

Alexi Härkin

ÄLYKKÄIDEN RATKAISUJEN HYÖDYNTÄMINEN KORJAUS- SUUNNITTELUSSA

Opinnäytetyö
Rakennustekniikka

2019



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Aleksi Härkin	Insinööri (AMK)	Marraskuu 2019
Opinnäytetyön nimi		
Älykkäiden ratkaisujen hyödyntäminen korjaussuunnittelussa		78 sivua 9 liitesivua
Toimeksiantaja		
Sitowise Oy		
Ohjaajat		
Jani Pitkänen, Juha Karvonen, Petri Backström		
Tiivistelmä		
<p>Rakennusalalla on nopeasti yleistymässä tarve ja halukkuus toteuttaa myös korjauskohteiden suunnittelu hyödyntäen tietomallinnusta. Opinnäytetyön toimeksiantajalla Sitowise Oy:ssä on käynnissä aiheeseen liittyen laajempi kehitysprojekti, johon sisältyy yrityksen omaan käyttöön laadittavaa ohjeistusta ja useampi opinnäytetyö.</p> <p>Kehitystyön tavoitteena on selvittää korjausrakentamisen rakennesuunnittelun prosessin tehostamista hyödyntämällä älykkäitä tiedonkeruu- ja käsittelytapoja sekä selvittää Autodeskin tuoteperheen mahdollistamien tiedonkäsittelytapojen hyödyntämistä osana suunnitteluprosessia. Kehitystyön tavoitteena on, että Revit-ohjelmisto toimii yhtenä suunnittelu-työkaluna muiden rinnalla ja organisaation ohjeistus sekä osaaminen mahdollistavat jatkuvan tietomallinnusosaamisen kehittämisen.</p> <p>Inventointimallilla on korjausrakentamisen tietomallinnuksessa keskeinen rooli, sillä uusien suunnitelmien tekeminen edellyttää aina riittäviä lähtötietoja. Vanhojen rakennusten piirustukset eivät välttämättä pidä paikkaansa, joten inventointimallinnus tulisi perustua todellisiin mittauksiin rakennuspaikalta tehtynä. Hyvällä inventointimallilla voidaan tehostaa korjaushankkeen valmisteluja sekä itse suunnittelutyötä. Opinnäytetyön pääpaino kohdistuu lähtötietojen hankintaan pistepilven avulla laserkeilausta, fotogrammetriaa ja ilmakehuvausta hyödyntäen sekä visuaalisen ohjelmoinnin tuomiin mahdollisuuksiin. Työssä vertaillaan pistepilven hyötyjä ja haasteita eri menetelmien välillä sekä niiden soveltumista eri käyttökohteisiin. Opinnäytetyön avulla pyritään löytämään tehokkaat käyttötarkoituksen mukaiset ratkaisut eri lähtötietojen hankintamenetelmien välille. Testiprojektien avulla selvitettiin fotogrammetrian tarkkuusteknisiä asioita ja rajoitteita, sekä pistepilviohjelmistojen käytettävyyttä tehokkaan työnkulun takaamiseksi tietomallinnuksessa Revit-ohjelmiston kanssa.</p> <p>Opinnäytetyön kautta Sitowise saa tietoa älykkäiden tiedonhankintamenetelmien käytöstä, sekä niiden tuomista mahdollisuuksista korjaushankkeissa. Tarkemmat tulokset jäävät ai-noastaan yrityksen tietoon, eikä niitä julkaista tässä työssä. Opinnäytetyön jälkeen toiminnan kehittämistä jatketaan kehitysryhmän kautta. Uuden teknologian hyödyntämisellä kustannustehokkaasti voitaisiin kasvattaa yrityksen imagoa edelläkävijänä korjaushankkeissa.</p>		
Asiasanat		
Fotogrammetria, ilmakehuvaus, laserkeilaus, pistepilvi, visuaalinen ohjelmointi		

Author (authors)	Degree	Time
Aleksi Härkin	Bachelor of Engineering	November 2019
Thesis title Utilizing of intelligent solutions in the renovation planning		78 pages 9 pages of appendices
Commissioned by Sitowise Oy		
Supervisors Jani Pitkänen, Juha Karvonen, Petri Backström		
<p data-bbox="164 745 300 768">Abstract</p> <p data-bbox="164 813 1471 947">There is a need becoming common within the building trade and the willingness to carry out the planning of renovation targets with building information modelling. The principal of the thesis has running a wider development project which includes instructions to the company and several theses relating to the subject.</p> <p data-bbox="164 992 1471 1193">The objective of the development work was to clarify the structure planning of the renovation by utilizing intelligent ways for information collecting and handling the intensifying of the process and clarifying the utilizing of the software of Autodesk as a part of the planning process. The objective of the development work is that Revit software serves as one planning tool next to others and the instructions and know-how of the organization make the developing of the constant information modelling possible.</p> <p data-bbox="164 1238 1471 1653">On the inventory model there is an important role in the information modelling of the renovation because the making of new plans always requires sufficient source information. Modelling one should be based on real measuring because the drawings of old buildings do not necessarily keep their place. The good inventory model can be used to intensify the preparations of the correction project and planning work. The main subject of the thesis is the acquisition of source information with the help of the point cloud utilizing the laser scanning, photogrammetry and aerial photography. Furthermore, the possibilities brought by the visual programming are clarified. In the work the advantages and challenges of the dot cloud are compared. Test projects are made to find the efficient solutions which are in accordance with the purpose of use. With the help of test projects, the exactness of technical matters and limitations of the photogrammetry were clarified to guarantee efficient workflow and the usability of the software with software.</p> <p data-bbox="164 1697 1471 1899">Sitowise gets information about the use of intelligent methods in the acquisition of information and about the possibilities in the correction projects brought by them through the Bachelor's thesis. More exact results stay only in the information of the company and they are not published in this work. After the thesis, the developing of the operation is continued through the development group. By utilizing of the new technology, the image of the company could be expanded cost-effectively as a pioneer in the correction projects.</p>		
<p data-bbox="164 1944 323 1966">Keywords</p> <p data-bbox="164 2011 1393 2045">Aerial photography, photogrammetry, laser scanning, point cloud, visual programming</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	KORJAUSRAKENTAMISEN STRATEGIA	10
2.1	Rakentamisen elinkaariajattelu	11
2.2	Elinkaarikustannukset ja -arviointi.....	13
2.3	Rakennuksen elinkaaren vaatimukset ja tavoitteet	14
3	TIETOMALLINNUS.....	14
3.1	Tietomallintamisen hyödyt	15
3.2	Tietomalliprosessin hyödyt korjaushankkeessa	16
3.3	Laadunvarmistus	18
4	YLEISET TIETOMALLIVAATIMUKSET 2012.....	18
4.1	Yleiset mallitekniset vaatimukset	19
4.2	Inventointimalli	21
4.3	Rakennemalli	24
4.4	Mallien jakaminen ja julkaisu	25
5	SUUNNITTELUPROSESSIN ETENEMINEN	26
5.1	Suunnitteluprosessin vaiheet.....	26
5.2	Korjausrakennushankkeen vaiheet.....	33
5.3	Inventointimallin vaiheistus	35
6	AUTODESK TUOTEPERHE	37
6.1	Revit-ohjelmisto	37
6.2	ReCap Pro/Photo.....	40
7	LÄHTÖTIETOJEN HANKINTA	42
7.1	Pistepilvi	43
7.2	Laserkeilaus.....	44
7.3	Fotogrammetria	47
7.4	UA-ilmakuvaus.....	51

