

Kiertotalouden digitaalinen jakamisalusta

Kiertotalouden digitaalisten työkalujen käyttöönotto

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK), Rakennustekniikka (Kiertotalous ja digitalisaatio)

2021

Ville Uosukainen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Uosukainen, Ville	Julkaisun laji Opinnäytetyö, YAMK Sivumäärä 52	Valmistumisaika 2021
Työn nimi Kiertotalouden digitaalinen jakamisalusta Kiertotalouden digitaalisten työkalujen käyttöönotto		
Tutkinto Insinööri (YAMK)		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Patrik Skogster, lehtori, Rakennustekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Tuomo Joutsenoja, Kiertotalousjohtaja (ins. AMK), Kreate Oy		
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä kuvataan digitaalisen kiertotalousalustan hankintaa ja käyttöönottoa Kreaten kiertotalousprojektilla. Opinnäytetyössä keskitytään kuvaamaan eri osien ajateltuja toimintoja vastaanottopaikoilla sekä niiden käyttöä yleensä. Työssä Hirvihaaran ampumaradan projekti toimii CASE-tapauksena digitaalisten ja uusien työkalujen käyttöönotolle. Työssä kuvataan myös Suomessa tällä hetkellä tapahtuvia laki- ja säädösuudistuksia, jotka ovat toimineet osaltaan digitaalisen alustan ajureina. Prosessien ja osien käsittelyn jälkeen keskitytään jatkokehitysmahdollisuuksiin sekä muihin yrityksen kaavailemiin innovaatioihin sekä niiden mahdollisuuksiin. Kiertotalouskartan osalta sovellukselle mietittiin jatkokehitysmahdollisuuksia vähähiilisyttä sekä vastuullisuutta ajatellen. Raportissa kuvataan lisäksi tässä työssä käytettyjä tutkimusmenetelmiä sekä niiden soveltamista. Työ painottui suurelta osin raportin kirjoittajan omiin empiirisiin kokemuksiin sekä havaintojen analysointiin.</p>		
Asiasanat Infra, kiertotalous, digitalisaatio, vähähiilisyys, vastuullisuus, innovaatiot		

Abstract

Author(s) Uosukainen, Ville	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 52	
Title of Publication Digital distribution in circular economy Introducing new digital tools in circular economy		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the supervising teacher Patrik Skogster, Lecturer, Construction		
Name, title and organization of the client Tuomo Joutsenoja, Circular Economy Vice President B.Sc. (Eng.), Kreate Ltd.		
Abstract <p>This thesis is about developing and purchasing a new digital distribution environment in circular economy in Kreate Ltd. circular economy projects. This thesis describes how ones thought that how different apps and programs were to perform and how the programs and apps were meant to use in different projects. CASE-Hirvihaara acts as a base on pilot project for the new environment or group of different programs and apps. This thesis also describes different changes in Finnish environmental law and acts and how they affected the work behind this thesis. This thesis also describes different processes between this development project and what are future purposes and the next-step development stages with this project and the circular economy map. Carbon neutrality and responsibilities are meant to be connected with the circular economy map expansion. This thesis also describes how different research methods were used in this work and how the results were indicated. Research was mainly about on the researchers own empiric studies and observations.</p>		
Keywords Infrastructure, digitalisation, circular economy, carbon neutrality, responsibility, innovations		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Kiertotalous rakentamisen arvoketjussa.....	3
2.1	Arvoketjut	3
2.1.1	Kiertotalous Kreate Oy:ssä	4
2.2	Laki- ja säädösmuutokset rakentamisen pakottajina ja ajureina.....	4
2.2.1	Maankäyttö- ja rakennuslain uudistus.....	4
2.2.2	Jätelainsäädännön muutokset	5
2.2.3	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa ns. MARA-asetus	6
2.2.4	Betonin End-of-Waste.....	6
2.2.5	Vähähiilisyys ohjaamaan rakentamista	7
3	Rakentamisen digitalisaatio	10
3.1	Tietomallit	10
3.1.1	Infran digitalisaation työkaluja.....	10
3.1.2	Infran digitalisaation hyödyntäminen.....	11
3.2	Kiertotalouden mahdollisuuksia	12
3.2.1	Muut toimijat ja alan innovaatiot.....	13
4	Kreaten kiertotalousalusta – koonti ja käyttö.....	15
4.1	Kiertotalouden tarve digitaalisille työkaluille	15
4.1.1	Tarveselvitys ja toimijoiden kartoitus.....	15
4.1.2	Tutkimusmenetelmien valinta opinnäytetyötä varten.....	15
4.1.3	Konstruktiivinen tutkimus	16
4.1.4	Toimintatutkimus	17
5	Kiertotalousalustan osat.....	19
5.1	Kuormien hallinta.....	19
5.1.1	Puomijärjestelmän osat	20
5.1.2	Puomin toiminta.....	20
5.2	Sähköinen siirtoasiakirja	21
5.2.1	Siirtoasiakirjan käyttö.....	22
5.3	Drone – kuvaus ja mallintaminen	22
5.3.1	Drone	22
5.3.2	Aineiston prosessointi ja lennon suunnittelu	24
5.3.3	Lennon suunnittelu	24
5.3.4	Droneaineiston prosessointi ja pistepilven tuottaminen.....	26

5.4	Pilvipalvelu työmaan seurantaan	29
5.4.1	Päänäkymä ja viestintä	30
5.4.2	Pilvipalvelun työkalut	31
5.5	Inframallit - koneohjaus	35
5.5.1	Koneohjausmallien tuottaminen	35
5.5.2	Koneohjaus käytännössä	37
5.6	Laskenta ja vastaanottoaikan hallinta	40
6	Digitaalinen alusta käytössä	41
6.1	Käyttökokemukset tähän mennessä	41
6.1.1	Dronen käyttökokemukset	41
6.1.2	Droneaineston prosessointi	43
6.1.3	Puomijärjestelmä	44
6.1.4	Sähköinen siirtoasiakirja	45
6.1.5	Pilvipalvelu työmaan seurannassa	46
6.1.6	Saavutetut hyödyt	46
7	Yhteenveto	49
	Lähteet	51

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön raportin on tarkoitus kertoa, siitä miten Kreatelle hankittiin eri osista koostuva digitaalinen kiertotalousalusta. Raportti on selostus työn tutkimuksellisesta osuudesta, hankinnoista, käytöstä ja käytettävyydestä sekä kehitysmahdollisuuksista. Opinnäytetyön teko alkoi jo kesäkuussa 2020 toimittajien haastatteluilla.

Ohjelmat otettiin käyttöön yksi osa kerrallaan ja osa hankinnoista oli jo valmiina minun aloitettuani kiertotalousyksikössä kesäkuussa 2020. Jo valmiita hankintoja sekä jo yksikössä olleita hyödynnettäviä työkaluja olivat automaattinen puomijärjestelmä digikuvauksella, olemassa oleva vanha Geolaser GNSS-mittausjärjestelmä sekä 3D-win inframallinnusohjelma. Tässä työssä ei käsitellä 3D-win käyttöä, koska ohjelman käyttö vaatii laajan perehtymisen ja opastuksen aiheeseen sekä ohjelmiston, että inframallinnuksen osalta. Myös yleisten inframallinnusvaatimusten YIV2015 tietämys on suotavaa.

Opinnäytetyön raportti pyrkii myös nostamaan esiin infra-alan kiertotalouden näkökulmia sekä mahdollisuuksia muistakin kuin opinnäytetyön näkökulmasta. Raportissa käsitellään lisäksi digitaalisen kiertotalousalustan pakottavia ajureita, joita ovat olleet jätelain uudistus ja etenkin betonin End-of-Waste-asetuksen valmistelu sekä ohjaavia ajureita, joista voidaan mainita mm. maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistus, joka tähtää digitalisaation edistämiseen yleisesti rakennusalalla sekä kiertotalouden entistä tehokkaampaan hyödyntämiseen. Raportissa käsitellään myös vähähiilistä rakentamista, sen tiekarttaa sekä tulevaisuuden näkökulmia digitalisaation kannalta.

Ensimmäiset raportin kappaleet käsittelevät alan yleistä teoreettista osuutta, kuten rakentamisen arvoketjuja sekä innovaatiotoimintaa. Näissä kohdissa pohditaan myös tulevia lakeja ja säädösmuutoksia sekä osittain niiden vaikutusta kiertotalouteen yksikkömme näkökulmasta.

Opinnäytetyön tietoperustan hankinta on toteutettu tässä työssä tutkimalla alan tulevia asetuksia sekä lukemalla uusimpia julkaisuja koskien kiertotaloutta sekä vähähiilistä rakentamista ja sen tiekarttaa. Molemmat liittyvät osaltaan tuleviin maankäyttö- ja rakennuslain sekä jätelain uudistuksiin. Toinen osa tietoperustaa, joka liittyy ohjelmistojen hankintoihin, on kerätty tarjousneuvotteluissa haastattelujen muodossa.

Oleellinen osa tätä työtä, jonka työmäärää on hankala kuvata raportissa, on ollut ohjelmistojen testaus käytännössä eli työn empiirinen osuus. Työn empiirinen osuus on vaatinut arviolta 30 % tähän työhön käytetystä ajasta kokonaisuudessaan. Kaikki empiirisen vaiheen kohtia ei ole tämän työn lopputuloksen kannalta järkevää kuvata tässä raportissa. Tämä vaatisi tällöin jokaisen saman digitaalisen alustan osan toimittajien vertailun läpikäymisen

sekä eri osien toimintaperiaatteiden kuvaksen. Tämä vaihe on suoritettu osana hankinta-prosessia. Työn määrään ja tämän työn lopputuloksen kannalta en kokenut tätä tarpeelliseksi menettelyksi, vaan keskityn tässä raportissa vain valittujen toimittajien ohjelmistojen menetelmien kuvaamiseen sekä analysointiin. Työn lopussa pohditaan myös projektin aikana ilmaantuneita ongelmia sekä niiden ratkaisuja.

Raportin ei ole tarkoitus toimia käyttöohjeena tai käsikirjan ohjelmille, vaan antaa lukijalle kuva siitä minkälainen projekti on kokonaisuudessaan ollut, kuvata ohjelmien toimintaa pääpiirteittäin sekä niiden hyödyntämistä kiertotaloudessa.

Opinnäytetyön teon ohella tämän työn rinnalle muodostui toinenkin kehitysprojekti, joka on mahdollista liittää tämän työn pääkohteena olleeseen tuotokseen. Kiertotalouskartta on työmaiden ja kiertotalouden tarpeisiin suunniteltu paikkatietoon perustuva sovellus, jolla voidaan suunnitella työmaiden materiaalivirtoja ja tutkia nimenomaan eri vastaanottoaikojen välisiä etäisyyksiä ja kokonaistaloudellisesti edullisimpia kuljetusmatkoja sekä -paikkoja.

Raportin viimeisissä osissa pohditaan alustan käyttömahdollisuuksia sekä kehityspotentiaalia tulevaisuudessa sekä laaditaan yhteenveto kehitysprojektin läpiviennistä kokonaisuutena. Yhteenvedossa arvioin myös omaa suoriutumistani kehitysprojektissa ja arvioin omaa kehittymistäni mahdollisia seuraavia kehitysprojekteja varten.



ETUJA

- Päästöjen, ilmastovaikutusten, jätteiden ja luonnonvarojen käytön minimointi
- Luonnon järjestelmien säilyttäminen
- Kilpailukyvyyn lisääntyminen
- Uusien markkinoiden synnyttäminen
- Mahdollisuuksia työhön
- Sosiaalisia hyötyjä

Kuva 1. SYKE-kiertotalouden etuja (SYKE, Kiertotalous, 2018)

2 Kiertotalous rakentamisen arvoketjussa

2.1 Arvoketjut

Rakennusala on ollut konservatiivinen ja erittäin fragmentoitunut ala, joka ei ole ihanteellinen lähtökohta innovaatiotoiminnan lähtökohdaksi. Rakentaminen on lisäksi projektiluontoista sekä paikkaan sidottua. Tämä aiheuttaa omat haasteensa arvoketjujen syntymiselle ja ekosysteemiajattelulle. Mahdollisiksi ongelmiksi voivat muodostua tiedon kertyminen projektien epäjatkuvuudesta, joka tarkoittaa sitä, että tilaajan sekä toteuttajan organisaatiot ovat harvoin samat eri projektien välillä.

Innovaatio- ja kehittämistoiminnassa suotavaa olisi, että koko arvoketju olisi mahdollisimman yhtenäinen sekä avoin ja luottamukseen perustuva. Läpinäkyvyyttä tulisi painottaa läpi arvoketjun. Arvoketju sisältää kaikki toimijat rakentamisessa viranomaisista loppukäyttäjään saakka. Viranomaisiin kuuluu rakennusvalvonta sekä muut viranomaiset, kuten kiertotalouden projekteissa liittyvät ympäristöviranomaiset. Tilaajiin kuuluu rakennushankkeeseen ryhtyvä sekä mahdolliset palkatut konsultit ja ammattirakennuttajat. Suunnittelijoihin kuuluvat eri alojen suunnittelijat. Rakentaminen koostuu pääurakoitsijasta ja pääurakoitsijan aliurakoitsijoista, mahdollisista sivu-urakoitsijoista ja tilaajan erillishankinnoista. Rakennustuoteteollisuus on osa arvoketjua, osa on mm. rautakauppaa tai elementtitehtaita. Loppukäyttäjisiin kuuluu rakennuksen varsinaiset käyttäjät, jotka voivat olla asunnoissa asuntojen omistajia tai vuokralaisia sekä toimitilarakentamisessa tilan käyttäjiä tai vuokraajia.

Rakentamisen arvoketjussa kiertotalous sijoittuu osaltaan tukitoiminnoiksi muille työmaille antaen kuitenkin arvonlisää arvoketjuun ottamalla ylijäämämaita vastaan sekä toimimaan omana liiketoimintayksikkönään rakentaen omille tilaajilleen esimerkiksi erilaisia kaatopaikkojen pintarakenneurakoita tai maapohjan puhdistuksia.

Ahonen ym. kuvaavatkin rakentamisen arvonlisän muodostumista rakentamisen monimutkaisen arvonluonnin ketjussa. Arvoketjussa synnytetty uusi arvonlisä yhdistyy aikaisempien vaiheiden välituotteisiin (Ahonen ym. 2020, s.106).

Ottaessamme ylijäämämaita vastaan toisilta työmailta, annamme arvonlisää niille ja meillä on mahdollisuus sijoittaa ylijäämämaa suunnittelemiimme vastaanottopaikkoihin tai yrittää saattaa materiaalit vielä kiertoon uusiomateriaaleina. Kumman vain vaihtoehdon valitessamme saamme omaan arvoketjuumme tuotettua arvonlisää tilaajamme suuntaan tai Kreatelle sisäisesti, mikäli maa voidaan hyödyntää uusiomateriaalina. Hyvänä esimerkkinä mainittakoon työmaalta pois kuljetettava turve, joka jatkojalostetaan toisella työmaalla eri multalajikkeiksi. Samaiselta työmaalta tuomme paluukuormina turpeen seulonnasta

ylijäänyttä seulaylitettä, jonka pystymme itse hyödyntämään vallien rakentamisessa kitka-
maana. Ylite on muuten käyttökeltvotonta tavanomaisessa rakentamisessa.

2.1.1 Kiertotalous Kreate Oy:ssä

Kreate yhdistyi vuonna 2015 infrarakentamisen erikoisosaajasta Fin-Seula Oy:stä, insinöö-
ritoimisto Seppo Rantalasta ja Kesälahden maansiirrosta. Yhdistymisen jälkeen Kreate on
kasvanut alan huippuosaajien joukkoon ja kiertotalous ja ympäristö on tullut yhdeksi liike-
toimintaosaksi vuonna 2017. Toimimme niin työmaiden tukitoimintona kuin omana liiketoim-
intayksikkönämme. Omalta osaltamme teemme siis omia projektejamme sekä olemme
perustamassa uusia kiertotalousterminaaleja tukemaan edistämään omaa liiketoimin-
taamme sekä tukemaan yrityksen muita työmaita.

Tämä opinnäytetyö pyrkii edistämään ja kehittämään entisestään kiertotalousyksikön toi-
mintaa. Alustan käyttöönoton jälkeen tutkitaan lisää erilaisia jatkokehitysmahdollisuuksia
sekä uusia sovelluksia kiertotalouteen.

2.2 Laki- ja säädösmuutokset rakentamisen pakottajina ja ajureina

Suomessa on menossa rakentamislainsäädännön uudistus. Osaa digitaalisesta alustasta
ovat ohjanneet lakimuutokset, kuten esimerkiksi jätelain muutokset, jotka ovat vaatimassa
sähköistä siirtoasiakirjaa sekä siirtoasiakirjarekisteriin liittymistä. Lakimuutoksella halutaan
muun muassa parempaa jäljitettävyyttä jätteille sekä kiertotalouden edistämistä ja tehosta-
mista. Maankäytön ja rakennuslain muutosten osalta maankäyttöä halutaan entisestään te-
hostaa ja maankäyttöä sekä kiertotaloutta.

Ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmässä mainitaan myös, että raken-
nuslain uudistuksella on tarkoitus saada vähähiilisyys osaksi rakennusluvan myöntämisen
prosessia vuoden 2025 aikana (Kuittinen, 2019).

2.2.1 Maankäyttö- ja rakennuslain uudistus

Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen yksi taustatekijöistä on saada luotua rakennetun
ympäristön valtakunnallinen digitaalinen rekisteri sekä tietoaalusta. Yhdessä hiilineutraali-
suustavoitteen sekä kiertotalouden edistämisen kanssa ne muodostavat yhdessä kokonai-
suuden, jossa hyödynnetään sekä edistetään rakennusalan digitalisaatiota.

Maankäyttö- ja rakennuslain uudistukset tähtäävät suuremmilta osin edellä mainittujen hii-
lineutraalisuuden sekä kiertotalouden edistämisen lisäksi tehostamaan maankäyttöä mm.
kaavoitusta tehostamalla. Kaavoitusta voidaan tehostaa esimerkiksi ottamalla myös

kaavoitukseen käyttöön digitaalisia alustoja sekä työkaluja. Kaavoituksen apuna voi toimia jo nykyisellään käytössä olevat, eri muodoissa ja kaupungin koon mukaan, kaupunkimallit. Kaupunkimallit on tuotettu pääasiassa droneja ja laserkeilausta apuna käyttäen kokonaisen kaupunkien tai niiden osien tietomalleja. Kaupunkimallit eivät sisällä yhtä tarkkaa sisältöä kuin rakennusprojektikohtaiset tietomallit.

2.2.2 Jätelainsäädännön muutokset

Jätesäädöspaketin luonnoksessa ehdotetaan muutettavaksi mm. jätelakia, ympäristönsuojelulakia sekä kemikaalilakia. Muutoksia on tulossa myös rikkeiden osalta lakeihin, jotka määrittelevät ympäristörikoksia (Jätesäädöspaketti, 2020.)

Jätelain uudistuksessa, oman työn kannalta, merkittävin muutos on sähköiseen siirtoasiakirjaan siirtyminen ja jätteiden siirtoasiakirjarekisteriin liittyminen. Olen päässyt oman työni osalta kommentoimaan myös tulevaa jätteiden siirtoasiakirjarekisteriä sekä näkemään millainen rekisteristä on tulossa. Taustalla siirtoasiakirjarekisterissä on jätedirektiivin muutos, joka edellyttää vaarallisen jätteen seuraamista entistä tarkemmin. (Lehtonen & Kinnunen, 2019)

Alun perin sähköinen siirtoasiakirja ja siirtoasiakirjarekisteri oli tarkoitus ottaa käyttöön tammikuussa 2021, mutta käyttöönotto on siirtynyt myöhemmäksi. Olemme ottaneet Kreatella kiertotalousyksikössä käyttöön oman sähköisen siirtoasiakirjan osana omaa digitaalista kiertotalousalustaa sekä tukemaan tarvittaessa muita työmaitamme, joissa syntyy jätettä. Olen osana opinnäytetyötäni tutustunut eri siirtoasiakirjatoimittajiin ja haastatellut toimittajat sekä tehnyt vertailut eri toimittajien ratkaisusta, kustannuksista ja hyödyistä Kreatelle.

