5 = V_5 \div s$$

Yksinkertaisella kangaskerroksella

	Origin	Crystal	Pure
	Aö	Aö	Aö
max.	1166,74	777,83	583,37
k.a.	681,64	454,43	340,82

Kaksinkertaisella kangaskerroksella

	Origin	Crystal	Pure
	Aö	Aö	Aö
max.	466,70	233,35	116,67
k.a.	272,66	136,33	68,16

Tarvittava suodatinkangas pinta-ala on k.a. laskettuna 68 - 681 m²

Tarvittava suodatinkangas pinta-ala on max. laskettuna 116 - 1166 m²

Tarkoittaa allastusalueena seuraavaa neliön muotoista aluetta (lev. x pit. (m))

	Origin	2x Origin	Crystal	2x Crystal	Pure	2x Pure
Max.	34,16	21,60	27,89	15,28	24,15	10,80
k.a.	26,11	16,51	21,32	11,68	18,46	8,26

Tilavuus pinnan korkeuden mukaan tupla kankaalla

kork. (m)	2x Origin		2x Crystal		2x Pure	
	Max	k.a.	Max	k.a.	Max	k.a.
0,05	23,33	13,63	11,67	6,82	5,83	3,41
0,1	46,67	27,27	23,33	13,63	11,67	6,82
0,15	70,00	40,90	35,00	20,45	17,50	10,22
0,2	93,34	54,53	46,67	27,27	23,33	13,63
0,25	116,67	68,16	58,34	34,08	29,17	17,04
0,3	140,01	81,80	70,00	40,90	35,00	20,45
0,35	163,34	95,43	81,67	47,72	40,84	23,86
0,4	186,68	109,06	93,34	54,53	46,67	27,27
0,45	210,01	122,70	105,01	61,35	52,50	30,67
0,5	233,35	136,33	116,67	68,16	58,34	34,08

Biologinen hajoaminen vuosissa eri neliömäärillä hajoamisnopeuden ollessa

120 ml/m²/vuosi

Biologisen hajoamisajan kaava

$$t = V_5 \div (A_5 \times (b \div 1000))$$

	Origin	2x Origin	Crystal	2x Crystal	Pure	2x Pure
max.	1,67	4,17	2,50	8,33	3,33	16,67
k.a.	1,67	4,17	2,50	8,33	3,33	16,67

Biologiseen puhdistukseen menevä aika on 1,7 - 16,7 vuotta

Liite 5. Aineistonhallintasuunnitelma

1 Tutkimusaineiston tallennus ja säilytys

Opinnäytetyön työ kopiota säilytetään henkilökohtaisella työasemalla. Varmuuskopiointi tapahtuu koulun One Drivessä opinnäytetyöntekijän henkilökohtaiseen pilvitallennustilaan. Tietoturvasta työasemalla huolehditaan Windows-järjestelmän tarjoamalla virus- ja haittaohjelmistojen torjuntaohjelmilla. Tutkimusaineistoa ei siirretä siirrettävillä medioilla esim. USB-tikuilla tai vastaavilla.

Tilaaajan työasemilla tehdään mahdolliset turvallisuusluokitellut, opinnäytetyön perusteella tehdyt osiot. Nämä eivät ole osa opinnäytetyötä, vaan opinnäytetyön periaatteiden soveltamista tilaaajan kohteeseen opinnäytetyön tulosten vaikutusten havainnollistamiseksi sekä päätöksenteon tueksi. Turvaluokitellut osiot säilytetään tilaaajan työasemilla ja palvelimilla tilaaajan tietoturvaohjeistuksen mukaisesti.

Tutkimusaineistoon pääsevät tutustumaan työnohjaajat sekä tilaaajan että koulun puolelta WIHI:n toiminnallisuuksia hyödyntäen. Turvaluokiteltuun tietoaaineistoon tutustuminen on mahdollista vain tilaaajan tiloissa tietoturva vaatimukset täyttäen.

Tutkimusaineisto hävitetään sekä työkappaleiden kuin varmuuskopioiden osalta vuoden kuluttua valmistumisesta. Turvaluokiteltu tietoaaineisto hävitetään tilaaajan ohjeistuksen mukaisesti.

2 Henkilötietojen ja arkaluonteisten tietojen käsittely

Opinnäytetyössä ei käsitellä eikä opinnäytetyötä tehdessä tallenneta henkilötietoja. Mahdolliset turvaluokitellut osiot tehdään ja säilytetään tilaaajan riittävän suojaustason omaavilla työasemilla ja palvelimilla tilaaajan tietoturvaohjeistuksen mukaisesti.

3 Opinnäytetyöaineiston omistajuus

Opinnäytetyön julkisen aineiston ja tulokset omistaa opinnäytetyöntekijä.

Turvaluokitellut aineistot ja tulokset omistaa tilaaja.

Laitetoimittajien laitteistojen tekniset tiedot omistaa laitetoimittaja.

4 Opinnäytetyöaineiston jatkokäyttö työn valmistumisen jälkeen

Opinnäytetyön tekijä säilyttää aineiston tietoturvallisesti vuoden ajan opinnäytetyön hyväksymispäivästä opinnäytetyön tuloksien mahdollista tarkistamista varten. Aineisto hävitetään vuoden kuluttua tietoturvallisesti opinnäytetyön tekijän toimesta.