8	ALGORITMINEN SUUNNITTELU	56
8.1	Visuaalinen ohjelmointi	57
8.2	Dynamo	58
9	ÄLYKKÄIDEN RATKAISUJEN HYÖDYNTÄMINEN	60
9.1	Haastattelut	60
9.2	Testiprojektit	65
10	JOHTOPÄÄTÖKSET	69
	LÄHTEET.....	74
	LIITE	79

Liite 1. Ilmailumääräys TRAFI/334638/03.04.00.00/2017
OPS M1-32

KUVALUETTELO

Kuva 1. Rakentamiselle asetettavat vaatimukset. (Ympäristöopas 2017)	10
Kuva 2. Tilaajan asettamat vaatimukset ja kestäväen kehityksen tavoitteet. (Ympäristöopas 2017).....	11
Kuva 3. Rakennuksen elinkaaren vaiheet. (Ympäristöopas 2017).....	12
Kuva 4. Tietomallintamisen hyödyt. (Kautto 2012, 4; Henttinen 2012, 5)	16
Kuva 5. Mallinnuksen tavoitteet. (Henttinen 2012, 5).....	17
Kuva 6. Suunnitteluprosessin vaiheet. (Henttinen 2012, 10)	27
Kuva 7. Korjausrakennushankkeen vaiheet. (Haavisto 2013).....	34
Kuva 8. Tietomallin tarkkuustasot hankkeen eri vaiheissa. (Henttinen 2012, 21)	36
Kuva 9. Revit perusnäkyä.	38
Kuva 10. Revitin Family-esimerkkejä.	39
Kuva 11. ProdLib lisäosa	40
Kuva 12. ReCap Photo -aloitusnäkyä. (Sitowise 2019)	41
Kuva 13. ReCap Photon työnkulku. (Sitowise 2019)	42
Kuva 14. Yhdistetty laserkeilaus ja fotogrammetria. (Sitowise 2019).....	44
Kuva 15. Tähyys ja kohdistuspisteen sapluuna. (Sitowise 2019)	45
Kuva 16. Fotogrammetrinen pistepilvireferenssi. (Sitowise 2019)	48
Kuva 17. Fotogrammetrialla tuotettu kaupunkimalli. (Sitowise 2019).....	49
Kuva 18. Ilmakuvauksella tuotettu ortokuva. (Sitowise 2019)	52
Kuva 19. Lennon suunnittelua Pix4D sovelluksella. (Sitowise 2019)	53
Kuva 20. Kuvauskooperi luokitella UA:ksi sekä RPA:ksi. (Sitowise 2019)	54
Kuva 21. Yleiset ohjeet lennättäjälle. (Droneinfo 2019)	55
Kuva 22. Dynamo. (Sitowise 2019).....	58
Kuva 23. Dynamon perusperiaate. (Sitowise 2019)	59
Kuva 24. RTK-GPS. (Sitowise 2019)	61
Kuva 25. Ilmakuvauksessa käytetty tähyys. (Sitowise 2019).....	62
Kuva 26. Testiprojekteissa käytetyt kamerat.....	65
Kuva 27. ReCap Photo. (Sitowise 2019).....	66
Kuva 28. RealityCapture. (Sitowise 2019)	66
Kuva 29. Pix4D. (Sitowise 2019)	67
Kuva 30. Objektikuvauksen perusperiaate. (Sitowise 2019)	68
Kuva 31. Sisäkuvauksen perusperiaate. (Sitowise 2019)	68
Kuva 32. ReCap-projekti tuotuna Revit-ohjelmaan. (Sitowise 2019.)	69

Sanasto:

BIM	Rakennuksen tietomalli (Building Information Modeling)
ICT	Tieto- ja viestintäteknikka (Information and communication technology)
IFC	Tietomalliohjelmistojen yhteinen mallien kuvaustapa ja tiedostomuoto mallien siirtämiseen ohjelmistojen välillä. (Industry Foundation Classes)
FEM	Termiä käytetään tietokonepohjaisesta lujuuslaskennasta, joka mahdollistaa monimutkaiset laskutoimitukset ja rakenteiden analysoinnit (Finite Element Method)
LVI	Talotekniikan lyhenne (lämpö, vesi, ilma)
LVIS	Talotekniikan lyhenne (lämpö, vesi, ilma, sähkö)
YTV	Yleiset tietomallivaatimukset
GPS	Satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Positioning System)
GCP	Laserkeilauksessa ja fotogrammetriassa käytetty tähyypiste (Ground Control Point)
.rcm	ReCap Photo-ohjelman tiedostomuoto (ReCap Mesh)
.rcs	ReCap-ohjelman pistepilvi tiedosto (Point Clouds)
.rcp	ReCap-ohjelman pistepilviprojektin tiedostomuoto (Point Cloud Projects)

1 JOHDANTO

Rakennusalan suunnitteluun liittyvissä tarjouksissa on nopeasti yleistymässä asiakkaan halukkuus toteuttaa myös korjauskohteiden suunnittelu hyödyntäen tietomallinnusta. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Sitowise, ja tämä opinnäytetyö on osa laajempaa korjausrakentamisen suunnittelun kehitysohjelmia.

Kehitysohjelmaa tehdään ensisijaisesti Kymenlaakson korjausrakentamisen yksikön projektimyynnin, koulutuksen ja projektien toteutuksen tarpeisiin. Toissijaisesti kehitysohjelmien kautta saatu tietotaito ja ohjeistukset voidaan laajentaa koko toimialan käyttöön.