Jussi Kauppilan Ympäristöministeriön powerpoint-esityksessä on kerätty oleellimmat muutokset uudesta tulevasta jätelaista, joita ovat oman työemme kannalta

- Jätelain 1 §:iin kiertotalouden edistämistä koskeva lisäys
- Jätteen luokittelun päättymistä koskevan tapauskohtaisen päätöksenteon selventäminen (JL 5 b §)
- Kierrätystavoitteet ja veloitteet (JL 8 §, jäteasetus ja pakkausasetus)
- Jätteen uudelleenkäytön edistäminen: ammattimaisten toimijoiden varattava uudelleenkäytön valmistelijoille mahdollisuus saada jäte itselleen (JL 11 a §)
- Selvillääolo-, tiedonanto-, kirjanpito- ja raportointivelvollisuuksien merkittävä lisääntyminen ja tarkentuminen (KemL 22a §, JL 117 b-c §, JL 118 – 122 + asetukset)

(Kauppila, J. 2020. 2–3)

2.2.3 Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa ns. MARA-asetus

MARA-asetus määrittelee jätteen hyödyntämisen edellytykset. Määritelmiä ovat mm. rakennuspaikan kelpoisuus. Käyttökelpoiset kohteet on rajattu MARA-asetuksessa erilaisiin kenttä- ja väylärakenteisiin sekä erilaisten teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteisiin. (VNA 843/2017, 3 §).

MARA-asetusta käytetään maarakennusprojekteissa, joilla ei ole ympäristölupaa hyödyntää jätteitä. Asetuksessa määritellään lisäksi reunaehtoja eri rakenteiden kerrospaksuuksille sekä käyttötapoja eri kerrospaksuuksille. Tähän vaikuttaa mm. päällystetäänkö aluetta vai ei. Vallirakenteita ei voida asfaltoida ja kenttärakenteissa tämä mahdollisuus yleensä on. Asetus myös antaa mahdollisuuden jättää esimerkiksi tuhkaseoksesta toteutettu metsätie jätettä sisältävä kerros pintakerrokseksi. Eri jätteitä on myös mahdollista sekoittaa keskenään jäteseokseksi, tällöin on varmistettava kuitenkin erilaisin testeillä ja kokein, että seos täyttää teknisiltä ominaisuuksiltaan sille asetetut raja-arvot rakenteessa. (VNA 843/2017, 4 §).

Esimerkkinä tästä mainittakoon erilaisten teollisten toimijoiden sivuvirtojen hyödyntäminen. Tuhka-soodasakka on etenkin kaatopaikkojen pintarakenteissa käytetty teollisuuden sivuvirtojen jäteseos, jota käytetään tiivistysrakenteena kaatopaikkarakenteissa.

Muita MARA-asetuksessa mainittuja hyödynnettäviä jätteitä ovat betonimurskeen, kevytbetoni- ja kevytsorajätteiden lisäksi kivihiili, turve, erialiset lento- ja pohjatuhkat, liejupeti- hiekka, tiilimurske, asfalttimurske sekä -rouhe, käsitellyt jätteenpolton kuonat, valimohiekat, kalkit sekä kokonaiset renkaat ja rengasrouheet (VNA 843/2017, Liite 1)

2.2.4 Betonin End-of-Waste

Betonin kiertotalousmateriaaleille kuten murskeille ja pulveroidulle materiaalille on tulossa jätteen EoW-status (End-of-Waste). Jättemateriaalin statuksella jätteen hyödyntäminen vaatii ympäristöluvan tai hyödyntäminen tapahtuu rekisteröintimenettelyllä, noudattaen valtioneuvoston asetusta eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa 843/2017. Asetuksesta puhutaan yleisesti MARA-asetuksena. Mikäli materiaalia ei luokitella jätteeksi, voidaan sitä käyttää samalla tavoin kuin ei jätteeksi luokiteltua. Tuotteella on edelleen samat vaatimukset ja tekniset ominaisuudet kuin jätteelläkin sekä valmistaja vastaa edelleen tuotteesta. (Salminen, 2020, 3).

Suomen jätelain mukaan

laissa tarkoitetaan jätteellä ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä. Aine tai esine ei ole jäte, vaan sivutuote, jos se syntyy sellaisessa tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole tämän aineen tai esineen valmistaminen (Jätelaki 646/2011 5 §).

Aineen tai esineen määrittelyyn on lisäksi erilaisia muita ehtoja, joita ovat mm. aineen tai esineen jatkokäytöstä on varmuus, sitä voidaan käyttää sellaisenaan, syntyy tuotantoprosessin osana sekä sen täyttää suunniteltuun käyttöön liittyvät vaatimukset, niin ympäristö kuin terveydensuojelun näkökulmasta eikä aiheuta vaaraa ympäristölle tai ihmisille. (Jätelaki 646/2011, 5 §).

Laissa on kirjattu lisäksi valtioneuvoston voivan antaa tarkennuksia jätelajeittain siitä, milloin aine tai esine lakkaa olemasta jätettä. Tämän edellytyksinä ovat kuitenkin jätteen hyödyntämistoimien läpikäynti, käyttötarkoituksen löytyminen ja yleinen käyttö, käyttäen esimerkkinä betonia maarakentamisessa MARA-asetusta. Jätteelle täytyy myös olla markkinoita tai kysyntää ja sen on täytettävä sille asetetut käyttötarkoituksen mukaiset tekniset vaatimukset ja on oltava vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen. Käyttö ei myöskään saa aiheuttaa vaaraa ympäristölle tai terveydelle.

Opinnäytetyötä kirjoitettaessa, betonimurskeella ei vielä ole EoW-statusta, vaan hyödyntäminen vaatii edelleen ympäristöluvan tai MARA-asetuksen mukaisen rekisteröinti- ja ilmoitusmenettelyn.

Suomessa betonin EoW-asetus on ”ennakkotapaus” ja tämä halutaan pitää edelleen ympäristöluvan varaisena toiminta. Muutoin kuka tahansa purkutoimintaa harjoittava voisi ottaa arviointiperusteet käyttöönsä (Salminen, 2020, 5–6).

Betonin EoW-asetuksen tarkoituksena on edistää kiertotaloutta sekä luoda mallia tuleville kansallisille asetuksille. Betonimurskeiden kohdalla täytyvät mielestäni tällä hetkellä varsin hyvin aiemmin jätelaista kuvaaman ehdot, milloin valtioneuvosto voi antaa asetuksilla jätelajeittain tarkennuksia jätestatuksen päättymisestä.

2.2.5 Vähähiilisyys ohjaamaan rakentamista

Suomen ilmastolain 609/2015 tarkoituksena on vahvistaa puitteet Suomen ilmastopoliitiikan suunnittelulle sekä toteutumisen seurannalle. Päästökauppaissa 8.4.2011/311 määritellään päästökauppaan kuuluvien kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisestä aiheutuvia toimia.

Laki tähtää toimiin kasvihuonekaasujen vähentämiseen kustannustehokkaasti ja taloudellisesti.

Kasvihuonekaasupäästöillä tarkoitetaan hiilidioksidia, metaania, typpioksiduulia, fluorihilivetyä, perfluorivetyä ja rikkiheksafluoridia, sekä luonnollisia sekä muita ilmakehän sekä luonnollisia että ihmisen toiminnan aiheuttamia kaasumaisia ainesosia, jotka ottavat vastaan ja lähettävät edelleen infrapunasäteilyä (päästökauppalaki 8.4.2011 / 311, 6 §).

Ilmastolaissa 609/2015 on viitattu myös päästökauppalakiin, josta nostin esiin edellisen kappaleen suoran lainauksen, jossa määritellään mitä kasvihuonekaasuilla käytännössä tarkoitetaan. Ilmastolaissa on lisäksi määritelty eri aikavälien tavoitteet päästöjen vähentämiseksi. Laissa ei määritellä konkreettisia toimenpiteitä tai tavoitteita muita, kuin vuoteen 2050 mennessä vähentää ihmisen toimesta aiheutuneita kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 80 % vuoden 1990 tasosta (Ilmastolaki 609/2015, 6 §).

Bionova on teettänyt Suomen ympäristöministeriölle selvityksen rakentamisen vähähiilisestä tiekartasta. Selvitys on valmistunut vuonna 2017 ja se käsittelee mahdollisia toimenpiteitä, millä ilmastolain tavoitteeseen voidaan päästä sekä arvioi myös muiden EU-maiden ilmastopoliittisia ratkaisuja sekä niiden soveltuvuutta Suomeen. Esimerkiksi Ranskassa on käynnistetty rakentamisen päästöjä velvoittavan lainsäädännön edeltävä pilotointivaihe. Tiekartan käsittely ajoittuu vuosien 2018 sekä 2024 väliin. Suomessa vähähiilisyys on tarkoitus saada ohjaavaksi toimenpiteeksi rakennuslupiin vuoteen 2025 mennessä. (Bionova, 2017, 29)

Hollannissa oltiin ottamassa Bionovan selvityksen mukaan vuonna 2018 eurooppalaisen EN15804-standardiin perustuvaa ympäristövaikutusten vaikutusluokitusta. Luokituksen perusteella pystyttäisiin arvioimaan haitallinen ympäristövaikutus taloudellisesti suhteutettuna hiilidioksidipäästöjen osalta. Hollannin hallitus pystyisi määrittelemään tätä kautta hyväksyttävät haitalliset ympäristövaikutukset euromääräisesti rakennushankkeille (Bionova, 2017, 30). Lisäksi Hollannissa on materiaalien hiilijalanjäljen laskenta ollut velvoittavaa jo vuodesta 2013 lähtien (Bionova, 2017, 3).

Vertailussa Suomeen käytettiin mm. Ranskaa, Belgiaa, Hollantia, Itävaltaa sekä Sveitsiä. Vertailussa on myös ollut mukana Iso-Britannia, joka on sittemmin eronnut Euroopan Unionista. Maista Ranskassa, Hollannissa ja Belgiassa on käytössä jo rakennusmateriaalien päästöjen normiohjaus. Vapaaehtoisuuteen perustuvaa päästöohjasta oli käytössä vuoden 2017 selvityksen osalta Sveitsissä sekä Itävallassa. (Bionova, 2017, 3)

Selvityksellä on tarkoitus hahmottaa konkreettisia sekä toimivia ratkaisuja, joilla Suomessa päästäisiin ympäristöministeriön mukaiseen rakennusten elinkaaren mukaiseen CO₂-pohjaiseen päästöjen ohjaukseen.

Suomessa Ympäristöministeriö on teettänyt ohjeen, joka on valmistunut vuoden 2019, koskien Rakennusten vähähiilisyys arviointia. Arviointimenetelmissä on otettu huomioon rakennuksen koko elinkaari tuotevaiheesta aina purkuvaiheeseen asti. Rakentamisen elinkaarivaikutukset sekä vähähiilisyys ovat myös osa Suomessa tällä hetkellä käynnissä olevaa maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistusta. Vähähiilisyys arviointimenetelmät perustuvat samoihin harmonisointeihin eurooppalaisiin tuotestandardeihin, kuin Bionovan teettämässä selvityksessäkin on esitetty. (Kuittinen, 2019, 10–11)

3 Rakentamisen digitalisaatio

3.1 Tietomallit

Tietomallit ovat käytössä nykyään yhä useammilla rakennustyömailla. Käytännöt voivat vaihdella onko suunnittelu mallipohjaista vai mallinetaanko projekti suunnittelun edetessä. Tietomallipohjaisen suunnittelun muodostamat hyödyt ovat niin selviä, että suunnittelijat mallintavatkin usein projektin joka tapauksessa. Talonrakentamisessa on käytössä tietomallintamisen osalta yleiset tietomallivaatimukset YTV2012 ja infra-alalla yleiset inframallivaatimukset YIV2015 (Jäväjä & Lehtoviita, 2016, 8).

YTV2012 kuvaa käytettävät tietomallinnuksen toimintatavat, jotka perustuvat avoimeen kanssakäyntiin. Kunkin osapuolen tuottamat mallit annetaan hankkeen eri osapuolien käyttöön yhteisesti sovittujen tiedonsiirtomenetelmien kautta. (Jäväjä, Lehtoviita, 2016, 9)

YTV2012 kuvaamat toimintatavat noudattelevat hyvin innovaatio- ja kehitystoiminnan onnistumisen lähtökohtia, joita ovat KIRA-digihankkeen selvityksen mukaan ekosysteemiajattelu, avoimuus ja läpinäkyvyys, rohkeat yhteistyökokeilut sekä käyttäjäkokemuksen nostamisen asian keskiöön (Lehtinen, 2019, 34).

Talonrakentamisessa suunnitelmien tarve työmaalla on suurempi projektien eri työvaiheiden sekä detaljien tarkkuuden takia, mutta infralla on paremmat mahdollisuudet täysin mallipohjaiseen suunnitteluun. Esimerkkinä mainittakoon pienemmät silta- tai kevyen liikenteen väylät, joissa työvaiheita ei ole montaa ja suunnitelmien detaljien tarve on pienempi kuin talonrakentamisen projekteissa.

Infran digitalisaatio on ottanut suuria harppauksia viime vuosina. Digitalisaation seurauksena on syntynyt uusia sovelluksia, joita on tänä päivänä jo jokapäiväisessä käytössä. Kreatellakin, sekä uusi työnkuva tuotannon tietomallikoordinaattori.

3.1.1 Infran digitalisaation työkaluja

Tärkeimpiä infra-alan digitaalisuuden työkaluja ovat tällä hetkellä tiedon- ja projektinhallintaan ja inframallintamiseen liittyvät työkalut. Suomessa on tällä hetkellä yleisessä käytössä erilaisia pilvipohjaisia palveluita kuten esimerkiksi Infrakit, joka pyrkii helpottamaan tiedonkulkua infraprojekteissa eri osapuolten välillä.

Esimerkkinä infrarakentamisen tietomallikoordinaattorien käyttämästä inframallinnusohjelmasta on Novatronin 3D-win. Erona talonrakennuspuolen tietomallinnukseen on infrarakentamisessa etenkin urakoitsijoiden hyödyntämät koneohjausmallit ja miten mallit tuotetaan sekä mitä tietoa mallit sisältävät. Infrarakentamisessa tietomallikoordinaattorit jaetaan

talonrakentamisen puolelta poiketen erikseen tilaajan sekä tuotannon tietomallikoordinaattoreihin. Tässä kohdassa keskityn tuotannon tietomallikoordinaattorien toimintaan. Tehtäväläistä koostuu rakentamisen aikaisen tiedonhallinnan ja käytettävän järjestelmän ajantasaaisuudesta, määrälaskennasta, mallipohjaisesta laadunvarmistuksesta sekä toteuma- ja tarkemittaustietojen ylläpidosta ja dokumentoinnista, mittausperustan laadinnasta ja ylläpidosta, koneohjauksen toimivuudesta ja mittatarkkuudesta sekä laatii yhdessä työnjohdon kanssa mahdollisen digitaalisen luovutusaineiston (YIV 2019/1, 24).

Kaiken tämän lisäksi tuotannon tietomallikoordinaattori laatii suunnittelijoiden tuottaman aineiston perusteella projektin vaatimat erilaiset taustakartat, pinta- ja maastomallit sekä linja- ja pistemallit.

Uudeksi työkaluksi infrarakentamiseen ovat tekemässä tuloaan myös dronet. Droneilla on tällä hetkellä 2 erilaista käyttötarkoitusta. Droneilla voidaan ottaa yksittäisiä kuvia tai kuvata videoita ylhäältä päin ja nähdä tuleva tai käynnissä oleva rakennustyömaa tai rakennusvaihe eri perspektiivistä kuin maastossa liikuttaessa. Kuvatulla aineistolla on mahdollista tutkia esimerkiksi rakennelman kuntoa korjausrakentamisessa, suunnitella tulevaa työmaan tukikohdan paikkaa tai suunnitella väylä- tai siltahankkeissa mahdollisia liikennejärjestelyjä. Dronea sekä pilvipalveluja yhdessä hyödyntämällä on mahdollista myös välittää työmaatilanteesta ajantasaista kuvaa kaikille projektin osapuolille hyvinkin pienessä ajassa. Kuvatun videon vienti esimerkiksi Infrakitin kautta työmaan muuttuneista liikennejärjestelyistä mainio esimerkki näiden kahden uuden työkalun hyödyntämisestä.

3.1.2 Infran digitalisaation hyödyntäminen

Infran digitalisaation hyödyntämisen tärkeyttä korostaa edellisessä kappaleessa kuvatut tietomallikoordinaattorin tehtävät. Infran tuotannon tietomallikoordinaattori on myös uusi ammattinimike, jonka opiskelua järjestetään Suomessa eri ammattikorkeakouluissa. Kuvaavaa on infran digitalisaation hyödyntämisen tärkeydelle uuden ammattinimikkeen syntyminen. Etenkin laajoilla tie- ja väylähankkeilla koneohjauksen hyödyntämisellä saavutetaan kustannussäästöjä jo mittamiehen tuntien vähentyessä koneohjausta hyödyntämällä. Vuoden 2020 uutisoinneista on nähtävissä jo digitalisaation suuria hyötyjä, kuten Mt132 Klaukkalan ohikulkutie sekä Lahden eteläisen kehätien valmistuminen etuajassa samalla alittaen alkuperäinen budjetti. Yhteistä näille suurille väyläprojekteille oli esimerkkinä juuri kiertotalouden hyödyntäminen sekä uusimpien digitaalisten työkalujen käyttö.

3.2 Kiertotalouden mahdollisuuksia

Kiertotalouden aseman noustessa rakentamisessa enemmän esiin, on tämäkin opinnäyte-työ toteutettu tulevia kiertotalouden työmaita sekä valmistuvia kiertotalousterminaaleja ajatellen. Kiertotaloustyömaiden ja -terminaalien on Kreatella tarkoitus auttaa myös yrityksen muita työmaita samalla toimien omana liiketoiminta-alueenaan. Kiertotalousterminaaleja on tarkoitus hallinnoida uusimpia digitaalisia työkaluja hyödyntäen mahdollisimman pienellä miehityksellä. Kreaten kiertotaloustoiminnassa pyrimme hyödyntämään projekteilla dronea, sähköistä siirtoasiakirjaa, mallintamista sekä kiertotalouskarttaa. Sähköinen siirtoasiakirja on tarkoitettu lain vaatimaksi jätteiden siirtoasiakirjaksi, mutta pyrimme hyödyntämään sitä myös ylijäämäkaita vastaanottaessamme tai siirtäessämme. Yhteistyökumppanimme kanssa kehitettävässä kiertotalouskartasta on tulossa työkalu työpäälliköiden, laskijoiden sekä työnjohtajien käyttöön helpottamaan maanajojen logistiikkaa sekä vastaanottoapaikkojen etsintää.

Vähähiilistä rakentamista pyritään tulevaisuudessa ottamaan huomioon erilaisten kehitysprojektien muodossa. Osa ideoista on vasta innovaatiotoiminnan hahmotelmavaiheessa, mutta aihiot ovat valmiina. Osa kehitteillä olevista kehitysprojekteistamme antaa erinomaiset mahdollisuudet kehittää esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjen seuraamista projekteilla sekä ennakoimaan tulevia päästöjä.

Tulevilla kiertotalouden projekteillamme, kiertotalousterminaaleilla, tulemme hyödyntämään materiaalien kiertoa entistä tehokkaammin sekä pyrimme myös hyödyntämään uusien kiertotalousmateriaalien käyttöä projekteillamme. Kiertotalousterminaalit on tarkoitus rakentaa mahdollisimman pitkälti hyödyntäen uusiomateriaaleja neitseellisten arvokkaiden materiaalien sijasta. Korvaamme mm. louheet kenttärakenteissa rakennusten purkubetoneilla sekä ylijäämämaa-aineksia korvaamme rakennusjätteistä tuotetuilla seula-alitteilla vallirakenteissa.

Kiertotalousterminaalien rakentamisvaiheen jälkeen alueilla on tarkoitus ottaa vastaan omilta työmailta sekä muilta toimijoilta rakentamiseen kelpaamattomia materiaaleja vastaan käsiteltäviksi uusiomateriaaleiksi. Pyrimme myös edistämään kiertotaloutta terminaaleilla sekä mahdollisuuksien mukaan testaamaan ja tuottamaan myös uusia kierrätysmateriaaleja.

Terminaaleja on tarkoitus seurata ja hallita alan uusimpia digitaalisia työkaluja käyttäen ja hyödyntäen. Käyttöön on tarkoitus myös kehittää uusia digitaalisia työkaluja yhteistyökumppaneidemme kanssa.

3.2.1 Muut toimijat ja alan innovaatiot

Infran käytössä olevia tunnettuja järjestelmiä ja ohjelmistotoimittajia ovat muun muassa Infrakit, Trimble, Novatron, Leica, Maapörssi, eri sähköisten siirtoasiakirjojen toimittajat tai inframallinnusohjelma 3D-win. Eli käyttömahdollisuuksia löytyy ja kilpailijamme kuten GRK Infra tai Destia kehittävät myös omia sovelluksiaan ja toimintatapojaan. Olen seurannut kilpailijoidemme toimintaa alan verkkolehtien julkaisuista sekä sosiaalisesta mediasta LinkedInin kautta. Näistä julkaisusta olen huomannut etenkin dronien käytön lisääntyneen jokaisella, myös talonrakennuksen puolella ainakin Skanska ja NCC käyttävät droneja sekä suunnittelu- ja konsulttitoimistojen puolelta Ramboll hyödyntää droneja. Julkaisujen julkisuus pohjautuu siihen, että rakentamisessa yleensäkin arvoketjut ovat avoimempia ja kuten kohdassa 2.1 käsittelinkin rakentamisen arvoketjuja sekä innovaatioiden kehittymistä sekä suotuisia ympäristöjä. Alan yhteiset webinaarit näin korona-aikana kuvaavat myös hyvin alan arvoketjujen sekä ekosysteemien avoimuutta ja kehittymistä.

Myös ympäristöministeriö on julkaissut vuonna 2019 erilaisia digitaalisia jo käytössä tai kokeilussa olevia valtakunnallisia kaikkien käytettävissä olevia työkaluja. Materiaalitori toimii eräänlaisena digitaalisena jakamisalustana, jolla pyritään edistämään kiertotaloutta valtakunnallisesti ja toimimaan kuntien toissijaisen jätehuoltopalvelun käytössä. (Lehtonen & Kinnunen, 2019, 3)

Materiaalitoria on tarkoitus käyttää etenkin rakentamisen ja purkamisen materiaaleille. Materiaalitoria on lisäksi käytettävä, mikäli tarvitaan kunnan jätelaitoksen kuljetus- tai käsittelypalvelua yli 2000 euron arvosta (Lehtonen & Kinnunen, 2019, 9).

Jäte- ja tuotetietojärjestelmällä on tarkoitus parantaa materiaalivirtojen seurantaa sekä raportointia, jolla myös jossain vaiheessa käyttöön otettavalla siirtoasiakirjarekisterillä tarkoitus parantaa jätteiden seurantaa sekä saada kerättyä jätetieto viranomaisrekisteriin (Lehtonen & Kinnunen, 2019, 5).

Tulevaan jätelain muutokseen perustuen myös sähköiset siirtoasiakirjat ovat tulossa pakollisiksi. Sähköistä siirtoasiakirjaa tarvitaan jätetietorekisterin ylläpitoon. Järjestelmää on mahdoton ylläpitää paperisilla dokumenteilla. Myös Kreaten käyttöönottamassa sähköisessä siirtoasiakirjassa on otettu huomioon uusi siirtoasiakirjarekisteri.

Kirjoitin tarkoituksella ”jossain vaiheessa käyttöön otettavalla”, koska kirjoittaessani tätä opinnäytetyötä, on siirtoasiakirjan käyttöönottoa ympäristöministeriö päättänyt siirtää ainakin vuodelle eteenpäin. Siirtoasiakirja oli tarkoitus alun perin ottaa käyttöön vuoden 2021 tammikuussa. Kreate on ollut myös mukana siirtoasiakirjarekisterin käyttöönotossa monien muiden toimijoiden kanssa, koekäyttämässä käyttöön otettavaa rekisteriä. Olemme

antaneet omat kommenttimme lähinnä rekisterin käytettävyyteen, ulkoasuun sekä siellä esitettäviin tietoihin.

4 Kreaten kiertotalousalusta – koonti ja käyttö

4.1 Kiertotalouden tarve digitaalisille työkaluille

Tarve digitaaliselle kiertotalousalustalle tuli yrityksen sisältä tämän opinnäytteen toimeksiantajalta. Toimeksiantajalla on ollut visio pidemmän aikaa mielessään digitalisoidusta kiertotalouden alustasta, jolla voitaisiin viedä alaa eteenpäin sekä edistää kiertotaloutta. Ylijäämämaiden vastaanottopaikat ovat toimineet tähän mennessä erittäin vähäisten digitaalisten työkalujen avulla. Pelkän puomin sekä vaa'an avulla on voitu järjestää miehitetty vastaanottopaikka. Pyrimme tätä kehittämään ja ottamaan mahdollisimman laajalti uusia digitaalisia työkaluja käyttöön sekä hyödyntämään näitä päivittäisessä toiminnassamme.

4.1.1 Tarveselvitys ja toimijoiden kartoitus

Tarveselvitys yrityksen sisältä (toimeksiantaja) jo aiemmin ja tätä ohjaavat lainsäädäntö sekä alan yleiset toimintatavat. Työ aloitettiin kartoittamalla yhdessä mahdollisesti hankittavia digitaalisia työkaluja ja ohjelmistoja. Tarve uusille työkaluille oli puhtaasti analyyttinen ja toimeksiantajan omaan kokemukseen perustuvaa. Toimijoiden kartoitus suoritettiin puhtaasti googlen hakutoimintaa hyödyntäen ja etsimällä uusia toimittajia jo yrityksessä tunnettujen lisäksi. Toimijoita etsiessä hyödynsimme laajasti kehityspäällikkömme sekä tietomallikoordinaattorimme osaamista sekä tietotaitoa. Valitsimme lisäksi jo Kreaten aiemmissa kehityshankkeissa mukana olleita toimijoita tunnettavuuden vuoksi.

4.1.2 Tutkimusmenetelmien valinta opinnäytetyötä varten

Kehittämisyön lähestymistapaa valittaessa haasteeksi muodostui se, että kehittämistyön ongelma tai kysymys on jo määritetty melko laajaksi, joka on kiertotalousalustan luominen yritykselle ja alusta rakennettaisiin jo alkaneelle kohteelle pilottiprojektiksi. Kohde on Mäntsälässä sijaitsevan Hirvihaaran ampumaradan uusien meluvallien rakentaminen kiertotaloutta hyödyntäen ja uusia kiertotalousmateriaaleja etsien. Sopivaksi kohteen tekee sen laajuus, yli 1 000 000 teoreettista kiintokuutiota materiaaleja vallien rakentamiseen sekä 8 vuoden rakentamisaikataulu. Tästä syystä tutkimusmenetelmänä on CASE-tyyppinen tapaustudkimus. Ojasalon ym. (2018, 52) toteavatkin tapaustudkimuksen olevan tyypillinen tutkimusstrategia ja soveltuvan hyvin kehittämistyön lähestymistavaksi, kun on tarkoituksena tuottaa kehittämis ehdotuksia ja tutkimuksen osana on toiminta tai prosessi. Näen digitaalisen kiertotalousalustan olevan juuri eräänlainen toimintatapa, joka koostuu erillisistä prosesseista. Ojasalo ym. (2018, 52–53) toteavatkin vielä lisäksi tutkimusmenetelmän tuottavan uutta tietoa kehittämisen tueksi, jota uskomme tarvitsevänkin vielä alustan käyttöönoton jälkeen. Alustaa on tarkoitus ottaa käyttöön myös muilla pienemmillä

kiertotalousprojekteillamme ja onkin varmistettava, että alusta skaalautuu eri kokoisille projekteille. Kehitystyön edetessä huomasimme, että alusta rakentuu niin, että siitä on mahdollista ottaa myös tiettyjä osia käyttöön eli alustamme koostuu erilaisista toisiinsa mahdollisuuksien mukaan integroitavista osista. Pohdimme myös ohjelmaa, jossa kaikki toiminnot on integroitu toisiinsa, mutta ohjelma osoittautui vielä haastattelututkimuksen perusteella kehitysvaiheessa ja ominaisuuksiltaan kalliiksi vaihtoehdoksi.

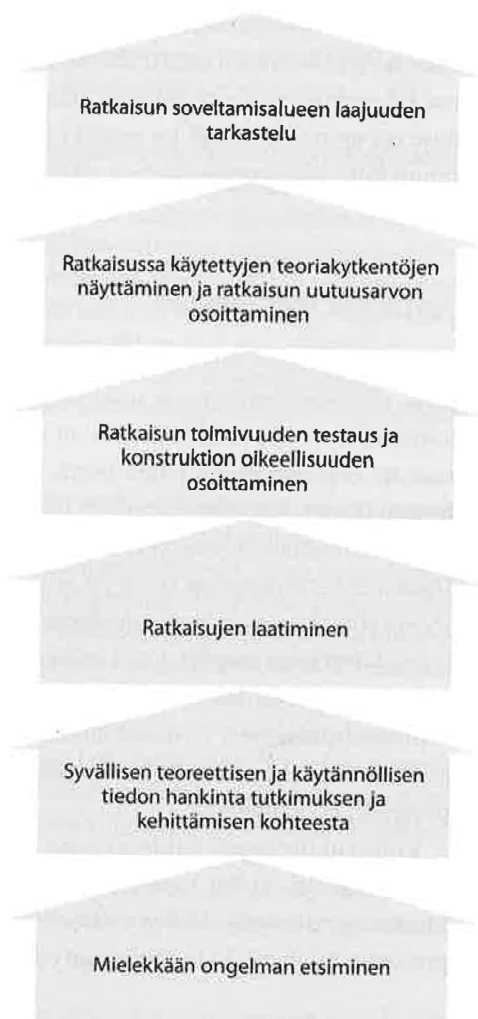
Pelkkä tapaustutkimus ei kuitenkaan soveltunut tämän kehittämistyön lähestymistavaksi vaan rinnalle valikoituivat myös toimintatutkimus sekä konstruktiiivinen tutkimus. Eli kehittämistyön pohjana toimii CASE-tyyppinen konstruktiiivinen tutkimus, jossa prosessien osia valittiin ja kehitettiin toiminnallisella tutkimusmenetelmällä.

4.1.3 Konstruktiiivinen tutkimus

Konstruktiiivinen tutkimus valittiin osaksi kehittämistyön menetelmiä, koska digitaalisella alustalla on tarkoituksena luoda uudenlainen konkreettinen tuotos yrityksen ja kiertotalouden käyttöön. Konstruktiiivisen tutkimuksen ominaisuuksiin kuuluu myös olemassa olevaa teoriaa ja uutta empiiristä eli käytännöstä kerättävää tietoa. (Ojasalo ym. 2018, 65)

Konstruktiiivisesta tutkimusta kuvastaa tässä työssä se, että tietoperustan hankkiminen suoritettiin strukturoiduilla haastatteluilla eri toimittajien kanssa. Tämä kuvastaa yleistä hankintaprosessia työssäni, jossa ensin kartoitetaan mahdolliset toimittajat ensin yhteydenotolla ja selvittämällä toimittajalta mahdollisuudet sekä halukkuus tarjota palveluitaan. Tässä luodaan ensikontakti asian suhteen ja annetaan samalla strukturoidun haastattelun pyyntö, joka on siis tässä tapauksessa tarjouspyyntö. Tarjouspyynnössä määritellään oman teorian tietomme perusteella tarve palvelulle tai tuotteelle, jota toimittajan halutaan tarjoavan. Tarjouksen jälkeen toimittajan kanssa sovitaan haastattelu-aika, joka on siis tarjousneuvottelu. Tarjousneuvottelu suoritetaan Kreaten toimintajärjestelmän mukaisesti käyttäen tapaukseen soveltuvia asiakirjapohjia. Asiakirjapohjissa on valmiina erilaisia tarjousneuvottelun pohjia, joissa läpikäytävät kohdat ovat ennalta määritettyjä. Koska jokaisesta hankittavasta alustan osasta halusimme valita Kreatelle parhaiten soveltuvat, tarjouksia pyydettiin toimittajien määrästä riippuen 2–4 kappaletta tai kuten sähköisen siirtoasiakirjan kanssa, saimme 8 tarjousta, haastattelut pidettiin strukturoituina, jotta saadut vastaukset pysyivät mahdollisimman vertailukelpoisina. Haastattelujen / tarjousneuvottelujen perusteella valitsimme haluamamme toimittajat noudattaen hyviä hankintatapoja, valinnassa painotimme hinnan lisäksi toimivuutta sekä soveltuvuutta kehittämisprojektiimme sekä laatua. Konstruktiiivisen tutkimuksen yksi tarkoitus onkin Ojasalon ym. (2018, 65) tuottaa uudenlainen ja teoreettisesti perusteltu ratkaisu, joka tuo liiketoimintaan sekä yhteisöön uutta tietoa. Tässä tapauksessa uutta on alusta kokonaisuudessaan, prosessin eri osat on hankittu

erillisinä, mutta toimivat yhtenä modulaarisena kokonaisuutena, josta on myös mahdollista ottaa vain osia käyttöön projektin mukaan.

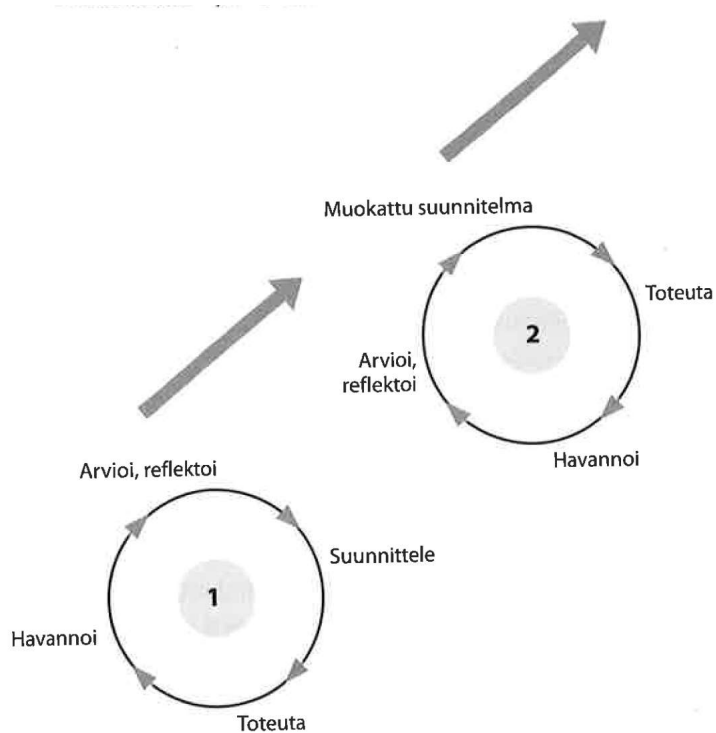


Kuva 2. Konstruktiivisen tutkimuksen eteneminen (Ojasalo ym. 2018, 67)

4.1.4 Toimintatutkimus

Toimintatutkimus on osallistavaa tutkimusta, jota tarvittiin ohjelmistojen ja prosessien käytännön testaamiseen ja havainnointiin. Toimintatutkimuksella pyrittiin myös ratkaisemaan käytännön ongelmia, joita haastatteluissa nousi esiin. Toimintatutkimus tähtääkin siihen, miten asioiden halutaan olevan, eikä miksi. (Ojasalo ym. 2018, 58). Pyrimme myös mahdollisuuksien mukaan hankkimaan ohjelmistoista niin sanottuja demo- / tai kokeiluersioita. Omalta kohdaltani voin sanoa, että pelkkä Teamsin välityksellä pidetty esittely ohjelmistoista ei ole riittävä. Ohjelmaa itse konkreettisesti käyttäessä saa siitä paremman ymmärryksen sekä käyttökokemuksen, jota ei videopresentaatioista tai etäesittelyyn välillä voi saada. Haastattelujen jälkeen, tutkimus siirtyi empiiriseen osuuteen, jossa koekäytimme

ohjelmistoja oikeassa projektissa ja ympäristössä. Empiirinen vaihe perustui täysin opin-
näytetyön tekijän omiin käyttökokemuksiin sekä havaintoihin. Lopulliset hankintapäätökset
suoritettiin kuitenkin yhdessä yksikön johdon kanssa, opinnäytetyön tekijän esityksen pe-
rusteella. Empiirinen vaihe sujui kaikkien toimittajien sekä järjestelmien osalta hyvin. Emme
havainneet yhtään liian isoa ongelmaa tai liikaa pieniä ongelmia, minkä vuoksi olisimme
joutuneet vaihtamaan toimittajia.



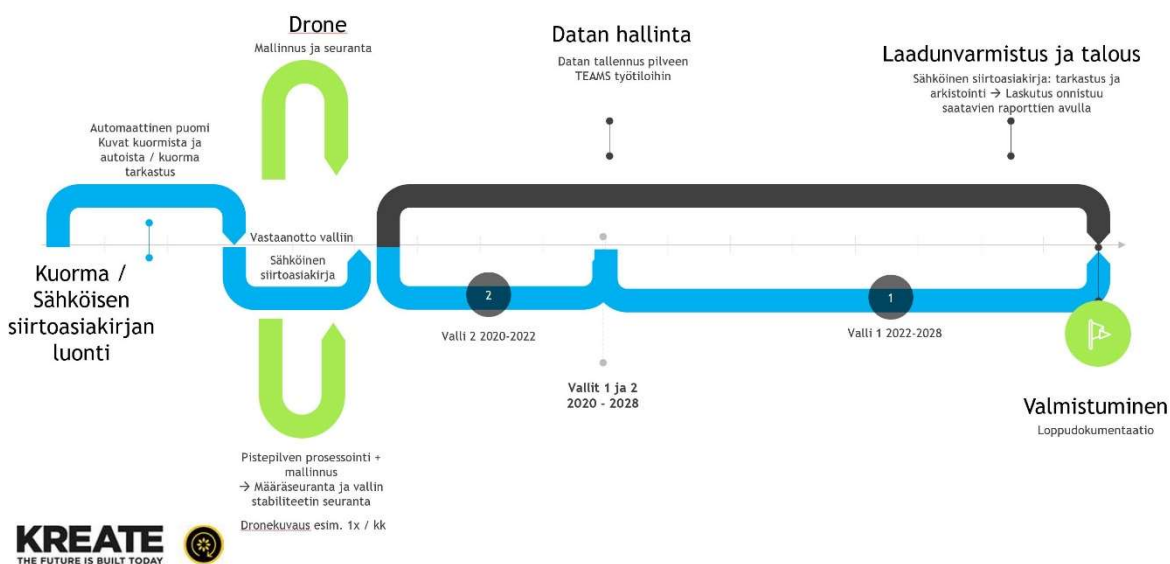
Kuva 3. Toimintatutkimuksen rakenne (Ojasalo ym. 2018, 60)

5 Kiertotalousalustan osat

CASE-työmaaksi valikoitui Hirvihaaran ampumaradan meluvallit. Työmaa on erittäin hyvä tähän tarkoitukseen, koska työmaa on erittäin pitkäkestoinen ja valleja rakennetaan kaksi kappaletta. Ensimmäinen toimii pilottikohteena sekä koekäyttökohteena ja varsinainen testaus voidaan toteuttaa jälkimmäisenä rakennettavan vallin osalta tai vaihtoehtoisesti kokonaan toisella työmaallakin.

Osat koostuvat eri järjestelmistä ja pohjaksi tehtiin prosessikaavio, joka on esitetty kuvassa 4. Prosessikaaviossa on myös esitetty järjestelmän käyttöä, kuten dronekuvusten tiheyttä ja aikataulua Hirvihaaran ampumaradan meluvallien osalta.