Kehitysohjelmien tavoitteena on selvittää korjausrakentamisen rakennesuunnittelun prosessin tehostamista hyödyntämällä älykkäitä tiedonkeruu- ja käsittelytapoja sekä selvittää Autodeskin tuoteperheen mahdollistamien tiedonkäsittelytapojen hyödyntämistä osana suunnitteluprosessia. Tavoitteena on, että Revit-ohjelmisto toimii yhtenä suunnittelutyökaluna muiden rinnalla ja organisaation ohjeistus sekä osaaminen mahdollistavat jatkuvan tietomallinnusosaamisen kehittämisen.

Opinnäytetyön ohessa julkaistaan Sitowisen korjausrakentamisen yksikön käyttöön tietosisältö- ja työnkulkuohjeet Revit-ohjelmistolle sekä Revit-tietomallinnusympäristöön liittyville ReCap- ja ReCap Photo -ohjelmistoille. Yritykselle tuotettuja tietosisältö- ja työnkulkuohjeistuksia ei julkaista tässä opinnäytetyössä.

Sitowise on suurin suomalaisomisteinen rakennetun ympäristön suunnittelu- ja konsultointiyritys, jossa työskentelee 1700 alan asiantuntijaa. Suomessa toimipisteitä löytyy 20 paikkakunnalta, lisäksi Sitowisella on tytäryhtiöitä Ruotsissa, Norjassa, Virossa ja Latviassa sekä osakkuusyhtiö Puolassa. Sitowise syntyi vuonna 2017, kun infa- ja talonrakentamisen asiantuntijat Sito Oy ja Wise Group Finland Oy yhdistyivät. Wise Group perustettiin vuonna 2010 talonrakentamisen suunnittelu- ja konsultointiyrityksenä ja kasvoi seitsemän toimintavuodesta aikana alan viiden suurimman yrityksen joukkoon Suomessa. Sito aloitti toimintansa väyläsuunnittelun insinööritoimistona ja kasvoi 40 vuoden

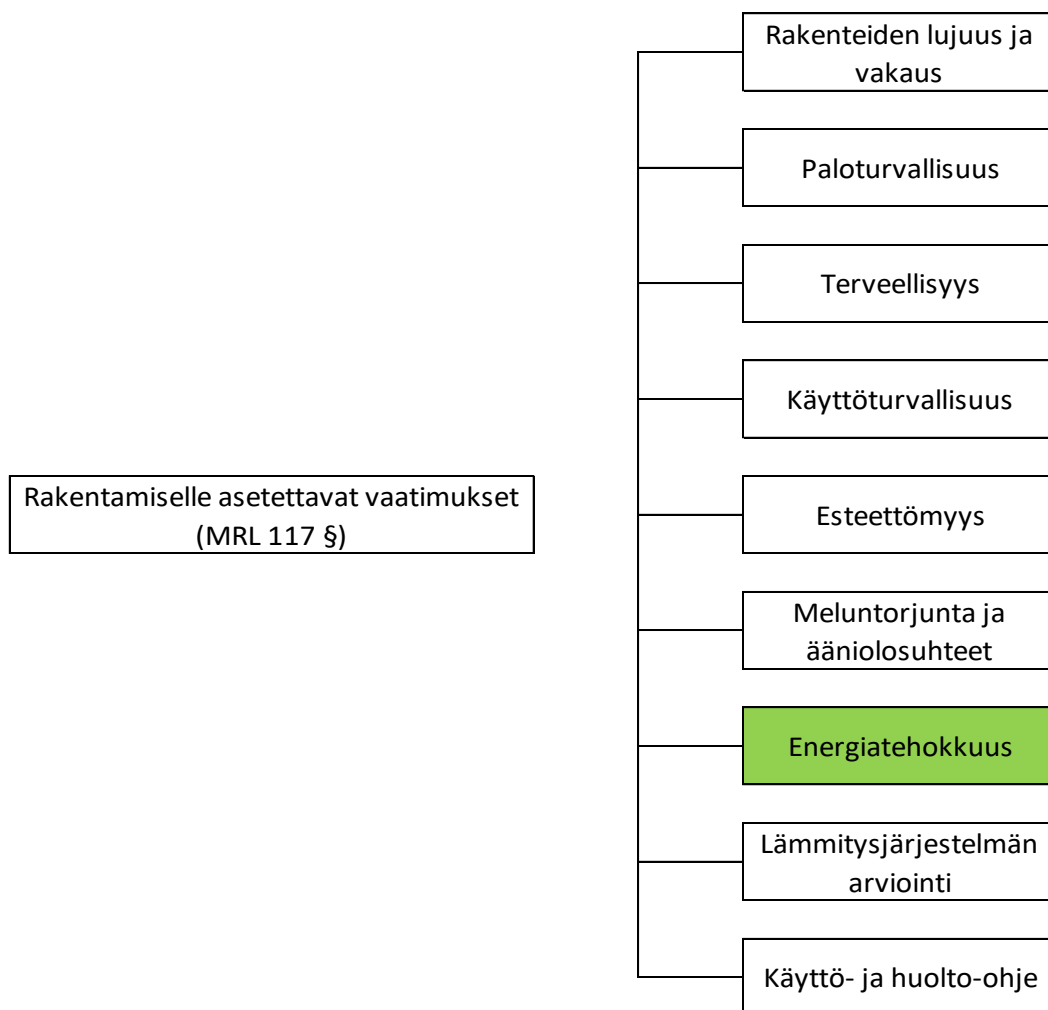
aikana infran moniosaajaksi. Yhdistymisen jälkeen kaikki rakennetun ympäristön asiantuntija-, suunnittelu- ja digitaaliset palvelut tarjotaan asiakkaille saman katon alta. Kokonaisvaltaisten palvelujen avulla tuotetaan uutta ja korjataan vanhaa – näin luodaan kestävää ja älykästä elinympäristöä.

Tämä opinnäytetyö on toteutettu kvalitatiivisena eli laadullisena tutkimuksena. Opinnäytetyöllä on tarkoitus pyrkiä luomaan vankka kokonaisvaltainen ymmärrys aiheesta. Opinnäytetyön pohja luodaan kirjallisuustutkielmalla, jota täydennetään haastatteluista saatavalla kokemuseräisellä tietotaidolla.

Osana yrityksen kehitysprojektia teetettiin samanaikaisesti kaksi opinnäytetyötä samaan aihepiiriin liittyen. Opinnäytetyön yleinen osio, johdantoa lukuun ottamatta, on lukuun 6 asti toteutettu yhteisenä Tero Lintusen Tietomallinnuksen hyödyntäminen korjaussuunnittelussa -opinnäytetyön kanssa, jolloin pystyttiin muodostamaan laajempi dokumentti aiheesta. Tästä eteenpäin työt haaraavat omiksi osioiksi, joissa käsitellään tarkemmin opinnäytetyön aiheeseen ja tutkimuskysymyksiin liittyviä aihepiirejä.