Kiertotalouden alusta / työmaan alusta



Kuva 4. Kiertotalousalustan prosessikaavio

5.1 Kuormien hallinta

Puomijärjestelmän älykäs ohjaus ja liikenteen hallinnan järjestelmätoimittajat olivat jo valittuina, kun pääsin osallistumaan projektiin, joten tämän järjestelmän osalta tämä opinnäyte-työ ei käsittele järjestelmän hankintaa, vaan keskittyy ainoastaan empiiriseen osuuteen.

5.1.1 Puomijärjestelmän osat

Puomijärjestelmä koostuu kahdesta eri osasta sekä toimittajasta. Puomin tietojärjestelmät sekä kamerat on toimittanut toimittaja 1, joka vastaa myös järjestelmän ja automaation toiminnasta. Toimittaja 2 on toimittanut ja asentanut puomin fyysiset osat, kuten puomi jalustoineen sekä induktiosilmukat. Järjestelmä on rakennettu alueen tieliittymän läheisyyteen ennen purkualueelle saapumista. Alueelle on varattu reilusti tilaa sekä alueelle saapumiseen, että poistumiseen, koska meidän täytyi omassa toiminnassamme ottaa huomioon myös ampumaradan toiminnot, kuten erilaiset kisatapahtumat sekä harjoitukset. Opinnäytetyötä kirjoittaessa rakentamisvaiheessa on ainoastaan pienempi valleista, johon eivät ampumaradan toiminnot suuresti vaikuta.

5.1.2 Puomin toiminta

Puomijärjestelmän toiminta perustuu ennalta ilmoitettuihin toimittajien tietoihin. Tarvittavia tietoja alueella liikkumiseen ovat asiakkaidemme autojen rekisterinumerot ja akselimäärät. Hirvihaarassa laskutuksemme perustuu kuormamääriin sekä autojen akselimääriin. Vaihtoehtoina tälle olisi ollut asentaa sisäänajoon vaakajärjestelmä, joka punnitsee auton saapuessa ja poistuessa ja laskutus olisi painoon perustuvaa. Yksikössämme oli päätetty jo aiemmin, että riittävä tarkkuus tämän tyyppisillä projekteilla ovat kuormien lukumäärät. Kuormamäärien sekä autojen ilmoitettujen akselimäärien perusteella pääsemme projekteissamme riittävään tarkkuuteen. Kuormien oletuksena on kuormaperusteisessa laskutuksessa tuodut täydet kuormat, joissa vajaiden kuormien riski kuuluu toimittajille. Pystymme arvioimaan tuodun materiaalin sekä autojen akselimäärän perusteella laskemaan alueella hyödynnetyt materiaalit tonnimääräisesti riittävän tarkasti. Tämä koskee vain vastaanotettavia ylijäämämaita. Hyödynnettäessä jätemateriaaleja, tarvitaan kuormista aina jätteiden siirtoasiakirja, jota käsitellään seuraavassa luvussa.

Syötämme meille etukäteen ilmoitetut autot toimittajittain ja luomme toimittajille omat profiilit. Profiiliin määritellään auton rekisterinumero, joka toimii tunnisteena puomilla, akselimäärä autolle sekä aikaprofiili, joka määrittelee kulkuoikeuden alueelle. Puomin alueella on 2 eri tunnistusjärjestelmää. Lasertutka mittaa auton etäisyyttä puomiin ja laukaisee rekisteri- sekä kuormakamerat. Puomilla autosta otetaan siis 2 valokuvaa, ensimmäinen auton keulasta, jotta auto pystytään tunnistamaan sekä toinen valokuva auton lavalta, jotta voimme jälkikäteenkin varmistaa auton tuoneen alueelle vain siellä sallittuja materiaaleja. Kamera rekisteröi myös puomilla käyneet ajoneuvot, joilla ei ole ollut ajo-oikeutta puomin kautta. Järjestelmä toimii myös aluksi Hirvihaarassa laskutustyökaluna, olemme rakentaneet toimittajaprofiilit käyttöjärjestelmään niin, että autot luokitellaan toimittajittain, asiakkuuksittain

sekä auton akselimäärän mukaan. Ohjelman hakutoiminto toimii 365 päivää ajassa mitattuna taaksepäin, joten myös vuoden takaiset tapahtumat on mahdollista tarkistaa. Löydetäessä virheellisiä kuormia, voidaan tapahtuma tallentaa järjestelmästä reklamointia varten. Raporttiin otetaan molemmat valokuvat mukaan, päivämäärä sekä kellonaika sisään ajettaessa sekä poisajassa. Raportti lähetetään reklamaation liitteenä kuorma toimittajalle sekä peritään sopimuksen mukainen maksu virheellisistä toimituksista.

Liikenne alueella toimii yhden puomin kautta. Saman puomin kautta kuljetaan sisälle sekä poistutaan alueelta. Sisään ajettaessa puomin avaa kamera rekisterinumeron perusteella. Mikäli rekisterikilpi ei ole lukukelpoinen, voidaan puomi avata myös pin-koodin avulla näppäimistöä. Pin-koodi toimii toissijaisena ja varmistavana avaamistoimintona. Viimeisenä mahdollisuutena on sulkea järjestelmästä virrat sekä vapauttamalla puomin koneisto, jolloin puomi myös pysyy auki. Tätä ominaisuutta olemme myös joutuneet käyttämään. Järjestelmä kokonaisuutena on onneksi hyvin mietitty sekä toteutettu, vaikka puomin koneisto olisikin virraton sekä vapautettu, kamera toimii kuitenkin itsenäisenä ja kuvaa jokaisen alueelle saapuvan ajoneuvon.

5.2 Sähköinen siirtoasiakirja

Sähköinen siirtoasiakirja toimittajaksi valikoitui kahdeksan eri toimittajan joukosta toimittaja 3:n siirtoasiakirja. Siirtoasiakirjan valinnassa valintakriteerit painottuivat etenkin lakisäädösten täyttämiseen sekä helppokäyttöisyyteen. Painotimme tässä hankinnassa enemmän laatua kuin hintaa, valintamme ei missään nimessä ollut edullisin euromäärissä mitattuna, mutta varmasti selkein ja laadukkain. Hinnoitteluperusteena on lisenssien määrä. Haastattelussa eri toimittajia huomasimme, että hinnoitteluperusteet vaihtelivat todella paljon. Hinnoitteluperusteet vaihtelivat siirtoasiakirjojen määrästä sekä kuljettajien porrastetusta määrästä aina valitun toimittajan selkeään lisenssimäärään perustuvaan. Valitun toimittajan siirtoasiakirja oli kaikista valittavista selkeimmin hinnoiteltu sekä perustuu käytettyihin lisensseihin eikä omaan arvioon niiden tarpeesta. Laskutus tapahtuu edellisen kuukauden aikana käytetyistä lisensseistä eli toiminta on vähintäänkin reilua molempiin suuntiin. Osalla toimittajista laskutus olisi tapahtunut Kreaten omaan arvioon lisenssien määrästä ja myös käyttämättä jääneet lisenssit olisi laskutettu. Oleellinen osa valintakriteereitä oli myös uuden jätelain mukainen integraatio siirtoasiakirjarekisteriin. Toimittaja 3 on ottanut huomioon siirtoasiakirjan integraation siirtoasiakirjarekisteriin ja kuitattaessa sähköinen siirtoasiakirja, siirtyy valmis dokumentti avoimen rajapinnan kautta valtakunnalliseen siirtoasiakirjarekisteriin. Valitettavasti kaikilla toimittajilla ei oltu huomioituna integraatiota siirtoasiakirjarekisteriin, jota pidimme tarjoustaan hylkäävänä perusteena. Siirtoasiakirjarekisteri perustuu Kauppi-
lan mukaan Ympäristön suojelulain 222 §:ssä tarkoitettuun ympäristönsuojelun

tietojärjestelmään, jolla tässä tapauksessa tarkoitetaan siirtoasiakirjarekisteriä. (Kauppila, J. 2020. 17)

5.2.1 Siirtoasiakirjan käyttö

Siirtoasiakirjaa käytetään kahdella eri tavalla, kuskit käyttävät älypuhelimella ladattavan apin kautta ja niin sanotulla laitospuolella, jota Kreate käyttää, tietokoneella selaimella. Yksi oleellinen valintaperuste toimittajalle oli, että appi on saatavilla molemmille käyttöjärjestelmille, Applen IOS:lle sekä Googlen Androidille. Oletimme tämän olevan tänä päivänä lähes itsestään selvyyttä, mutta asia ei ollut näin. Haastatteluissa selvisi osan ohjelmistojen toimivan ainoastaan Android-käyttöjärjestelmällä. Tämä oli meillä poissulkeva ehto hankinnassa.

Jätteen tuottaja sekä kuljettaja käyttävät puhelimella appia, jonka perusteella varsinaiseen siirtoasiakirjaan muodostuu jätteen tuottajan sekä jätteen kuljettajan tiedot. Lopulliseen jätteen siirtoasiakirjaan lisätään vielä vastaanottajan tiedot.

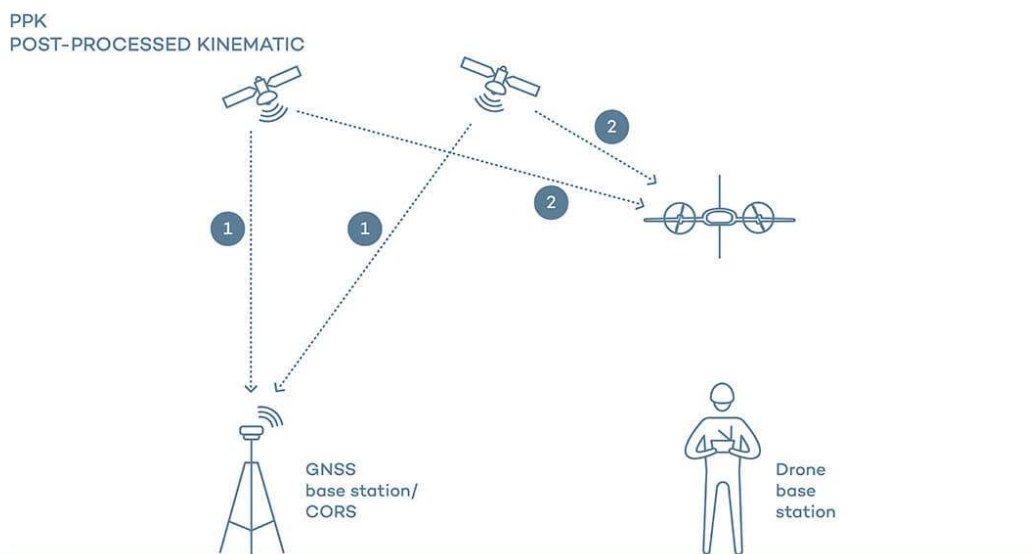
5.3 Drone – kuvaus ja mallintaminen

Dronella on olennainen osa digitaalista alustaa. Sillä tuotetaan suurin osa alustan digitaalisesta aineistosta ja sitä käsitellään haluttuun muotoon. Tämä osio koostuu 2 eri osasta. Dronesta sekä kuvaus- ja prosessointiohjelmistosta. Dronen valinta perustui täysin omiin kokemuksiini aiemmista droneista sekä Kreatella on otettu jo muutama vuosi aiemmin saman valmistajan droneja käyttöön.

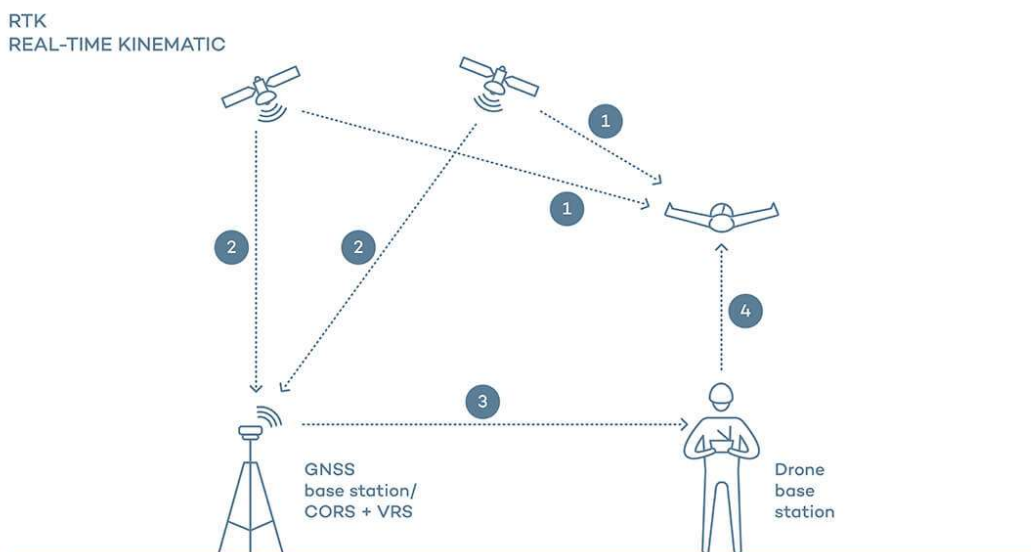
5.3.1 Drone

Dronen valinta jäi toimittaja 4:n kahden eri mallin välille. Eroa näillä malleilla on ulkonäön sekä toiminnan perusteella paljonkin. PPK-malli on paljon pienempi fyysiseltä kooltaan ja painoltaan kuin RTK-malli. Tuhansien eurojen hintaeron lisäksi oleellisin ero on RTK-ominaisuus. Dronet poikkeavat toisistaan kuvien prosessoinnin PPK, Post-Processed kinematic sekä RTK, Real-Time kinematic osalta. PPK on paljon edullisempi hankkia ja tässä tapauksessa kuvien paikannustieto haetaan kuviin satelliiteista ja tallennetaan kuvien oton jälkeen. Tarkkuus on merkittävästi heikompi kuin RTK-laitteissa. RTK lyhenteensä mukaisesti korjaa kuvien koordinaatit kuvien ottamisen hetkellä ja on merkittävästi tarkempi kuin PPK-mallit. Oman työn osalta PPK:lla saavutettava tarkkuus on vähintäänkin riittävä, kuten jäljempänä kuvassa 11 nähdään. RTK:lla saavutetaan jopa 10 mm XYZ-tarkkuudet. Mikäli on tarve päästä parempaan mittatarkkuuteen, on valittava laserkeilaus ja tuotettava piste-pilviaineisto suoraan. Fotogrammetrialla RTK-tarkkuus on paras saavutettavissa oleva

tarkkuus tällä hetkellä. (Wingtra). Kuvissa 5 ja 6 on esitetty piirrosten avulla PPK ja RTK eroavaisuudet.



Kuva 5. Post processed kinematic PPK (Wingtra)



Kuva 6 Real-time kinematic RTK (Wingtra)

Molemmat dronet kuitenkin kuuluvat EU:n uusien dronesäätöjen luokkaan avoin, painon ollessa alle 25 kg sekä lentokorkeuden pysyessä alle 120 metrissä maanpinnasta mitattuna. Avoin kategoria jakautuu lisäksi kolmeen eri alakategoriaan, A1, A2 ja A3. Omat kopoterimme sijoittuvat kaikki alakategoriaan A2, jossa CE-merkinnät ovat C2, lennot tapahtuvat turvallisella etäisyydellä ihmisistä sekä noudatetaan UAS-ilmatilavyöhykkeitä. Kategoriassa

avoin A2 vaaditaan lisäksi verkkotentti sekä valvottu lisäteoriakoe. Euroopan unionin uutta asetusta on alettu soveltaa 31.12.2020 lähtien ja koronatilanteen takia, valvottu lisäteoriakoe on suoritettava 1.4.2021 mennessä (Droneinfo, 2020).

Krean droneohjeistukseen kuuluu, että kaikki lennot suunnitellaan etukäteen ja on varmistettava lentokieltoalueet (No-Fly-Zones) sekä lennot on suoritettava VLOS-tyylisesti (Visual-Line-Of-Sight) eli dronen on oltava näkökentässä koko ajan. Pyrimme myös käyttämään lennonsuunnitteluun apuohjelmia, jolloin dronea ei tarvitse itse ohjata, vaan drone lentää ja kuvaa ennalta määrätyn alueen sille asetetulta lentokorkeudelta tietyllä kuvausväliillä. Lentojen kestot riippuvat suuresti kuvattavan alueen koosta sekä kuvaussuunnasta. Olemme kuvauksissa ja aineistojen prosessoinneissa havainneet, että kuvaus alueen mukaisesti yhdensuuntaisesti on riittävä. Alue on myös mahdollista lentää ja kuvata kuvassa 7 esitetyn ”Double Grid” alueen mukaisesti kahteen suuntaan, mutta tehokkaimmaksi tavaksi on havaittu ”Polygon”, jonka lisäksi kuvauksen lopussa kameran kulma käännetään 45° viistoon ja lennetään drone koko kuvattavan alueen keskialueen läpi samalla yksittäisiä kuvia ottaen. Viistokuvilla saadaan parannettua korkojen tarkkuutta aineiston prosessoinnissa.

Jokainen drone on lisäksi rekisteröitävä Trafian dronerekisteriin. Piloteille vaaditaan lisäksi erillinen verkkotentti, joka on suoritettava ennen lentämistä. Jokaisesta lentokerrasta on myös pidettävä erillistä lentopäiväkirjaa, josta on löydettävä lentäjän nimi, lennon ajankohta sekä paikka.

5.3.2 Aineiston prosessointi ja lennon suunnittelu

Lennonsuunnitteluun on monia ilmaisia ohjelmia olemassa. Myös dronen valmistajalta on olemassa ilmainen lennonsuunnitteluohjelma, mutta päädyimme kuitenkin käyttämään eri toimittajan kehittämää sovellusta. Krealla on ollut jo aiemmin sama ohjelmisto käytössä aineiston prosessointiin ja aiemman tiedon perusteella ei ollut järkevää lähteä etsimään toista sovellusta erittäin hyvin toimivan sovelluksen tilalle. Etenkin vaihtoehtojen ollessa euromäärissä mitattuna kalliimpia vaihtoehtoja.

5.3.3 Lennon suunnittelu

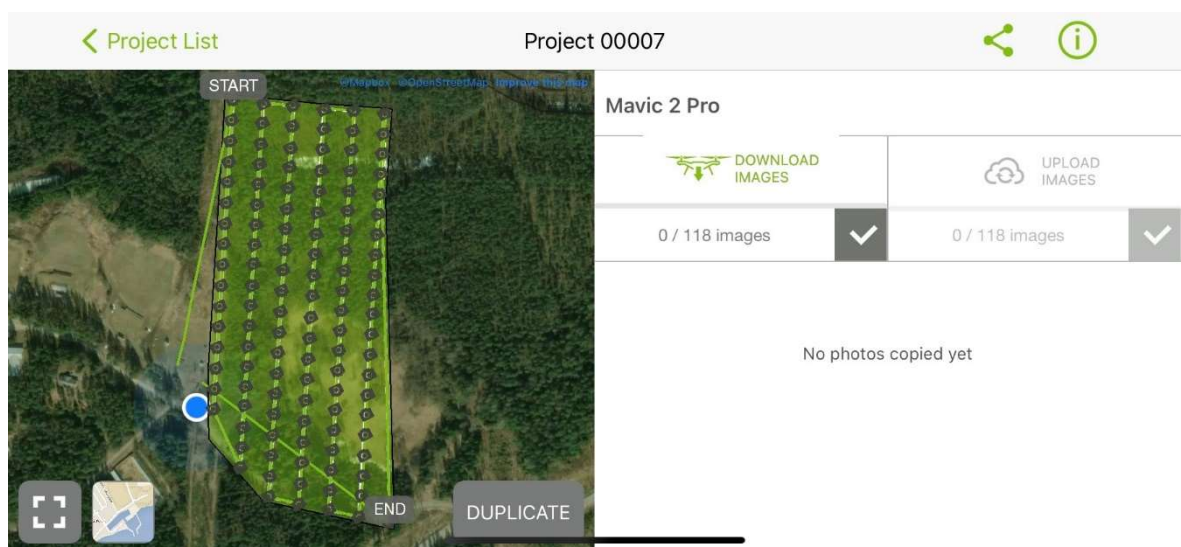
Käyttämämme sovellus on älypuhelimella toimiva, joka on ilmainen.



Kuva 7. Lennon suunnittelun aloitusnäky.

Sovelluksen etusivulta valitaan haluttu kuvausmuoto, joka meillä on aina lähes poikkeuksetta Polygon. Kuvattavan alueen rajausta on helpointa suorittaa polygon-valinnan kautta, koska aluetta voi muokata haluttuun muotoon.

Kuvassa 8 on esitetty Hirvihaaran kuvattava alue käyttäen polygon-valintaa.



Kuva 8. Sovelluksen projektinäky.

Projektin kuvausnäkyssä voidaan valita joko satelliitinäkymän tai karttanäkymän pohjalta merkittävä kuvausalue. Kuvausalueesta on nähtävissä lentosuunta ja kuvienotto-suunta. Lisäksi määritellään dronen nopeus, kuvauskulma, alueen kuvien sivuylitykset sekä kameran valkotasapaino. Valintojen jälkeen ohjelma tarkistaa dronesta kaiken olevan lentoa varten kunnossa, kuten akun varaus, ohjelmiston versiot, ym.

Kreaten droneohjeisiin kuuluu, että ennen varsinaista lentoa tulisi aina suorittaa ns. Shake Off, jossa drone käynnistetään ja sillä nousetaan noin 2 metrin korkeuteen ja testataan manuaalisesti perustoiminnot. Tällä varmistetaan se, että drone toimii, eikä toimintahäiriötä pääsisi syntymään.

Kuvauksen päätyttyä drone pakataan laukkuunsa ja siirrytään toimistoon purkamaan kuvausaineisto tietokoneelle. Testasimme myös uutta saman ohjelmistotoimittajan pilvipohjaista ohjelmaa, joka on vastaava kuten käyttämämme työpöytäversio, mutta toimii pilvipalveluna. Pilvipalvelun toimivuutta olen kuvannut kohdassa 6.1.2.

5.3.4 Droneaineiston prosessointi ja pistepilven tuottaminen

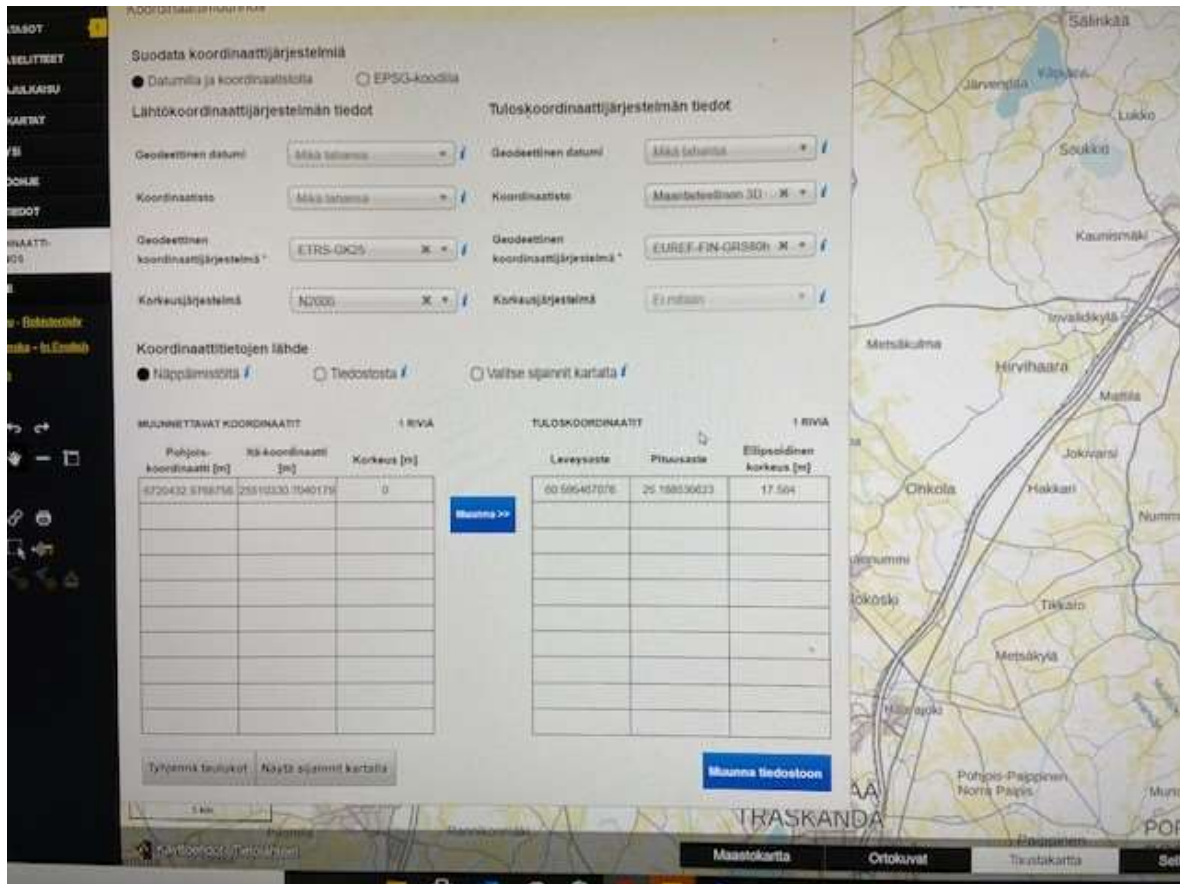
Kuvien prosessointiohjelma on maksullinen ohjelma, jolla dronella kuvattu aineisto käsitellään pistepilviaineistoksi sekä pinta- ja maastomalleiksi. Maksu on joko kuukausiperusteinen tai myös kertalisenssin osto on mahdollinen.

Dronella kuvatut valokuvat viedään raahaamalla suoraan ohjelman kansioon ja tämän jälkeen määritellään käytetyt koordinaatit. Drone on amerikkalaisen valmistajan valmistama, kuten on myös prosessointiohjelma, joten kuvauksen mittausperustan lähtökohtana ovat yhdysvaltalaiset mittayksiköt. Kuvatun aineiston lähtötietona on WGS84-muoto ja koordinaatit täytyy muuttaa Suomessa käytettyyn ETRS-muotoon. Hirvihaaran tapauksessa koko koordinaatiston tunnukseksi tulee ETRS89 / GK25FIN. Kuvauksen valmistelussa mainitut tarkastuspisteet ovat tässä vaiheessa myös tarpeellisia. On muutettava vielä korkeus oikeaksi. Korkomuunnos voidaan tehdä paikkatietoikkunassa, joka on kansallinen paikkatietoportaali ja käsittelee paikkatietoaineistoja sekä niiden hyödyntämismahdollisuuksia. Paikkatietoikkuna on internetsivu, jota olemme käyttäneet koordinaattimuunnoksissa. Dronekuvissa drone mittaa GPS:n perusteella sijaintiaan lähtöpaikasta, mutta tarvitaan tieto käytettävän N2000-korkojärjestelmän mukaan. Korjaus onnistuu paikkatietoikkunan kautta hankittavalla koordinaattipisteiden korkomuunnoksen avulla. Korkomuunnos on esitetty kuvassa 10.



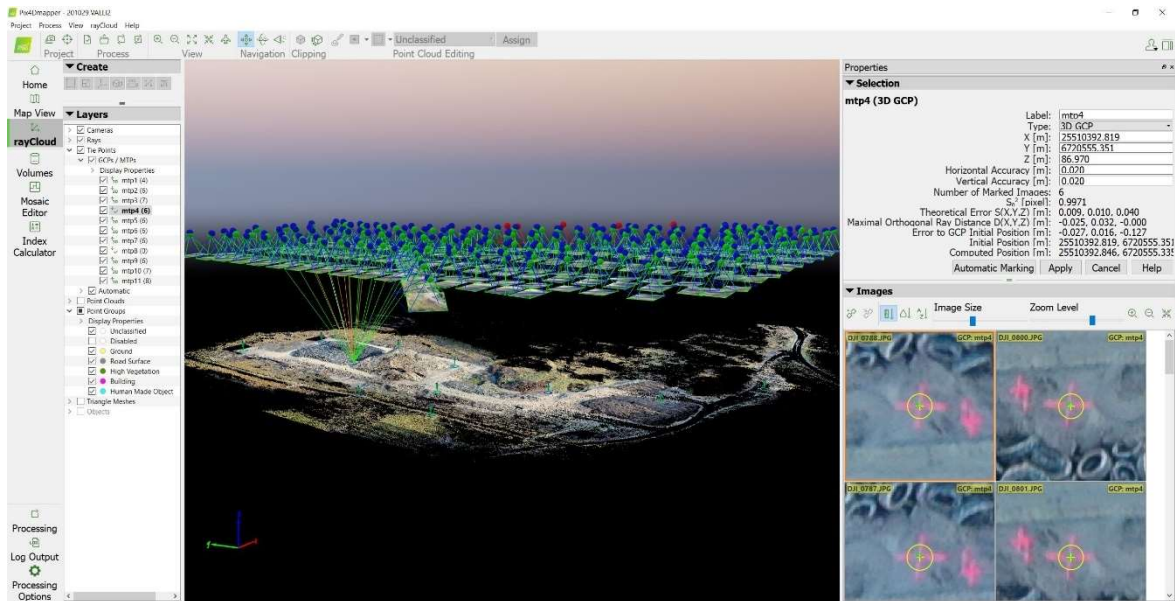
Kuva 9. Dronella otettu digikuva 100 metrin korkeudelta.

Kuvassa 9 on esitetty maastoon merkattu tarkastuspiste Hirvihaarassa, joka ohjelmassa on GCP 4 (Ground-Control-Point). Tiedettyjen koordinaattien perusteella ja korkeus määriteltäessä nollaksi, voidaan paikkatietoikkunassa käyttäen koordinaatistona maantieteellistä 3D:tä, saada selville aineiston korkeuden korjaus dronen lähtöpaikkaan suhteutettuna. Kuvassa 10 nähdään että tarkastuspisteen 1 nollakorkoisen koordinaatin korjaus on 17,584 metriä. Syötettäessä tämä luku ohjelman koron korjauskohtaan saadaan korko korjattua aineiston prosessointivaiheessa oikeaksi.



Kuva 10 Paikkatietoikkuna ja koordinaattimuunnos (kartat.paikkatietoikkuna.fi)

Koordinaattimuunnoksen jälkeen ohjelmaan viedään tarkastuspisteet. Tarkastuspisteitä on kahdenlaisia, ground control points (GCP) sekä check points. Molemmat ovat GNSS-laitteella mitattuja ETRS89 ja N2000 koordinaattijärjestelmien mukaisia pisteitä. Pisteitä tarvitaan dronen aineiston kohdistamiseen ja aineiston sitomiseen. Hirvihaaran kokoluokan kohdessa, noin 300 x 500 metriä, on hyvä olla yhteensä noin 8–10 tarkastuspistettä maastoon merkattuna. Pisteet voi merkata myös kiinteästi maastoon, jolloin pisteitä ei tarvitse käydä erikseen merkkäämassa. Toinen vaihtoehto olisi käyttää RTK-mallista dronea, kuten kapaleessa 5.3.1. esitin. Pisteistä valitaan lisäksi 2 pistettä GCP sijasta check pointeiksi. Check pointeilla aineistoa prosessoidessa ohjelma suorittaa näiden pisteiden perusteella tarkastuslaskennan, joilla tuotetun mallin tarkkuutta voidaan varmistaa. Kuvassa 11 on esitetty prosessoitu aineisto. Kuvassa on esitetty sama tarkastuspiste kuin kuvassa 9.



Kuva 11. Prosessoitu aineisto.

Kuvan 11 oikeassa reunassa nähdään GCP toimintaperiaate. Ohjelma kohdistaa lähellä merkattuja koordinaatteja otetut digitaaliset kuvat lähelle pisteitä ja käyttäjän on kohdennettava kuva riittävän lähelle nähdäkseen merkattu piste maastossa. Niin moneen kuvaan kuin mahdollista tuli merkata koordinaattien kohta mahdollisimman tarkasti. Tällä saadaan parannettua mallin tarkkuutta. Kuvan 11 tapauksessa tarkkuus XY-suunnassa on 27 mm ja 16 mm ja Z-suunnassa 127 mm. Tarkkuus on hyvä käytetyllä laitteistolla.

Ohjelmassa on myös mahdollista suorittaa laskentaa, mutta päädyimme käyttämään toista pilvipalvelua tähän tarkoitukseen, joka kuvataan seuraavassa kappaleessa. Ohjelman prosessoinnin tuloksena tarvitaan pilvipalveluun itse pistepilvitiedosto (.LAS tai .LAZ), maastomalli DSM, Digital Surface Model, (.TIF) sekä ortokuvat (.TIF).

5.4 Pilvipalvelu työmaan seurantaan

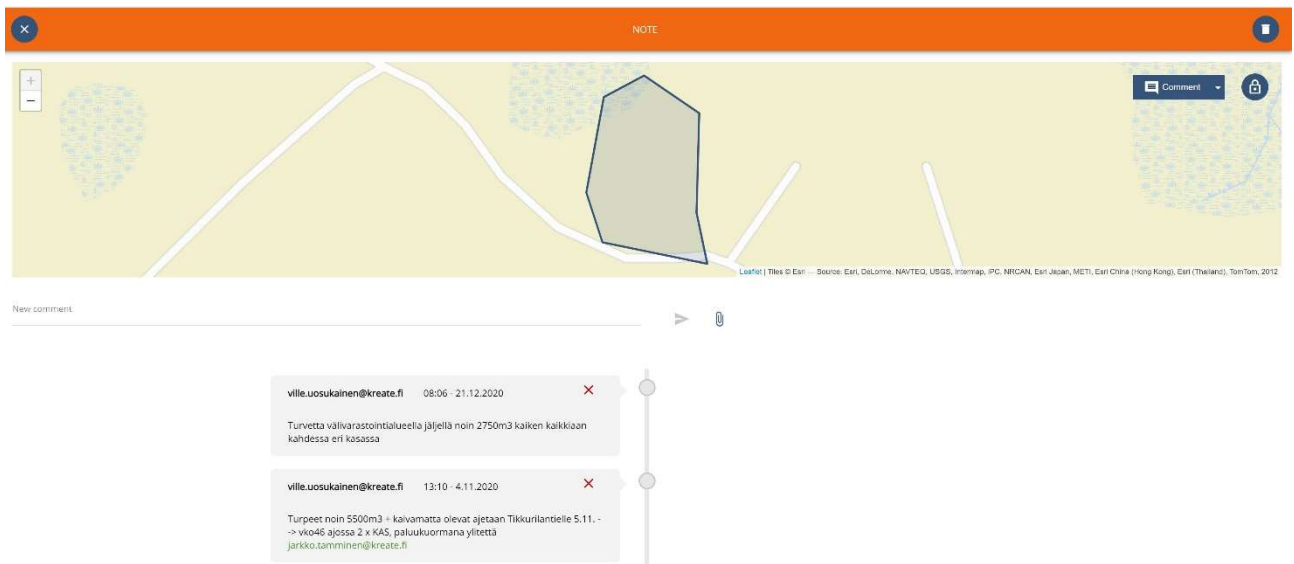
Dronella kuvausta aineistosta tuotetaan pistepilvi prosessoimalla aineisto. Samalla saadaan myös tuotettua orthokuva-ainesto ja pintamalli. Aineistot viedään yksinkertaisesti raahaamalla pyydetyt tiedostot pilvipalveluun. Aineistot prosessoidaan vielä kerran pilvessä, jonka jälkeen ne ovat hankkeeseen nimettyjen henkilöiden käytettävissä. Henkilölle asetetun roolin perusteella, henkilöt voivat joko muokata, kommentoida tai ainoastaan katsella palvelussa olevia aineistoja.

5.4.1 Päänäkymä ja viestintä



Kuva 12. Pilvipalvelun päänäkymä työmaan päätasolla.

Kuvassa 12 on esitetty ohjelman työmaatason päänäkymä. Päänäkymällä voidaan valita haluttu näytettävä aineisto ja lisätä merkintöjä. Tämä näkymä sopii lähinnä yleiskuvan hahmottamiseen ja projektin osapuolten väliseen viestintään. Projektin pääkäyttäjät pystyvät lisäämään pelkällä sähköpostiosoitteella lisää osapuolia projektille. Erilaisia valittavia rooleja on kolme kappaletta, pääkäyttäjät, hallinnoijat sekä vierailijat. Pääkäyttäjät voivat muokata projekteja rajoituksetta ja lisätä aineistoja. Hallinnoijat voivat käyttää ohjelman mittaus työkaluja sekä lukea ja lisätä merkintöjä tai muistiinpanoja. Vierailijat pääsevät vain näkemään aineistot ja kommentoimaan merkintöjä. Vierailija-rooli sopii esimerkiksi viranomaisille tai Hirvihaaran tapauksessa tilaajille. Viestintää on kehitetty työmaan käyttöön sopivaksi, yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa sitä, että voidaan merkitä varastokasojen tilauksia tai jäljellä olevaa vastaanottokapasiteettia.



Kuva 13. Esimerkki merkinnöistä ja työmaiden välisestä viestinnästä.

Kuvassa 13 näkyy kuvan 12 alin alue (varastokenttä), jossa on lisätty merkintä. Tilannetta voidaan päivittää helposti esimerkiksi kuvauskertojen välillä uudelleen ohjelmasta mitattuna ja viestiä ohjelman kautta muille osapuolille. Tässä turvetapauksessa vastaanotto-päässä turpeesta jalostetaan eri multalajikkeita ja ohjelman kautta on helppo viestiä tilanteen etenemisestä. Merkintöjä hyödyntämällä ja merkkamalla @-merkillä nimen eteen lähtee merkinnästä myös sähköposti-ilmoitus merkityille henkilöille, jolloin tärkeä tieto ei jää tavoittamatta oikeita henkilöitä. Uskonkin, että ohjelman yleistyessä eri työmaillamme ja terminaaleillamme, tämän ominaisuuden hyödyntäminen korostuu entisestään.

Toinen osa pilvipalvelua on pistepilvien tarkastelu. Dronella kuvattu ja prosessoitu aineisto on koostettu pistepilviaineistoksi (.LAS tai .LAZ), orthokuva-aineistoksi (.TIF) sekä pintamalliksi (.TIF). Pilvessä näistä kaikista tuotetaan edellä mainitut tasokuvat sekä kuvassa 4 näkyvä pistepilviaineisto.

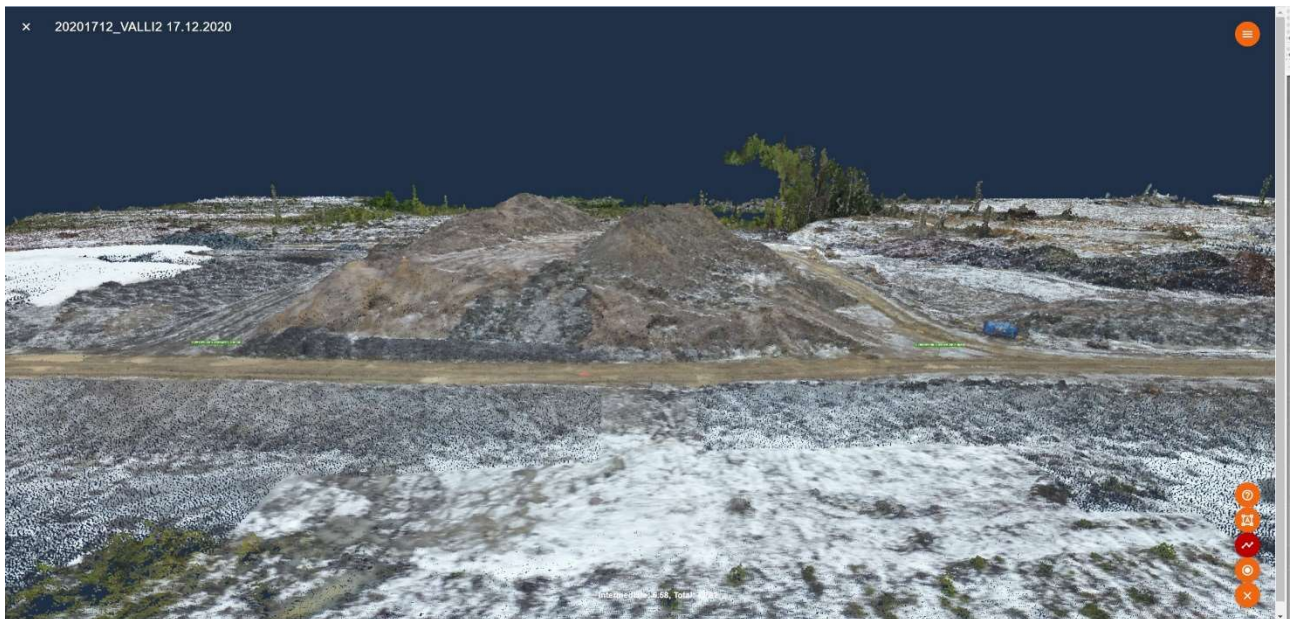
5.4.2 Pilvipalvelun työkalut

Pilvipalvelusta löytyvät lisäksi mittaamiseen soveltuvat työkalut, joita käsitellään seuraavaksi ja miten niitä hyödynnetään projekteissamme.