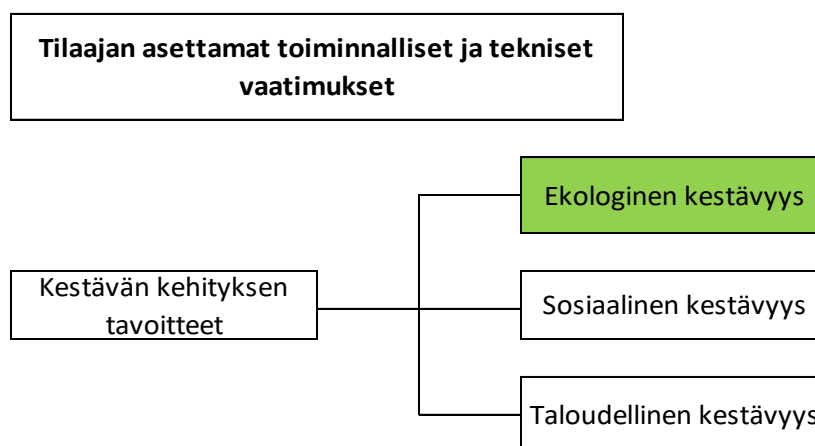
2 KORJAUSRAKENTAMISEN STRATEGIA

Korjausrakentamisen tarve kasvaa jatkuvasti. Korjausrakentamisen osuus on jo uudisrakentamista suurempaa. Suunnitelmallisella kiinteistönpidolla ja korjaamisella on merkittävä rooli rakennuksen ylläpitokustannuksissa. Kiinteistöjen ennakoivaa ylläpitoa on jätetty tekemättä, mikä johtaa lopulta suurempiin ongelmiin. Tämä näkyy asunto-osakeyhtiöissä ja omakotitaloissa sekä kuntien rakennuskannassa. Säästäminen korjaus- ja ylläpitokustannuksissa johtaa lopulta kalliisiin toimenpiteisiin. Heikoin tilanne on ikääntyneissä kuntien palvelurakennuksissa, lähiökerrostaloissa sekä vanhoissa rivi- ja omakotitaloissa. Yhä useammat kuntien kiinteistöt tarvitsevat mittavia kosteus- ja sisäilmaongelmien korjauksia. Rakennusten lisääntyneen tekniikan ja nousseiden vaatimusten seurauksena rakennusten ylläpito, huolto ja korjaus vaativat aiempaa enemmän osaamista ja suurempia investointeja. Rakennusten purkaminen tulee kasvamaan heikkokuntoisten ja vaikeasti korjattavien kiinteistöjen kohdalla. (Rakennusteollisuus 2019.)



Kuva 1. Rakentamiselle asetettavat vaatimukset. (Ympäristöopas 2017)

Ennakoivan kiinteistönpidon ja korjauskulttuurin edistämiseksi on kehitetty vuonna 2007 valmistunut Korjausrakentamisen strategia. Strategian laatijana on toiminut ympäristöministeriö yhteistyössä rakennus- ja kiinteistöalan toimijoiden kanssa. Strategian avulla pyritään vastaamaan paremmin käyttäjien sekä kestävän kehityksen vaatimuksiin. Kustannus säästöjä voidaan saavuttaa suunnitelmallisella ja järkevästi ajoitetulla korjaamisella. (Ympäristöministeriö 2013.)



Kuva 2. Tilaajan asettamat vaatimukset ja kestävän kehityksen tavoitteet. Korostettuna näkyy vihreän rakentamisen tavoitteet. (Ympäristöopas 2017)

Strategian päätavoitteina on lisätä korjausrakentamisen osaamista ja turvata resursseja sekä kehittää korjausrakentamisen prosesseja ja ohjausvälineitä. Toimenpide- ja kehittämislinjaukset on tehty vuoteen 2017 asti. (Ympäristöministeriö 2013.) Tekeillä on uusi Korjausrakentamisen strategia 2050, jota ohjaa vuonna 2018 julkaistu Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. Sen nojalla Euroopan unionin jäsenmaiden tulisi laatia pidemmän aikavälin peruskorjausstrategia, jonka tarkoituksena on muuttaa rakennuskantaa entistä energiatehokkaammaksi ja vähähiilisemmäksi vuoteen 2050 mennessä. Toimeenpanoa valvoo ympäristöministeriö. (Motiva 2019.)

2.1 Rakentamisen elinkaariajattelu

Rakennuksen elinkaarivaikutuksen arvioinnin kannalta on oleellista, että ympäristö- ja kustannusvaikutuksia tarkastellaan koko sen elinkaaren ajalta. Rakentaminen on kokonaisuutta ajatellen lyhyt ajanjakso. Rakennuksen elinkaari on määritelty alkavaksi maankäytön ja rakentamisen suunnittelusta ja materiaalien hankintavaiheesta päättyen aina rakennuksen purkuun ja purkujätteen

lajitteluun. Rakennuksen elinkaari ja kestävyys riippuvat aina rakennuksen tyypistä. Varsinaista käyttöikää ei varsinaisesti voida tarkasti mitata, minkä vuoksi käyttöiän ennakkoinnilla tarkoitetaan laskennallisesti arvioitua käyttöikää. Käytännön tasolla kuitenkin tilaaja on se taho, joka päättää tavoitellun käyttöiän, joka puolestaan määrittelee suunnitteluvaiheen valintoja. (Rakennusteollisuus 2019.)

Elinkaaren aikana syntyvistä ympäristövaikutuksista tehdyt arvioinnit huomioidaan mahdollisimman tarkasti jo alun suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheen ratkaisuilla vaikutetaan merkittävästi rakennuksen elinkaareen ja näin ollen kaikki ratkaisut tulee tehdä harkiten ja kokonaisuutta ajatellen. Suunnitteluvaiheen ratkaisut eivät välttämättä ole enää muutettavissa kustannustehokkaasti rakentamisvaiheen tai rakennuksen elinkaaren aikana. (Rakennusteollisuus 2019.)

Kustannuksia tulisi tarkastella koko elinkaaren ajalta. Esimerkiksi kehitettäessä rakennuksen teknisiä ominaisuuksia saattavat valmistusvaiheen kustannukset ja päästöt nousta välillisesti, mutta pienentyä merkittävästi koko rakennuksen elinkaaren ajanjaksolla. (Rakennusteollisuus 2019.)