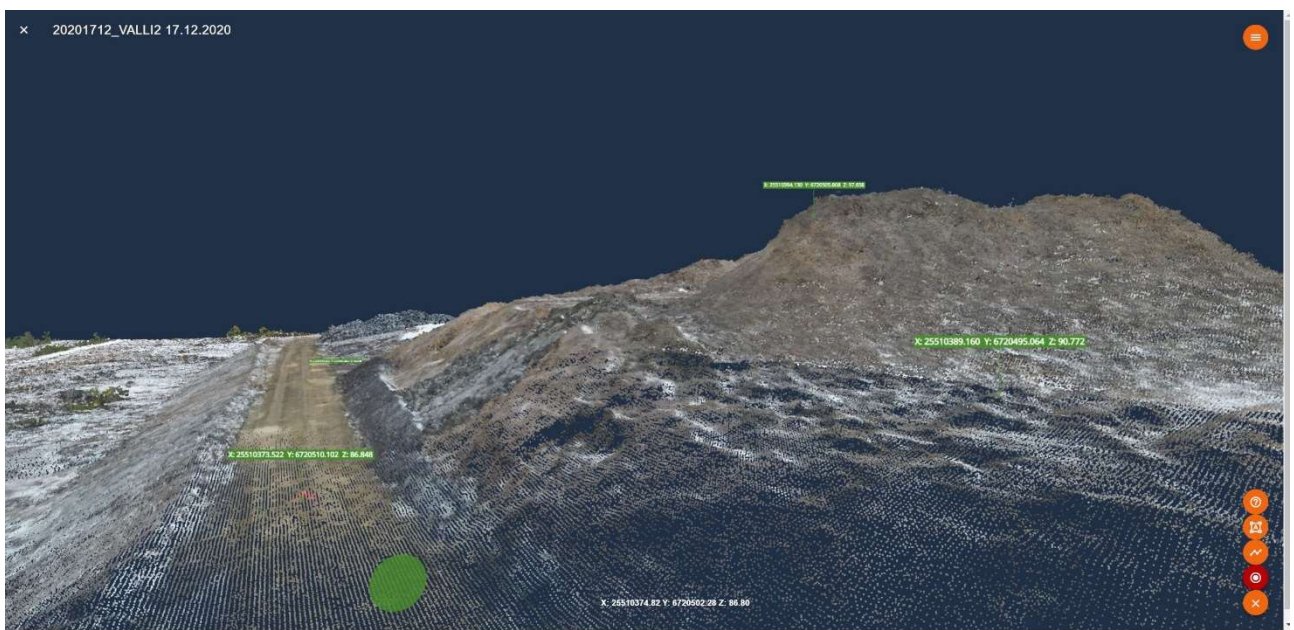


Kuva 14. Pistepilviaineisto.

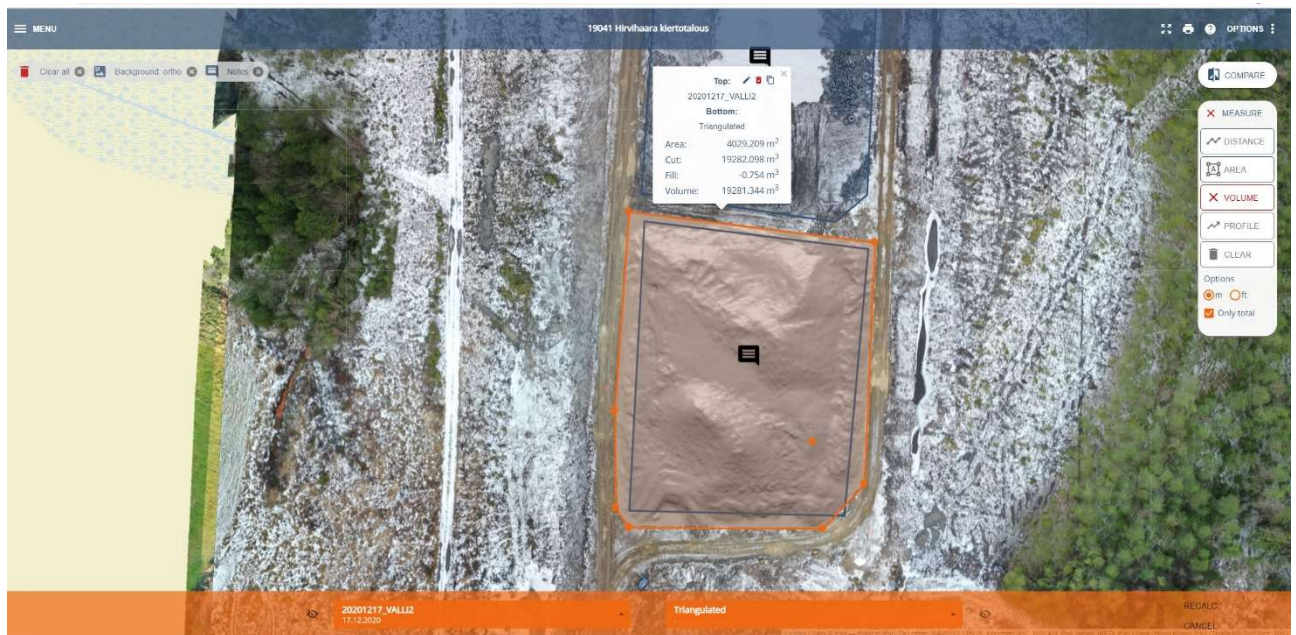
Pistepilviaineistoa voidaan tutkia visuaalisesti tai aineistosta pystytään myös mittaamaan. Tätä opinnäytetyön raporttia kirjoittaessa ohjelmisto myös päivittyi ulkoasultaan melko paljon. Samalla opinnäytetyön raportista poistui kokonainen osuus ohjelmiston puutteista, jotka koskivat lähinnä mittausta. Perustyökalujen puute, kuten 2D-tasokuvasta etäisyyden mittaaminen sekä tilavuuden mittaaminen tasokuvasta, on nyt lisätty. Samalla myös pistepilviaineistosta tilavuuden mittaaminen on poistettu, josta toimittaja olikin saanut jo palautetta, mittaamisen kankeuden takia. Pistepilvestä pystyy tällä hetkellä mittaamaan etäisyyksiä, pinta-aloja sekä merkitsemään yksittäisiä pisteitä, joista saadaan XYZ-tieto.



Kuva 15. Etäisyyden mittaus.



Kuva 16. Pisteiden merkintä.



Kuva 17. Tilavuuden mittaus tasonäkymästä

Tilavuuden mittauksen siirtäminen pistepilvestä tasonäkymään on erittäin positiivinen muutos. Pistepilvestä mittaaminen vaatii tietokoneelta paljon tehoa sekä hyvän internet-yhteyden. Aineistoa käsitellään pilvessä ja aineistot ovat isoja. Aiemmin mitatessa mallia joutui pyörittelemään ja kääntelemään melko paljon merkittäessä mitattavan alueen pisteitä. Malli tökki ajoittain sekä hiiren kankeiden liikkeiden takia mittaaminen oli hieman haastavaa. Nyt toimittajan siirrettyä mittaamisen tasonäkymään kaikki nuo edellä mainitut ongelmat ovat poistuneet. Tätä pyysimme Kreatella jo kesällä toteutettavaksi ohjelmaa testatessamme. Meidän perustemme tälle oli se, että halusimme pyrkiä toistamaan mittauksia mahdollisimman tarkasti tulevia kiertotalousterminaaleja ajatellen. Pistepilvestä mittaaminen ja mittauksen toistaminen aineistojen välillä oli haastavaa. Toistaminen ei käytännössä ollut mahdollista, koska pisteet piti määrittää käsin. Ainut millä tämän olisi voinut toteuttaa olisi pitää maastossa kiinteitä mittauspisteitä, eli esimerkiksi harjaterästankoa, johon olisi kiinnitetty esimerkiksi kirkaalla merkintämaalilla maalattu supermutteri tms. Nämä kiinteät mittauspisteet näkyisivät mallissa aina samalla paikalla, jolloin näihin pisteisiin olisi helpompi tarttua pistepilviaineistossa. Nyt meidän toiveemme on huomioitu ja em. toimenpiteitä ei tarvita. mittaukset pystytään toistamaan tasonäkymästä aineistosta riippumatta. Mitattavan alueen merkintä on mahdollista tallentaa, jolloin uutta mitattaessa voidaan tarttua automaattisesti (sama kuin Autocadissa snap-toiminto) tallennettuihin kulmapisteisiin. Tämä on jopa toteutettu niin, että on myös mahdollista lisätä kommenttikenttä kuten kuvassa 17 näkyy ja tarttua näihin nurkkapisteisiin kiinni mitattaessa. Kommenttikenttä on hyvä myös siinä mielessä, saatuamme terminaaleja niiden varsinaiseen

käyttöön, voidaan kommenttikenttää hyödyntää esimerkiksi materiaalien nimeämiseen sekä määräseurantaan.



Kuva 18. Profiilityökalu

Uutena työkaluna ohjelmistoon on tullut profiilityökalu. Tasokuvaan merkitään 2 pistettä, jonka Z-profiiliin työkalu piirtää. Tälle uudelle työkalulle on enemmän käyttöä väyläprojekteissamme sekä uusia projekteja aloitettaessa, kun halutaan arvioida pintojen profiileja.

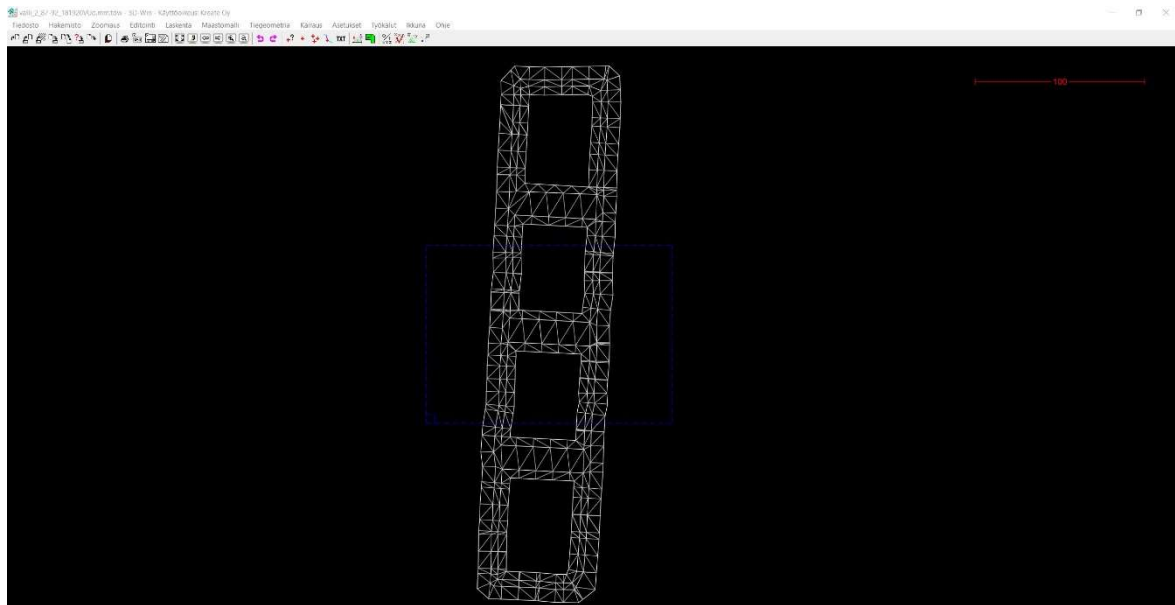
5.5 Inframallit - koneohjaus

Koneohjausmallit tuotetaan 3D-win-ohjelmistoa käyttäen. 3D-win on suomalaisen Novatronin inframallinnus työkalu. Työkalu on Autocadin tapainen piirtötyökalu, mutta eroaa käytötavaltaan täysin Autocadista. Ohjelman hyvät puolet ovatkin lähes kaikkien tiedostomuotojen tukeminen ja niiden muokkaaminen. Ohjelmalla voidaan myös tuottaa kaikki tarvittavat eri tiedostomuodot, joita inframallintamisessa tarvitaan.

5.5.1 Koneohjausmallien tuottaminen

Kiertotalouden projektimme ovat yleensä geometrialtaan melko yksinkertaisia, joten emme näe järkeväksi tilata koneohjausmalleja konsulteilta. Mallinamme projekteihimme taustakarttojen lisäksi eri tasoja suunnittelijoiden tuottamista suunnitelmista. Inframallinnus on siis pääasiassa eri tasojen piirtämistä oikeisiin koordinaatteihin. Inframalleista laskettaessa laskenta suoritetaan vertaamalla kahta eri tasoa tai aineistoa keskenään. 3D-win käytössä on omat haasteensa ja ainakin omalla kohdalla uuden ohjelman opettelemisessa on ollut haasteita. Kreatella koneohjaus- ja inframallien käyttö tuotannossa on ollut huippuosajien

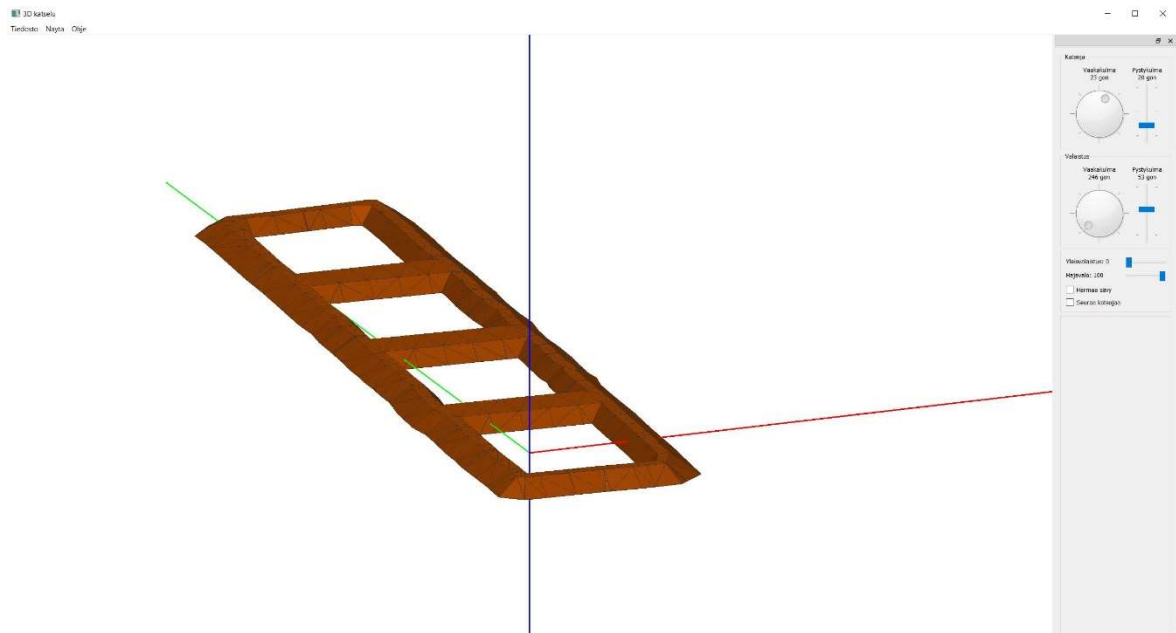
ansiosta ensiluokkaista ja yrityksessä koulutetaankin omia toimihenkilöitä vuosittain tarpeen mukaan 3D-win käyttöön. Ohjelman opettelu tosin vaatii useamman päivän koulutuksen sekä mahdollisimman paljon käyttöä ja varsinaista mallintamista.



Kuva 19 3DWIN mallinnettu vallin 2. täyttötaso

Kuvassa 19 on esitetty mallinnettu vallin tukipenkereen 2. täyttötaso, joka on informaatioltaan tietokoneen näytöllä hyödytön. Tasokuva kuitenkin sisältää kaiken kaivinkoneen koneohjauksen vaatimaan tiedon viivoissa, eli sijainnin, korkeuden sekä tyypin.

Kuvassa 20 on esitetty sama tasokuva 3D-katselutilassa, josta nähdään tason sisältävän kaiken tarvittavan geometriatiedon.



Kuva 20 3D-WIN havainnointi 3D-katselussa.

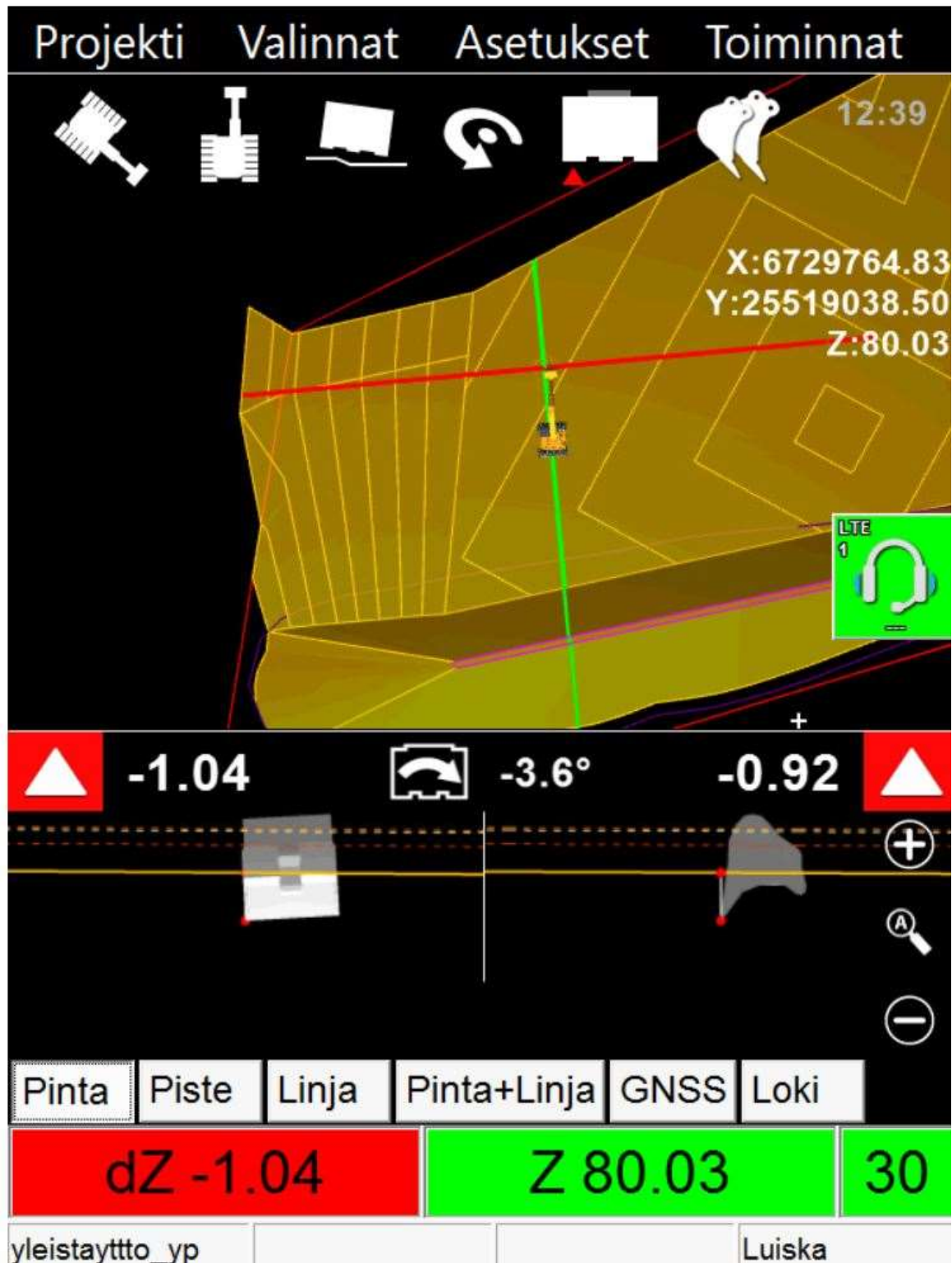
5.5.2 Koneohjaus käytännössä

Koneohjausta käytetään projektilla tarkemittaukseen, tukipenkkojen tekoon sekä materiaalien vastaanottoon. Tukipenkat tehdään kerroksittain ja maastoon mittaaminen onnistuu myös riittävällä tarkkuudella. Käyttäessämme työkoneissa koneohjausta, emme tarvitse työmaalla erillistä mittamiestä ollenkaan. Dronen käyttöön vaaditaan jo GNSS-mittalaite, jolla päästään samoihin mittatarkkuuksiin kuin koneohjauksella.

Kuski näkee omalta näytöltään koko ajan koneen sijainnin projektilla ja kauhan positiota verrataan koko ajan sijaintiin mallissa. Tämä on esitetty kuvassa 21, jossa näkyy työkone Marjalan kiertotalousalueen projektilla. Novanger-palveluun kirjaututtaessa ja kaivinkoneen koneohjausjärjestelmään yhdistettäessä voidaan oman tietokoneen näytöltä nähdä reaaliajassa sama, mitä kaivinkoneen kuskin näytöllä näkyy. Tämä helpottaa esimerkiksi tarkkeiden pikaista tarkistamista tai mallin ongelmia ratkaistaessa.



Kuva 21 Novatron Novanger etähallintaohjelman näkymä Marjalan projektilta.



Kuva 22 Novangerin näkymä Marjalan projektilta.

Koneohjaus toimii yhtä lailla siis myös erilaisilla kiertotalouden projekteilla juuri niin kuin haluamme, mittamiestä ei käytännössä tarvita työmaalla ollenkaan käytettäessä digitaalista alustaa koko laajuudessaan. Työnjohto on vain perehdytettävä GNSS-käyttöön ja konekuskit koneohjausjärjestelmän käyttöön. Koneohjausjärjestelmät ovat tänä päivänä jo lähes

pakolliset infrahankkeissa ja konekuskit ovat perehtyneitä eri järjestelmiin jo melko hyvin. Eri laitetoimittajilla on pieniä eroja keskenään ohjelmien käytössä, mutta ovat pääpiirteittäin kuitenkin samanlaisia.

5.6 Laskenta ja vastaanottoaikan hallinta

Laskentaa voidaan suorittaa pilvipalvelussa kohdassa 5.4.2 esitetyillä työkaluilla tai kohdan 5.5.1 3D-win ohjelmalla. Tarketietojen käsittely ja mittaus on syytä suorittaa 3D-win ohjelmalla ja tuottaa samalla tarketiedoista halutut pintamallit. Kiertotalousprojekteissamme otamme tarketietoja säännöllisesti mm. eri leikkaus- ja täyttötasojen toteumista sekä suurien vallirakenteiden stabiliteeteista. Vallien ollessa näin suuret, voidaan stabiliteetin seuranta suorittaa myös dronella avulla tuotetusta pistepilviaineistosta eikä. Toiminta helpottuu, koska seuranta toteutuu aina uutta ainestoa tuottaessa. Mikäli on tarve tiheämmälle seurannalle kuin prosessikaaviossakin esitetyle noin yksi kerta kuukaudessa, voidaan vallin reunoja käydä mittaamassa myös GNSS-mittauksella.

Vastaanottoaikojen hallintaan on pääasiassa varattu sähköinen siirtoasiakirja sekä terminaalikäytössä dronella tuotettu aineisto. Hirvihaarassa vastaanotettaessa vain puhtaita maa-aineksia testasimme myös puomijärjestelmää vastaanottoaikan hallintaan. Puomijärjestelmällä päästään kuormien lukumäärän tarkkuuteen ja tällä voidaan arvioida myös tonnimääriä, jotka ovat yleensä tarvittavat mittausperusteet ympäristöluvallisissa kohteissa. Tämä toimii niin, että meillä täytyy olla tiedossa ajoneuvojen akselimäärät, jonka perusteella voimme olettaa meille tuotavan ajoneuvon kuljetuskapasiteetin maksimimäärä joka kerralla. Tämä toimii myös meillä laskutusperusteena, meille on kuitenkin ilmoitettava aina meille tuotavat maa-ainekset erikseen. Maa-ainekset on jaettu Hirvihaarassa kolmeen eri kategoriaan; louhe, kitkamaat sekä täyttömaat. Kitkamaihin lukeutuvat sora sekä moreeni ja täyttömaihiin savi, siltti sekä pintamaat.

Järjestelmässä on varattu mahdollisuus siihen, että siirtoasiakirja integroidaan puomijärjestelmään rajapinnan kautta ja puomilla hallinnoidaan ainoastaan kulkuoikeuksia. Siirtoasiakirjan käyttö on tarkoitus laajentaa myös ylijäämämaiden seurantaan. Tämä helpottaa moniprojektihallintaa, koska voimme seurata määriä aina yhden ja saman järjestelmän kautta.

6 Digitaalinen alusta käytössä

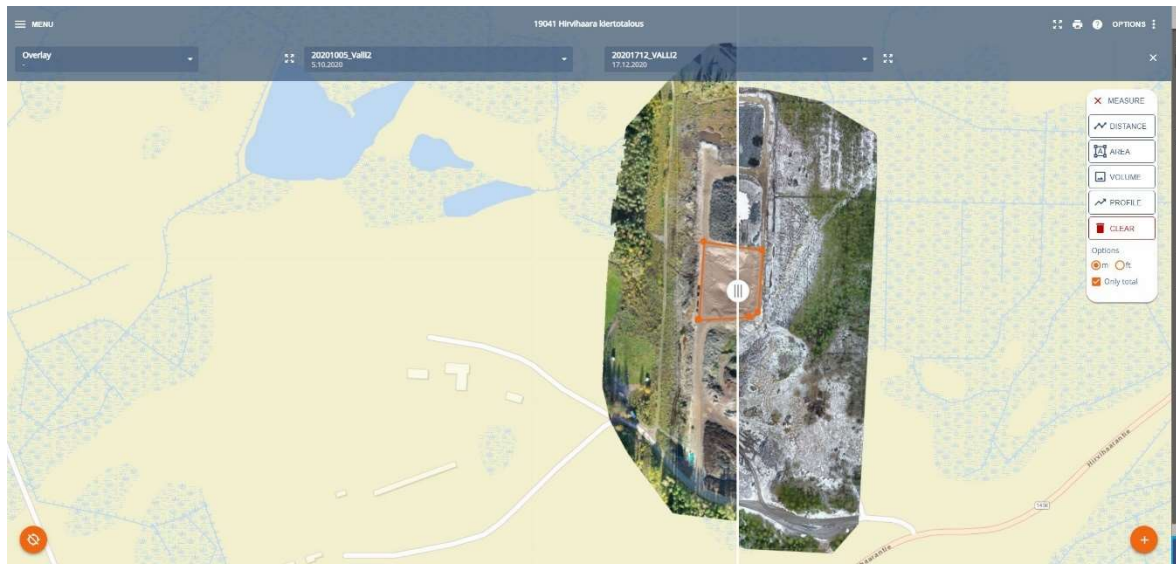
6.1 Käyttökokemukset tähän mennessä

Järjestelmän kaikkia osia ei ehditty kokeilemaan samalla projektilla yhtä aikaa. Tähän vaikutti Hirvihaarassa ympäristöluvan käsittelyn viivästyminen. Järjestelmää testattiin kokonaisuudessaan, mutta ilman sähköistä siirtoasiakirjaa. Hirvihaarassa käytössä olivat siis puomijärjestelmä, drone, sekä siihen liittyvät ohjelmistot, GNSS-mittaus sekä pilvipalvelu.

Hirvihaaran ympäristölupaehdojen päivittämisen viivästyksen takia, tähän raporttiin lisättiin mukaan myös Marjalan kiertotalousprojektimme. Projektin osalta käsitellään vain sähköisen siirtoasiakirjan käyttöä sekä koneohjauksen kokemuksia Novanger palvelun näkymästä. Tämä ei vaikuttanut valitsemiemme ohjelmien kokonaisarviontiin, vaan saimme myös hyödyllistä tietoa siitä, miten järjestelmän osat toimitat erillisinä muilla projekteilla. Marjalassa on myös käytössä pilvipalvelu, johon aineistot tuotetaan dronea ja GNSS-mittausjärjestelmää käyttämällä.

6.1.1 Dronen käyttökokemukset

Järjestelmän käyttöönotossa dronella ensimmäiset aineistot kuvattiin Hirvihaarassa 5.10.2020 ja viimeisin 17.12.2020. Kuvassa 23 on esitetty Pointscenen compare-työkalun toimintaa, jolla voidaan visuaalisesti seurata työmaan etenemistä. Työkalu on erittäin käytökelpoinen esimerkiksi väylähankkeissa väylän rakentamisen edistymistä seurattaessa. Kuvassa vasemmalla on dronella kuvattu ensimmäinen kuvausaineisto ja oikealla viimeisin aineisto. Kuvien näkymää voi liu'uttaa halutessaan myös ylhäältä alaspäin.



Kuva 23. Compare-työkalu.

Tähän mennessä dronen osalta käyttö on sujunut ennakko-odotusten mukaisesti sekä suunnitelmallisesti. Kuvauskertoja on kertynyt maiden vastaanoton aikana prosessikaavion mukaisesti keskimäärin kerran kuukaudessa. Hirvihaarassa ei ole kuvattu uutta aineistoa vielä vuoden 2021 puolella, koska vastaanottoa ei ole työmaalla ollut. Dronella pystytään kuvaamaan yhdellä akulla Hirvihaaran kokoinen alue kerralla. Akkuja on hankittu dronen mukana yhteensä 3 kappaletta, joten kuvauskapasiteettia on riittävästi. Seuraavassa Hirvihaaran vaiheessa kuvattava alue kolminkertaistuu ja saamme testilennon perusteella kuvattua koko alueen kerralla riittävällä varmuudella. Akun vaihto onnistuu helposti myös kesken kuvauksen. Sovelluksen kautta lento keskeytetään ja ohjataan drone takaisin lähtöpaikkaan, laskeudutaan, vaihdetaan uusi akku, jonka jälkeen jatketaan ennakkoon määriteltyä lentoreittiä. Lentokertoja kertyi tämän opinnäytetyön prosessin aikana molemmille projekteille kolme kertaa eli yhteensä kuusi aineistoa.

Dronea ehdittiin testaamaan myös talviolosuhteissa. Talvella alueen maanpintaa ei lumipeitteen vuoksi saada kartoitettua, mutta talvi ei estä kuvausta. Testilentomme suoritettiin 17.2.2021, jolloin Marjalassa oli pakkasta -12 astetta, olosuhteet muuten aurinkoinen ja lähes tyyni. Havaittiin, että kesällä tuulinen tai helteinen sää vaikuttaa enemmän akun kestoon kuin talvinen kylmä saa. Mitattua dataa tästä ei ole kerätty. Lumisateella dronea ei ole testattu, eikä myöskään vesisateella. Ennen jokaista lentoa suoritettiin ns. shake-off ja lennoista pidettiin lentopäiväkirjaa, johon kirjattiin pilotin lisäksi päivämäärä, lähtö- ja lopetusajat, lentoalue sekä lennon tyyppi eli VLOS.

Raportin kirjoitusaikana pakolliseksi piloteille tulivat verkossa suoritettavat teoriakokeet. Teoriakoe suoritettiin 25.2.2021, mutta valvottua teoriakoetta ei ehditty suorittaa raportin kirjoitusaikana. Verkkoteoriakokeesta saatu todistus on voimassa 5 vuotta suorituspäivästä

alkaen ja se oikeuttaa lentämään avoimessa kategoriassa A1 ja A3 droneja. Valvottu lisäteoriakoe vaaditaan luokkaan avoin A2, johon suurin osa Kreaten dronetoiminnasta sijoittuu. Sijoitumme aina luokkaan avoin, joka tarkoittaa sitä, että lennättäminen tapahtuu alle 120 m korkeudessa, alle 25 kg dronella sekä aina VLOS-tyyppisesti. Kuvassa 24 on esitetty eri avoimen luokkien vaatimukset (Droneinfo, 2020).

Avoin A1	Avoin A2 ↓	Avoin A3
CE merkinnät: C0 ja C1	CE merkinnät: C2	CE merkinnät: C2, C3 ja C4
Maksimipaino: 900 grammaa	Maksimipaino: 4 kg	Maksimipaino: 25 kg
Lentäminen sallittu yksittäisten ihmisten yli, mutta ei ihmisjoukkojen päällä	Lentäminen sallittu turvallisella etäisyydellä ihmisistä	Lentäminen sallittu kaukana ihmisistä ja asutuksesta
UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida
Koulutusvaatimus:	Koulutusvaatimus:	Koulutusvaatimus:
Yli 250 gramman laitteen kauko-ohjaajan tulee olla suorittanut verkkotentti	Verkkotentti ja valvottu lisäteoriakoe	Verkkotentti

Kuva 24. Droneinfon alakategorialuokittelut. (Droneinfo, 2020).

Mikäli kuvaisimme työmaita alkutilanteissa eli käytännössä tyhjiä tontteja, toimisimme luokassa avoin A3, mikäli kuvaamme käynnissä olevia työmaita tai esimerkiksi väylä- tai silta-hankkeiden tilanteita, ei voida välttyä ihmisten läheisyydessä lennättämiseltä ja toiminta sijoittuu tällöin luokkaan avoin A2. (Droneinfo, 2020)

6.1.2 Droneaineston prosessointi

Prosessointiohjelmiston päädyimme ottamaan käyttöömme Kreaten muiltakin yksiköiltä saatujen käyttökokemusten perusteella. Lennon suunnittelun vaihtehtona ollut dronevalmistajan oma sovellus ei soveltunut lentosuunnittelunsa puolesta käyttöömme yhtä hyvin kuin valitsemamme. Valintamme ainut negatiivinen ja kehittämistä vaativa ominaisuus oli omien karttapohjien tai suunnitelmien käyttömahdollisuus. Uutta projektia aloitettaessa, kuten Hirvihaaran tapauksessa kuvausalueen määrittäminen metsän päälle onnistuu kyllä, mutta alueen tehokas rajaaminen helpottaa ja nopeuttaa prosessointivaihetta merkittävästi. Kuvausalueen määrittäminen on esitetty jo aiemmin kuvassa 8.

Prosessointiohjelman työpöytäversion ohella testattiin myös sama ohjelma pilvipalveluna. Ohjelma poikkeaa merkittävästi työpöytäversion käytöstä. Pilvipalvelulle on valittavissa

ainoastaan kuukausimaksullinen versio, joka on hinnoiteltu vastaavaksi kuin työpöytäversiokin.

Erot näiden ohjelmien välillä alkavat jo kuvien latausvaiheesta. Pilvipalveluun kuvat voi ladata suoraan älypuhelimien sovelluksesta, joka on hyvä ominaisuus. Tämä vaatii tosin projektin laajuudesta riippuen, hyvän internetyhteyden. Hirvihaaran alueella mittasimme heikoista signaaleista johtuen DNA:n sekä Elisan kuuluvuusalueet. Molemmat osoittautuivat olevan juuri kuuluvuusalueiden rajalla. Tässä tapauksessa kuvien siirtäminen omalle tietokoneelle USB-C kaapelia käyttäen suoraan dronesta osoittautui helpoimmaksi ja nopeimmaksi vaihtoehdoksi.

Pilvipohjaisesta versiossa lisäksi puuttuu kaikki oleelliset osat, joita työpöytäversiossa käytämme. Työpöytäversiossa on mahdollista tarkistaa 2 kertaa pistepilven toimivuus ennen prosessointia. Prosessoinnin tarkistusominaisuudet tosin ovat laadukkaan aineiston edellytys ja tärkeä vaihe, koska täysi prosessointi vaatii aikaa työpöytäversiossa noin 6-10 tuntia riippuen aineiston laajuudesta. Prosessointi kannattaakin suorittaa vasta työpäivän päättyessä ja jättää kone prosessoimaan yön yli. Prosessointi vaatii koneelta paljon tehoa sekä muistia ja tietokoneella on hidasta lukea jopa sähköposteja prosessoinnin aikana. Pilvessä tapahtuva prosessointi ei kuormita konetta yhtään ja olisi mahdollista tehdä työpäivän aikanakin. Suurin ero, jonka takia pilvessä tapahtuva prosessointi ei sovellu käyttöömme, on prosessoinnin attribuuttien muutosten puute. Voimme muokata työpöytäversiossa haluamamme prosessoinnin tason sekä jälkikäsitteilyn juuri sellaiseksi kuin haluamme. Sekä raportin kirjoitushetkellä, pilvestä ei voida tuottaa meille tarpeellisia pintamalleja (.DSM), joita tarvitsemme käyttäessämme toista pilvipohjaista ohjelmaamme. Pilvipohjainen prosessointi on siis lähinnä tarkoitettu ohjelmaksi, jolla suoritetaan myös mittaukset eikä sieltä viedä dataa enää muihin palveluihin.

6.1.3 Puomijärjestelmä

Puomijärjestelmä havaittiin Hirvihaarassa käyttöönoton pienten ongelmien jälkeen hyödylliseksi ajolupien ja seurannan hallintatavaksi. Käyttöönotossa ongelmat keskittyivät lähinnä tietotekniikkaan. Usean yön aikana järjestelmä tippui pois verkosta eikä yhdistynyt tämän jälkeen. Kamera toimi, mutta mikäli ajoneuvon rekisterikilpi ei ollut lukukelpoinen, ei järjestelmän varatoimintona ollut PIN-koodinäppäimistö toiminut. Ongelma toistui kuitenkin useana eri päivänä ja samanlaisena. Ongelma korjaantui usean korjausyrityksen jälkeen eikä vika ole toistaiseksi uusiutunut. Etukäteen suurimpana potentiaalisena ongelmana pidettiin toimittajan puolelta kylmiä talvipäiviä. Riittävän kylmät ilmat voivat hyydyttää puomin mekaanisen toiminnan tai runsaslumisena talvena riittävän paksu lumipeite olisi voinut estää induktiosilmukoiden toiminnan. Näitä ongelmia ei talvella runsaasta lumitilanteesta

huolimatta ilmennyt. Ainoa talven muodostama ongelma oli puomiin jäätyminen kiinni telineeseen. Puomin osa, joka lepää telineen päällä, päällystettiin ns. pakkasmatolla, joka on 10 mm paksua solukumieristettä, jota käytetään rakennustyömailla mm. talvella paikallavalutöiden aikana suojaamaan kovettumisvaiheessa olevia betonirakenteita pakkaselta. Pakkasmaton pala eristi riittävästi puomia telineestä, eikä jäätynyt enää kiinni. Ongelma oli erittäin pieni, koska puomin aukeamiseen riitti käsivoimin nostaminen, jotta puomi aukesi.