Valmistusvaihe	Rakentamisvaihe	Käyttövaihe		Purku
A1: Raaka-aineen hankinta	A4: Kuljetus työmaalle	B1: Tuotteen käyttö	B5: Laajamittaiset korjaukset	C1: Purkaminen
A2: Kuljetus valmistukseen	A5: Työmaatoiminnot	B2: Kunnossapito	B6: Energian käyttö	C2: Kuljetukset
A3: Tuotteen valmistus		B3: Korjaus	B7: Veden käyttö	C3: Purkujätteen käsittely
		B4: Osien vaihto		C4: Purkujätteen loppusiivous

Kuva 3. Rakennuksen elinkaaren vaiheet. (Ympäristöopas 2017)

Tarkasteltaessa kestäväää rakentamista tai ainoastaan sen ekologista osaa, pitää tarkastelun tapahtua aina rakentamisen lopputuotteen koko elinkaaren näkökulmasta. Mietittäessä erilaisia hankintamalleja ja niiden valintaperusteita, tulisi niissä huomioida korostetusti elinkaarietäällisuus ja kokonaistaloudellisuus. Toimintakulttuurin muutos on edellytys kestäväälle rakentamiselle, jotta osaoptimoinnista voidaan järkevästi siirtyä hallitsemaan kokonaisuutta ja noudattamaan elinkaarietäällisuutta. (Rakennusteollisuus 2019.)

2.2 Elinkaarikustannukset ja -arviointi

Elinkaarikustannusten määrittelyn avulla saadaan arvioitua kulujakauma koko rakennuksen elinkaaren ajalle. Elinkaariarvioinnin avulla voimme puolestaan tutkia rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutuksia. Rakennuksen omistajalla ja käyttäjällä on mahdollisuus hyödyntää saatua tietoa ylläpitovaiheen aikana. Määritettäessä rakennuksen elinkaarietäällisyyksiä, ei voida laskea ainoastaan investointeja, vaan arvioinnissa tulee huomioida koko elinkaaren aikainen kulurakenne, joka muodostuu suunnittelu-, rakentamis-, hankinta-, ylläpito-, peruskorjaus- ja purkukustannuksista. Myös rakennuksen ylläpito ja energiankulutus on otettava huomioon koko sen käyttöajalta. Mikäli tulevaa tuottoa pystytään ennalta arvioimaan, voidaan se myös huomioida kustannusarviossa. Elinkaariarvioinnin laadinnassa hiilijalanjälki on yleisin tarkastelun alainen seikka, mutta sen lisäksi voidaan tarkastella mm. uusiutumattomien aineiden ehtymistä, otsonikatoa, rehevöitymistä sekä happamoitumista. Elinkaariarvioinnissa käytettyjen laskentamenetelmien tulee olla vakioituja ja läpinäkyviä. (Ympäristöopas 2017.)

Elinkaaren kustannuslaskennalla ja elinkaariarvioinnilla on merkittävä ohjausmahdollisuus rakennuksen suunnitteluvaiheeseen sekä kokonaisvastuurakentamiseen. Erilaisia tiloja voidaan jopa hankkia elinkaarietäällisyydenä, jolloin tarjoajat tekevät elinkaaren kustannuslaskelmat ja elinkaariarvioinnin osana tarjousta. Euroopassa elinkaaren kustannuslaskelmat ja elinkaariarviointi laaditaan EN-standardien mukaisesti. (Ympäristöopas 2017.)

2.3 Rakennuksen elinkaaren vaatimukset ja tavoitteet

Rakennuksen elinkaaren vaatimukset ja tavoitteet liittyvät suoraan suunnitteluun, rakentamiseen, kiinteistön ylläpitoon ja lopulta kiinteistön purkamiseen. Kyseiset vaatimukset muodostuvat useammalla eri tavalla. Osa vaatimuksista on lakisääteisiä ja monet puolestaan ovat käyttäjän, kiinteistön omistajan tai rahoittajan määrittämiä. Tähän kokonaisuuteen sisältyy myös vihreän rakentamisen tavoitteet. Ympäristötavoitteiden tärkeydestä huolimatta ne eivät voi olla ristiriidassa muiden rakentamista koskevien lakisääteisten asetusten kanssa. Luonnollisesti kaikki muut ratkaisut, jotka eivät ole lakisääteisiä ovat käytännössä hankkeeseen osallistuvien tahojen arvovalintoja. (Ympäristöopas 2017.)

Esimerkkinä, jos kiinteistön arvioitu käyttöikä on sata vuotta, niin tilaaja ei millään tavoin itse hyödy kiinteistön järkevästä purettavuudesta. Myöskään rakennusmateriaalin valmistaja ei suoraan hyödy tuotteen kierrätettävyydestä, mikäli tämä tapahtuu kymmenien vuosien päästä. Tästä voidaan suoraan päätellä ratkaisujen arvopohjainen ohjautuvuus ja todeta, että elinkaariajattelu toimii ennen kaikkea vastuullisuuden työkaluna. Toki maankäyttö- ja rakennuslaissa todetaan rakentamisesta, että ”edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurillisesti kestävää kehitystä”. Tämän nojalla elinkaariajattelu nimenomaan toteuttaa lakisääteistä rakentamista ja tukee julkisen rakentajan tavoitteita. Kokonaisvastuu ei kuitenkaan koskaan ole täysin rakentajalla, vaan myös pääsuunnittelijan, kohteen rakentajan, rakennusmateriaalin valmistajan ja kiinteistön haltijan pitää tarkastella omaa toimintaansa kriittisesti ja osoittaa vastuuta ympäristöstä pitkän elinkaaren suhteen. (Ympäristöopas 2017.)

3 TIETOMALLINNUS

Tietomallintamisella, kansainvälisesti Building Information Modeling (BIM), tarkoitetaan kaikkien rakennushankkeen tietojen kokonaisvaltaista hallintaa ja käsittelyä tieto- ja informaatiotekniikan (ICT) avulla. Tietomallinnus usein yhdistetään ja toteutetaan 3D-mallinnukseen, mutta geometrinen kuvaus ei ole

välttämätön osa tietomallia. Toisaalta rakennusta esittävät visuaaliset 3D-mallit ilman attribuuttitietoja eivät ole tietomalleja. Rakennushankkeen eri osapuolien erillään olevat tietomallit yhdistämällä mahdollistetaan kokonaisuuksien tarkastelu ja analysointi. Mikäli osapuolien tietomallit on tuotettu eri ohjelmistoilla keskenään, voidaan siitä huolimatta tietomallit yhdistää avoimia standardeja, kuten IFC-tiedostomuotoa käyttämällä. (Rajala 2007.)

Tietomalli pohjautuu perusidealtaan objekteihin ja niihin liitettyyn tietoon. Geometrian pohjalta luotu objekti sisältää käyttötarkoituksen mukaan tietoa objektien materiaaliominaisuuksista sekä siitä, onko kyseessä esimerkiksi seinä, pilari, palkki vai laatta. Parametrien ja sääntöjen avulla varmistetaan objektin yhteensopivuus ja liittyminen viereisten objektien kanssa. Parametristen objektien avulla manuaalisten muutosten tekeminen vähenee ja tietomallintamisen tehokkuus kasvaa huomattavasti. Parametriset objektit on myös mahdollista linkittää muihin tietomalleihin tai ohjelmistoihin, jolloin tiedot saadaan tehokkaammin manuaaliseen tapaan verrattuna. (Lorek 2018.)

3.1 Tietomallintamisen hyödyt

Tietomallinnus tukee suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestäväen kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari prosessin toteutumista. Kuvassa 4 on esitetty tietomallintamisen tärkeimmät hyödyt, joiden voidaan ajatella jakautuvan viiteen osa-alueeseen. Tietomallit helpottavat muun muassa ratkaisujen toimivuuden, laajuuden ja kustannusten sekä elinkaaren aikaisten energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyysien vertailua. Tietomallien merkittävä etu on myös suunnitelmien havainnollistamisessa. Rakennettavuuden analysoinnin sekä laadunvarmistuksen, tiedonsiirron ja suunnitteluprosessin tehostuminen kuuluvat myös tietomallintamisella tavoiteltaviin hyötyihin. (Kautto 2012, 4; Henttinen 2012, 5.) Näin voidaan tukea päätöksentekoa sekä saavuttaa parempi tiedonkulku sekä suunnitteluryhmän sisällä, että suunnittelijoiden, tilaajan ja urakoitsijan välillä (Kautto 2012, 5).

Tietomallintamisen hyödyt

Investointipäätösten tuki

- Ratkaisujen toimivuuden ja laajuuden vertailu
- Kustannusvertailut

Energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyysit

- Ratkaisujen vertailu
- Suunnittelun tehostuminen
- Ylläpidon seuranta

Suunnitelmien havainnollistaminen

- Visuaalinen esitystapa
- Rakennettavuuden analysoiminen

Laadunvarmistuksen, tiedonsiirron ja suunnitteluprosessin tehostuminen

Rakennushankkeen tietojen hyödynnettävyys käytön ja ylläpidon toiminnoissa

Kuva 4. Tietomallintamisen hyödyt. (Kautto 2012, 4; Henttinen 2012, 5)

Korjaushankkeen onnistuminen sekä aikataulullisesti että taloudellisesti edellyttää riittävät, laadukkaat ja ajantasaiset lähtötiedot. Tietomalli tehostaa suunnitteluprosessia suunnitelmien laadulla ja osapuolien välisen yhteisen tiedonsiirron avulla. Tätä hyödyntämällä suunnitelmia on mahdollista analysoida systemaattisesti. Tietomallin ja eri osapuolien yhteistyön avulla voidaan helposti todeta mahdolliset päällekkäisyydet suunnitelmissa ja tietomallin käyttöön liittykin olennaisesti laadunvarmistus. Tietomallia voidaan myös hyödyntää vaihtoehtoisten suunnitteluratkaisujen vertailuun ja lähtötietona mm. energia, elinkaari ja kustannuslaskelmissa. Kolmiulotteisen tietomallin hyödyntäminen työskentelyssä edesauttaa suunnittelua ja suunnitelmien hahmottamista. Kolmiulotteista tietomallia pystytään hyödyntämään laajemmin sen sisältämän laajemman tietomäärän ansiosta. (ProDigiOUs 2019.)

3.2 Tietomalliprosessin hyödyt korjaushankkeessa

Korjausrakentamisen lisääntyessä suuremmissa kohteissa laserkeilaus ja tietomalli takaa kustannustehokkaan tavan työskennellä. Pitää kuitenkin huomioida, että tietomalli lisää suunnittelu-aikaa ja kustannuksia. Näin ollen, pienemmissä korjauskohteissa perinteinen dokumenttipohjainen suunnittelu voi olla

edelleen tehokkaampaa kuin tietomallin käyttö. On arvioitu, että maailmanlaajuisesti jopa yli 60 % seuraavan 20 vuoden projekteista tulee olemaan korjausrakentamishankkeita. (Turner 2011; Haavisto 2013, 39.)

Tietomallinnuksella saavutetaan lisäarvoa koko hankkeen prosessissa. Sen avulla tuetaan päätöksentekoa havainnollistettujen suunnitteluratkaisujen sekä erilaisten laajuus-, kulutus- ja kustannustietojen sekä analyysien avulla. Korjaushankkeissa merkittäviä eroja uudisrakentamiseen tuo olemassa olevan rakennuksen rajaamat ehdot, nykyaikaisen talotekniikan suurempi tilantarve ja sen sovittaminen rakenteisiin sekä rakennusaikaisten muutoksien suurempi määrä. Lähtötietojen laatu ja tarkkuus ovat merkittävässä roolissa osana korjaushanketta. Useasti korjattavan rakennuksen olemassa olevat loppudokumentaatit ovat puutteellisia tai epäluotettavia, minkä seurauksena lähtötiedot on hankittava paikan päältä suunnitteluvaiheessa. Valmisosien käyttö ja talotekniikan sovittaminen vanhoihin rakenteisiin vaatii lähtötilanteesta tarkkoja mittatietoja. (Teittinen 2018.)

Mallinnuksen tavoitteet



Kuva 5. Mallinnuksen tavoitteet. (Henttinen 2012, 5)

Edellä kuvassa 5 on esitetty mallintamisen tärkeimmät tavoitteet. Tavoitteita liittyy sekä päätöksenteon ja yhteistyön helpottamiseen, havainnollistamiseen että laadunvarmistukseen ja erilaisten kustannus-, turvallisuus-, energia- ja elinkaaritarkastelujen tekemiseen. (Henttinen 2012, 5.)