Järjestelmän suurimpana ongelmana ja haittapuolena on hinta. Järjestelmä on kyllä toimiva ja hyödyllinen, mutta näkisin, että samat hyödyt ovat saavutettavissa myös toisen toimittajan tarjoamalla ratkaisulla. Mikäli vastaava järjestelmä halutaan ottaa käyttöön, olisi hankintapäätös suotavaa tehdä ennen alueen valmistelevien töiden aloitusta. Puomille on rakennettava perustukset sekä tehtävä riittävät varaukset sähköjohdoille. Induktiosilmukat vaativat käytännössä myös päällystetyn alueen, pelkkä murskepinta ei riitä. Puomijärjestelmä lisäksi rakentuu kahden eri toimittajan tarjoamista palveluista ja osista. Näiden välillä havaittiin lisäksi käyttöönoton aikana pieniä erimielisyyksiä ja viiveitä korjaustoimenpiteiden suorittamisessa. Olen kuitenkin sitä mieltä, että mikäli automaattisen kulunvalvonnan katsotaan olevan tarpeellinen ja järjestelmälle löytyy lisäksi jatkokäyttöä, on automaattinen puomijärjestelmä erittäin hyvä ratkaisu. Tämä tullaan ottamaan jatkossa huomioon Kreaten kiertotalousterminaaleja suunnitellessa. Järjestelmään on mahdollista integroida myös sähköinen siirtoasiakirja sekä mahdollinen vaaka. Siirtoasiakirjan integrointia ei tässä tapauksessa ehditty käsittelemään vaan sen mahdollisuuksia pohditaan seuraavassa kappaleessa, jossa käsitellään alustan jatkokehitysmahdollisuuksia.

6.1.4 Sähköinen siirtoasiakirja

Sähköinen siirtoasiakirja otettiin käyttöön Hirvihaarasta poiketen Marjalan kiertotalousalueella. Ensimmäiset siirtoasiakirjat saatiin betonimurskeesta 0/300 helmikuussa 2021. Siirtoasiakirjat täyttävät lain vaatimuksen sekä toimivat osaltaan myös hyvin laskutusperusteena Marjalassa. Marjalassa veloituseruste on myös sama kuin Hirvihaarassa, kuormaperusteinen, eikä vaakaa ole käytössä. Vaakajärjestelmää arvioidaan käyttöönotettavaksi Marjalan kiertotalousalueelle, mutta hankintapäätöstä ei ole vielä tehty. Puomijärjestelmän käytöstä Hirvihaarassa ja sähköisen siirtoasiakirjan käytöstä Marjalassa saamme hyvää vertailutietoa siitä, miten kuormien seuranta toimii näillä järjestelmillä. Siirtoasiakirjan ollessa lakisäätäinen jätettä siirrettäessä ja vastaanotettaessa, olemme ottamassa sähköistä siirtoasiakirjaa käyttöön myös puhtaita maa-aineksia vastaanotettaessa. Testaamme järjestelmän toimivuutta toimia samalla myös taloudenhallinnassa kuormien seurantaan ja laskutusperustana toimimiseen kokonaisuudessaan. Siirtoasiakirjan laatiminen on asiakaidemme vastuulla etenkin puhtaita maa-aineksia toimitettaessa ja kuormien lukumäärä

täytyy jollain tavalla saada tarkistettua. Tulemme testaamaan toista järjestelmätoimittajaa Marjalassa siirtoasiakirjan rinnalla, jonka hinta on murto-osan Hirvihaaran hinnasta. Tähän järjestelmään ei ole mahdollista kytkeä automaattista puomia tai älykästä seuranta.

6.1.5 Pilvipalvelu työmaan seurannassa

Pilvipalveluun ladattiin dronella kuvatut 3 eri aineistoa molemmille projekteille ilman min-käänlaisia ongelmia. Tiedostojen lataus ja prosessointi on erittäin sujuvaa. Kuten kappaleessa 5.4.2. kuvasin pilvipalvelun työkaluja sekä niiden käyttöä tarkemmin. Pilvipalveluun päivittyivät myös mittaustyökalut raportin kirjoitushetkellä ja päivitykset olivat onnistuneita, aiemmin pistepilvestä tilavuuksien mittaaminen oli hieman kankeaa eikä mittausten toisto ollut helposti toteutettavissa tulevaisuutta ja kiertotalousterminaaleja ajatellen.

Pilvipalvelu osoittautui todella hyväksi ohjelmaksi kiertotalousyksikön käyttöön ja saman toimittajan kanssa jatkamme tiivistä yhteistyötä alustan jatkokehityksen parissa. Olemme lisäksi sopineet yhteistyöstä paikkatietopohjaisen kiertotalouskartan kehittämisestä Kreatelle. Toimittajan kanssa yhteistyö osoittautui pilvipalvelun jälkeen mielenkiintoiseksi yhteistyöksi. Kehitettävä kiertotalouskartta on tarkoitus yhdistää kiertotalousalustaan tulevaisuudessa ja yrittää saavuttaa entistä enemmän hyötyjä kiertotalouden kannalta.

6.1.6 Saavutetut hyödyt

Alustan käyttöönotolle ei asetettu mitään mittareita, joilla mitata konkreettisesti saavutettuja hyötyjä. Tässä kohdassa esitetyt näkökulmat perustuvat raportin kirjoittajan omiin näkemyksiin saavutetuista hyödyistä. Osa hyödyistä perustuu lakisäätteisiin muutoksiin ja osa on perusteltavissa esimerkiksi mittamiehen tarpeen poistumisella.

Projektille asetetut Kreaten omat tavoitteet olivat alustan rakentaminen ja käyttöönotto vuoden 2021 kevääseen mennessä. Tavoitteet asetettiin keväällä 2020. Lakiin perustuva sähköinen siirtoasiakirja saatiin käyttöön Marjalan kiertotalousprojektilla helmikuussa 2021, joka oli alustan viimeinen käyttöönotettava osa. Raportin kirjoittamisen aikana voimassa olevan jätelain 646/2011 121 § määrittellään siirtoasiakirjan käyttöä.

Jätteen haltijan on laadittava siirtoasiakirja vaarallisesta jätteestä, sako- ja umpikaivolietteestä, hiekan- ja rasvanerotuskaivojen lietteestä, pilaantuneesta maa-aineksesta ja muusta rakennus- ja purkujätteestä kuin pilaantumattomasta maa-aineksesta, joka siirretään ja luovutetaan 29 §:ssä tarkoitettulle vastaanottajalle. Siirtoasiakirjassa on oltava valvonnan ja seurannan kannalta tarpeelliset tiedot jätteen lajista, laadusta, määrästä, alkuperästä, toimituspaikasta ja -päivämäärästä sekä kuljettajasta.

Jätteen haltijan on huolehdittava siitä, että siirtoasiakirja on mukana jätteen siirron aikana ja että se annetaan siirron päätyttyä jätteen vastaanottajalle. Vastaanottajan on vahvistettava jätteen vastaanotto asiakirjaan tehdyllä allekirjoituksellaan tai muin luotettavin järjestelyin. Siirtoasiakirja voi olla sähköisesti tallennettuna, jos se on luettavissa kuljetuksen aikana. Jätteen haltijan ja vastaanottajan on säilytettävä siirtoasiakirja tai sen jäljennös kolmen vuoden ajan. (Jätelaki 646/2011 121 §)

Sähköinen siirtoasiakirja täyttää Jätelain kuvauksen siirtoasiakirjasta ja siirtoasiakirjalla on täysi integraatio tulevaan käyttöön otettavaan siirtoasiakirjarekisteriin. Eli siirtoasiakirjan toimittaja on mahdollistanut siirtoasiakirjan integraation ja hoitaa siirtovelvoitteen. Sähköistä siirtoasiakirjaa käytetään Marjalassa lisäksi laskutusperusteena, alueen esirakennusvaiheessa pintamaat sijoitetaan kenttärakenteiden täyttöihin ja alueella on paljon hyvälaatuista moreenia, jolla tehdään ensisijaisesti viimeiset pinnan täyttö- ja muotoilukerrokset. Alkuvaiheessa alueelle ei oteta vastaan puhtaita maa-aineksia, mutta vastaanoton alkaessa siirtoasiakirjaa on tarkoitus käyttää myös puhtaiden maa-aineksien seurantaan. Tällä menettelyllä emme tarvitse kallista puomijärjestelmää Marjalan alueelle. Hirvihaarassa on tarkoitus tutkia seuraavaksi, onko siirtoasiakirja mahdollista integroida puomijärjestelmään.

Yhdessä pistepilviaineiston, koneohjausmallien sekä GNSS-mittauslaitteen kanssa ei mitamiehille ole tarvetta työmailla, joissa digitaalinen alusta on käytössä. Tämä vaatii työnjohdon perehdytyksen koko alustan käyttöön sekä alustan osien aktiivista käyttöä. Esimerkiksi dronen käyttöä ei ole alustassa rajattu millään lailla. Tietyillä toimittajilla oli rajoituksia esimerkiksi lentokertojen määrässä tai kuvausaineistojen koolla projektilla. Halvemmallalla kuukausimaksullisella versiolla prosessointiohjelmassa olisi digikuvien määrä rajattu 2500 kuvaan / projekti tai toisella toimittajalla olisi ollut kuvauskertoihin perustuva maksu pistepilviaineiston tuottamiselle. Tällä hetkellä Kreate omistaa dronen, GNSS-mittalaitteen sekä 1 lisenssin prosessointiohjelman, jolloin lentokertoja ei ole rajattu määrällisesti tai rahallisesti. Tarpeen vaatiessa lentoja voidaan suorittaa vaikka joka toinen päivä. Ainut rajoittava tekijä on prosessoinnin vaatima aika. Keskimäärin yksi kerta kuukaudessa suoritettu kuvaus dronella havaittiin hyväksi kuvausväliksi. Dronea ei ole myöskään rajattu vain yhdelle projektille vaan sillä voidaan lentää millä projektilla tahansa. Ainoa kustannus, joka täytyy ottaa huomioon, on pilvipalvelun kuukausimaksu, joka tulee jokaiselta uudelta projektilta, johon prosessoitua aineistoa ladataan.

Saavutettuihin hyötyihin voidaan myös lisätä, että työnjohdon läsnäolon tarve kiertotalousprojekteilla on vähentynyt ja seurannan tarkkuus on parantunut. Puomin läpi ei ole mahdollista ajaa ilman voimassa olevaa kulkulupaa tai tiedossa olevaa PIN-koodia. Kulkuluvat

sekä PIN-koodit on projektin sisäisesti määritetty kuljetusyrityksittäin sekä yksittäisille kuormille kertakäyttöinen PIN-koodi, joka vaihdetaan aina yhden käyttökerran jälkeen. Vaikka puomi olisi nostettu ylös vapauttamalla puomin mekanismi, kamera kuvaa silti jokaisen puomista läpi kulkevan ajoneuvon.

7 Yhteenveto

Kehitysprojektin kesto oli noin 10 kuukautta. Työ alkoi kesäkuussa 2020 ja viimeinen digitaalisen alustan osa otettiin käyttöön helmikuussa 2021. Työ eteni hieman tutkimuksellisesta näkökulmasta katsottuna epäedullisesti ilman tarkempaa suunnitelmaa siitä, missä järjestyksessä osia hankitaan. Lähtötilanteessa yksi alustan osa oli jo hankittuna, koska Hirvihaaran projekti oli jo alkanut alkuvuodesta 2020 ja puomijärjestelmän osia, kuten puomien perustukset ja kaapelien suojaputket, tarvittiin jo alueella valmistelevia töitä tehdessä. Digitaalisen alustan tarpeiden suunnittelun aloitin jo heti toimeksiantajan kanssa aiheen sovituaamme.

Projekti lähti vauhdikkaasti liikkeelle, koska aloitimme tarjouspyyntöjen laatimisen sekä eri toimittajien kartoittamisen heti alustan osien tarkennuttua. Osa alustan osista on lakisääteisiä, kuten sähköinen siirtoasiakirja sekä osa on ollut jo Kreatella käytössä muillakin projekteilla kuten droneja, prosessointiohjelmisto sekä myös työmaan pilvipalvelu. Näitä ei hankittu suoraan vaan näille etsittiin vaihtoehtoja ja selvitimme niiden eroja neuvotteluvaiheessa. Tämä toimi osaltaan myös tämän opinnäytetyön tietoperustan hankkimisen tutkimuksellisenä osuutena. Toinen osa opinnäytetyön tutkimuksellista osuutta oli hankintojen jälkeen koekäyttöjen vaihe eli empiirinen vaihe, joka on toiminut tämän raportin tietoperustana käyttökokemuksien ja kehitysideoiden kuvaamiseen.

Olen ollut mukana hankinnoissa 10 vuoden työurani aikana heti alusta alkaen ja hankintakokemuksieni perusteella ohjelmistojen hankinta ei poikkea suuresti rakennusprojekteille aliurakoinnin hankinnasta. Käyttämiämme tarjousneuvottelun pohjia käytin apuna toimittajien haastatteluissa ja laadin vertailutaulukot omalle excel-pohjalle. Olemassa olevia pohjia ei voinut suoraan käyttää vaan ne toimivat enemmän apurunkona, koska pohjamme oli suunniteltu rakennustyömaan tarpeisiin. Hankinnoissa noudatimme hyviä hankintatapoja ja ilmoitimme tarjousprosessiin osallistuneille päätöksistämme. Myös hankintaprosessi noudatti Kreaten ohjeistusta ja lopulliset päätökset hankinnoista suoritti yksikön johtajamme esittämieni vertailujen ja suositusten perusteella.

Kehitettävää myös ilmeni työn edetessä. Eri osien pienien parannusehdotusten lisäksi myös käyttämissämme työkaluissa, kuten GNSS-mittalaitteessa olisi päivittämisen varaa. Vaikka emme mittaakaan kuin yksittäisiä pisteitä ja otamme tarkkeita pinnoista ja kenttä rakenteista, olisi kuitenkin hyvä, että yksiköllä olisi edes yksi helppokäyttöinen ja varmatoiminen mittalaite. GNSS-mittalaitteen kanssa ilmeni eniten ongelmia työn aikana.

Hankintojen jälkeen aloitimme koekäytöt ja testaukset. Niin puomijärjestelmän kuin sähköisen siirtoasiakirjan kanssa oli käyttöönoton alussa hieman ongelmia. Ongelmat olivat

kuitenkin niin pieniä ja enemmän käyttäjiin kohdistuvia, että niitä ei ole ollut tarpeen analysoida enempää. Kaikki ohjelmien toiminnot ovat toimineet työn sekä raportin kirjoittamisen aikana hyvin eikä lumina ja kylmä talvi ole vaikuttanut toimivuuteen.

Kiertotalouden digitaalinen alusta, kiertotalouskartta sekä vähähiilisen rakentamisen työkalut yhdistettäessä kaikki yhdeksi kokonaisuudeksi kuulostaisi hienolta sovellukselta. Kaikki tieto yhdessä ohjelmassa, jolla voidaan hallita omia kiertotalousterminaalejamme, avustaa laskijoitamme ja työnjohtajiamme sekä samalla vähentää vastuullisena johtavana vaativien kohteiden infrarakentajana kuulostaa todella hienolta. Valitettavasti tässä opinnäytetyössä kaikkea ei ehditty rakentamaan. Näenkin oleellisempina, että tämän tutkimus- ja kehitystyön tuloksena saavutettiin toimeksiantajan asettamat tavoitteet saada kiertotalousyksikölle tuotettua kehittämiskelpoinen alusta tai kokoelma eri ohjelmistoja, joista rakennamme ajan kanssa suurempaa ja toimivaa kokonaisuutta, jolla edistää omalta osaltamme kiertotaloutta osana yrityksen strategiaa sekä auttaa yritystä toimimaan entistä ympäristöystävällisemmin ja vastuullisemmin kiertotaloutta edistäen.

Koen, että toimeksiantajan sekä yrityksen tavoitteet täyttyivät työn osalta. Järjestelmä on saatu käyttöön raportin kirjoitushetkellä kahdella eri projektilla hieman eri kokoonpanoilla. Projektin aikana lupaprosessi hieman viivästy Hirvihaaran projektin osalta, mutta toisaalta Marjalaan kiertotalousalueella lupaprosessi eteni toteutusvaiheeseen ja päätin ottaa myös Marjalan tämän opinnäytetyön osaksi, jotta sain sähköisen siirtoasiakirjan mukaan tähän raporttiin.

Opinnäytetyön raportin pituus ei suoraan kerro tähän työhön käytettyä aikaa, koska varsinaisen tuotoksen eli digitaalisen alustan hankinta- ja kehitystoimet aloitettiin jo kesäkuussa 2020. Tiedonkeruuta ja tietoperustan rakentamista hankintoja varten on tehty koko ajan oman työn ohella sekä etsitty aktiivisesti uusia toimittajia eri komponenteille sekä ohjelmille. Osia otettaessa käyttöön yksi kerrallaan on myös testausta suoritettu osa kerrallaan työmaaolosuhteissa. Lisäksi testausta onnistuimme yhdistämään myös muiden kehitysprojektien kanssa. Testasimme saman aikaisesti dronen ominaisuuksia sekä aineiston prosessointia kun havainnollistimme kehityspäälliköllemme työn kokonaiskuvaa Hirvihaarassa sekä dronen hyödyntämistä työmailla työturvallisuuspäälliköllemme. Samanaikaisesti Hirvihaarassa testattiin Trimblen Sitevision lisätyn todellisuuden, AR:n, mahdollisuuksia ja käyttötarpeita.

Lähteet

Kreate Oy – tietoa meistä, viitattu 4.12.2020, saatavissa <https://kreate.fi/yritys/>

Yleiset inframallivaatimukset YIV 2019/1. Buildin SMART Finland, infra-toimialayhtymä. Viitattu 11.2.2021. Saatavissa https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/06/YIV-Yleiset-inframallivaatimukset-2019_1.pdf

Ojasalo, K. Moilanen, T. Ritalahti, J. 2018. Kehittämistyön menetelmät. Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 3.-5.painos. Helsinki: Sanoma PRO Oy

Ahonen, A. Ali-Yrkkö, J. Avela, A. Junnonen, J.-M. Kulvik, M. Kuusi, T. Mäkäräinen, K. Puhto, J. 2020. Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja.

Ilmastolaki 609/2015. Viitattu 15.2.2021 Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609>

Päästökauppalaki 8.4.2011/311. Viitattu 15.2.2021. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110311>

Kuittinen, M. 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Viitattu 15.2.2021. Saatavissa https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma.pdf

Ympäristöministeriö. Maankäyttö ja rakennuslaki. Viitattu 15.2.2021. Saatavissa <https://ym.fi/maankaytto-ja-rakennuslaki>

Ympäristöministeriö. Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Viitattu 15.2.2021. Saatavissa <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

Bionova Oy. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Viitattu 15.2.2021 saatavissa https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602

Jäväjä, P. Lehtoviita, T. 2016. Tietomallintaminen rakennustyömailla.. 1.painos. Helsinki: Rakennustieto Oy

- Lehtonen, J., Kinnunen, R. 2019. Digitaaliset työkalut kiertotaloudessa. Ympäristöministeriö. Viitattu 16.2.2021. Saatavissa <https://www.ym.fi/download/noname/%7B48B9D04D-D7DC-4D99-B25E-7D352C1ECD90%7D/152863>
- Salminen, J. 2020. Betonijätteen EoW-asetus. Viitattu 17.2.2021. Saatavissa https://circvol.fi/wp-content/uploads/2020/05/Salminen_010420_esitysmateriaali.pdf
- Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. 843/2017. Viitattu 17.2.2021. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>
- Jätelaki 646/2011. Viitattu 17.2.2021. Saatavissa <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>
- Suomen ympäristökeskus SYKE. 2018. Kiertotalous. Viitattu 17.2.2021. Saatavissa https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kiertotalous
- Droneinfo. EU:n dronesäännöt. 2021. Viitattu 17.2.2021. Saatavissa <https://www.droneinfo.fi/fi/eun-dronesaannot>
- Paikkatietoikkuna. Viitattu 29.10.2020. Saatavissa <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>
- Wingtra. Viitattu 18.2.2021. Saatavissa <https://wingtra.com/ppk-drones-vs-rtk-drones/>
- PIX4D. 2021. Viitattu 22.2.2021. Saatavissa <https://www.pix4d.com>
- Kauppila, J. 2020. Jätesäädöspaketin pääsisältö. Ympäristöministeriö. Viitattu 23.2.2021. Saatavissa <https://www.ym.fi/download/noname/%7BD4ECD64A-B5F3-4E93-9BA3-5AC7A33057BC%7D/158429>