3.3 Laadunvarmistus

Tietomallipohjaisen laadunvarmistusprosessin avulla saadaan rakennuksen tiedoista parempi käsitys kokonaisuudesta jo varhaisessa vaiheessa. Visuaalisuus helpottaa huomattavasti laajojen kokonaisuuden hahmottamista. Tietomallilla voidaan havainnollistaa mm. tilojen käyttöä, esteettömyyttä, valaistusta, määräystenmukaisuutta, turvallisuutta. Inventointimallin hyödyt tulevat esiin erityisesti arvokiinteistöjen kohdalla. Sen avulla voidaan analysoida rakennusosia rakenteellisten tai suojellisten ominaisuuksien mukaan ja yhteen sovittaa uudet rakenteet ja muutostyöt vanhojen rakenteiden kanssa. Inventointimalli mahdollistaa vanhojen rakenteiden soveltuvuuden arvioimisen vaatimuksiin nähden. Olosuhdesimuloinnilla selvitetään alkuperäisten tilojen olosuhteita ja soveltuvuutta tulevaan käyttötarkoitukseen tai vaatimuksia uudelle talotekniikalle ja rakenteille. Inventointimallia voidaan käyttää energiasimulointiin, jonka avulla voidaan analysoida energiankulutusta ja nykyisten vaatimusten täyttämistä sekä tarkastella korjaustöiden vaikutusta energiatehokkuuteen. (Rajala 2007.)

4 YLEISET TIETOMALLIVAATIMUKSET 2012

Tietomallinnuksen käytön yleistyessä nopeasti syntyi tarve tietomallivaatimuksille. COBIM kehittämishankkeen tuotoksena syntyi ”Yleiset Tietomallivaatimukset 2012” (YTV2012), joissa määritetään täsmällisemmin mitä mallinnetaan ja miten rakennushankkeen eri vaiheissa. ”Yleiset Tietomallivaatimukset 2012” on koottu käyttäjäkokemusten ja organisaatioiden käytössä olleiden ohjeiden perusteella yhteistyössä COBIM- hankkeen osapuolten kanssa. (BuildingSMART 2012.)

Käytettäville malleille ja niiden hyödyntämiselle määritellään ja dokumentoidaan hankekohtaiset painopistealueet ja tavoitteet. Projektikohtaiset mallinnusvaatimukset pohjautuvat yleisiin tietomallivaatimuksiin ja sisältyvät suunnittelusopimukseen. Mallinnusvaatimusten ja -sisällön tulee yleisiin tietomallivaatimuksiin sitouduttaessa vastata YTV2012 vähimmäisvaatimuksia ja olla esitystavaltaan yhdenmukaisia. Yleisiä mallitekniisiä vaatimuksia ovat muun muassa

ohjelmistovaateet, mallien luovutus sovituksessa laajuudessa, mallien mittatarkkuus sekä vaatimukset mallien tietorakenteesta. (Kautto 2012, 4; Henttinen 2012, 5.)

Jo tarjouspyynnössä tulisi kirjata haluttu mallien käytön laajuus, eri osapuolten vastuut ja käytettävät tarkistusmenetelmät. Siksi hankkeen tietomallintamisen tavoitteet tulisi määrittellä ennen suunnittelijavalintaa. Näin vältetään siltä, että suunnitteluryhmän kokoonpano tai yritysten tiedonhallinnan ja mallintamisen taso pääsisi määrittämään rakennusprosessin aikana käytettävien mallien ja niiden käytön tason. (Henttinen 2012, 6.)

Tietomallihankkeen osapuolet sitoutuvat tutustumaan kaikille suunnittelualoille yhteiset suunnitteluvaatimukset sisältävään YTV2012-dokumentin yleiseen osuuteen ja laadunvarmistus-osioon sekä omaa alaansa koskeviin vaatimuksiin. Projektin johtamisesta tai sen tiedonhallinnasta vastaavan henkilön tulee hallita tietomallivaatimusten periaatekokonaisuus. (Kautto 2012, 5; Henttinen 2012, 5.)

4.1 Yleiset mallitekniset vaatimukset

Mikäli hankekohtaisesti ei ole sovittu toisin, käytetään vähintään IFC 2x3 sertifioituja mallinnusohjelmia. Tarjouksessa on mainittava käytettävän mallinnusohjelman ja sen tukeman IFC-muotoisen tiedoston versio. Myös ohjelmistojen ja niiden versioiden vaihtamisesta hankkeen aikana tulee sopia ja versiota vaihdettaessa tulee suorittaa tiedonsiirron testaus. Ohjelmistorajoitukset eivät koske sisäistä työskentelyä ja dokumenttien tuottamista. (Henttinen 2012, 6.)

Mallit luovutetaan työn aikana IFC-muotoisena ja natiivimallina työn vaatimassa laajuudessa. Mallien jakelutavasta sovitaan projektikohtaisesti. Jaettavista malleista poistetaan varsinaiseen suunnitelmaan kuulumattomat tasot ja mallinnuskomponentit ja niihin sisällytetään ainoastaan julkaisevan suunnittelijan omat mallinnusosat. Korjausrakentamiskohteissa tästä poiketaan suunnittelumallien pohjana käytettävän inventointimallin osalta. Alkuperäinen inventointimalli arkistoidaan erikseen. (Henttinen 2012, 6.)

Tarvittaessa mallin mukana luovutetaan suunnittelutiedon säilymiseksi edellytettävät kirjastot tai erikseen sovitaan miten tilaajalle rakennuksen käyttöä, ylläpitoa ja korjauksia ajatellen käyttökelpoinen malli saadaan toimitettua ilman kirjastojen luovuttamista. Tiedostot tulee jaettaessa pakata (.zip) tai käyttää IFC-tiedostojen optimointiohjelmaa tiedostokoon pienentämiseksi. (Henttinen 2012, 7.)

Projektikoordinaatisto määritellään siten, että origo sijaitsee lähellä rakennusta ja koko rakennusalue on positiivisessa koordinaatistossa. Kaikki tontilla olevat rakennukset mallinnetaan samaan koordinaatistoon. Projektikoordinaatiston sijainti suhteessa kunnan koordinaatistoon tulee määrittää ja dokumentoida vähintään kahden vastinpisteen avulla. Projektikoordinaatiston muuttaminen samaan muotoon kuin kunnan koordinaatisto suoritetaan valittujen vastinpisteiden avulla käyttäen yhdenmuotoisuusmuunnosta. Rakennusten korkeus-asetat määritetään tyypillisesti absoluuttisina korkeusasemina paikallisessa koordinaattijärjestelmässä. Korjausrakentamisessa inventointimallin koordinaatisto(t) tulee muuttaa vastaamaan sovittua koordinaatistoa, mikäli suunnittelussa käytetään muuta kuin inventointimallin koordinaatistoa. (Henttinen 2012, 7.)

Mallinnuksen alkuvaiheessa voidaan käyttää moduulijärjestelmän mukaisia liittymismittoja. Arkkitehdin mallissa voidaan aukoille, oville ja ikkunoille käyttää nimellismittaa. Rakennusosamallissa mallinnetaan todelliset sovitukset. Tontin mallin sekä inventointi-, rakennusosa-, rakenne- ja järjestelmämallien osalta noudatetaan tarkoituksenmukaisuuden periaatetta. Mittoja käytetään johdonmukaisesti ja yhteisesti sovitun mukaisesti, käyttäen mahdollisimman tarkkoja mittoja kuitenkin mallin käytettävyyden huomioiden. (Henttinen 2012, 7-8.)

Mallinnuksessa käytetään ohjelmistojen mallikomponentteja ja mallinnettavan objektin mukaisia työkaluja. Mikäli tästä on poikettava tai soveltuva työkalu puuttuu ohjelmistosta, dokumentoidaan mallinnustapa tietomalliselostuksessa. Tietomalliseloste on suunnittelualakohtaisesti ylläpidettävä kuvaus mallin sisällöstä, käytetyistä mallinnustavoista ja mahdollisista poikkeamista YTV2012:ssa esitettyyn. Se sisältää tiedon mallin julkaisutarkoituksesta ja

tarkkuusasteesta. Sitä päivitetään aina kun malli julkaistaan muiden osapuolten käyttöön. (Henttinen 2012, 8-9.)

YTV2012 mukaan rakennukset mallinnetaan lähtökohtaisesti kerroksittain ja jokainen erillinen rakennus itsenäisenä mallina. Mahdollisesta lohkojaosta sovitaan projektikohtaisesti. (Henttinen 2012, 9.)

4.2 Inventointimalli

Inventointimallilla tarkoitetaan lähtötietojen perusteella kohteesta laadittua tietomallia. Lähtötiedoilla tarkoitetaan materiaalitietoja, tila- ja laajuustietoja, geometriaa ja mittatietoja. Inventointimalli ei välttämättä tarkoita 3D-mallia, vaan jonkinlaista järjestelmällistä tietojen kokoamista. Huonekorttipohjainen ratkaisu, mahdollisella yksinkertaisella tilamallilla, saattaa olla riittävä lähtötietojen kokoamiseen, kun kohteeseen ei tehdä rakenteellisia muutoksia. Inventointimallin parhaat hyödyt kohteesta saadaan kuitenkin tekemällä kolmiulotteinen inventointimalli. Tällöin voidaan laatia luotettavat suunnitelmat ja varmistua rakenteellisten muutosten ja talotekniikan sopimisesta olemassa oleviin rakenteisiin. Hankekohtaisesti voidaan määrittää tarkempi taso, esimerkiksi arvokiinteistöissä, joissa rakennuksen dokumentoinnin kannalta voi olla tarkoituksenmukaista korottaa tasoa normaalia korkeammaksi. (Rajala 2007, 447.)

Inventointimallinnus tilataan usein ulkopuoliselta konsultilta, sillä resursseja tai osaamista ei välttämättä ole tarpeeksi omassa organisaatiossa. Tarvekartoitus tulisi laatia aina ennen inventointimallintamisen aloittamista, jotta tarkoituksenmukainen mittaus- ja mallinnustarkkuus, tietosisällölliset tarpeet, inventoinnin laajuus sekä toimintaympäristöihin ja tiedonsiirtoon liittyvät vaatimukset käyvät ilmi kaikille projektiin osallistuville osapuolille. Selkeällä ja tarkalla tavoitteiden määrittelyllä estetään väärinkäsityksien ja ylimääräisten muutostöiden määrää. Jos kohteessa on tiukka aikataulu, voidaan tietomalli toimittaa suunnittelijalle osissa mallinnuksen edetessä. Kun suunnittelija tekee mallin itse, pystyy hän parhaiten hyödyntämään sitä. Lisäksi vältetään tiedostomuodoista aiheutuvia ongelmia. (Rajala 2007, 447-448; Rajala 2012, 9-19.)

YTV2012 määrittää keskeiset mittaus- ja mallinnusvaatimukset, mutta esimerkiksi tilaajalla on mahdollisuus tehdä tähän tarkennuksia. Tilaajan laatimilla organisaatiokohtaisilla ohjeistuksilla ja vaatimuksilla pyritään ohjaamaan tietomallinnusta tukemaan organisaation prosesseja. (Rajala 2007, 447-448; Rajala 2012, 9-19.)

Mittaustapa määräytyy vaaditun tason mukaan. Taso 1 voidaan suorittaa laseretäisyysmittauksella ja olemassa olevien piirustusten pohjalta. Tällöin mitta-aineisto muodostetaan manuaalisten mittausten perusteella, eikä geometrialtaan luontevia inventointimalleja tai mittauspiirustuksia voida tehdä. Tason 1 menetelmä sopii yksittäisten lähtötietojen tarkastamiseen mallinnetessa vanhoista piirustuksista. Taso 2 voidaan suorittaa takymetrimittauksella. Tällöin mitta-aineisto perustuu samassa koordinaatistossa olevista yksittäisistä pisteistä, symboleista ja viivoista. Takymetrimittaus soveltuu alueiden kartoitukseen ja laserkeilauksen täydennysmittauksiin. Menetelmää voidaan käyttää inventointimallinnuksen lähtötietona yksinkertaisissa kohteissa. Vaatimuksena on alle 5 mm:n poikkeama määritettyjen mittapisteiden sijainnissa. Taso 3 tehdään laserkeilaamalla kaikilta näkyviltä pinnoilta. Laserkeilauksen kohina, eli virhe saa olla korkeintaan ± 10 mm ja resoluutio, eli pistetiheys tulee olla alle 5 mm. Takymetrimittauksella tai fotogrammetrialla voidaan täydentää laserkeilausta hankalista paikoista. Inventointimalli voidaan mitta-aineiston perusteella toteuttaa 10 mm:n toleranssilla. (Rajala 2012, 9-11.)

Vanhoissa rakennuksissa rakenteet ovat usein vinoja tai geometrialtaan epämääräisiä. Inventointimallissa absoluuttiseen tarkkuuteen pyrkiminen ei ole tarkoituksenmukaista. Inventointimallissa sallitaan mittapoikkeamia, jotka ovat nurkkapisteissä 10 mm, pinnoilla 25 mm ja vanhojen epäsäännöllisten rakenteiden osalta 50 mm. (Rajala 2012, 13.)

4.2.1 Inventointimallin sisältö

Oleellinen osa inventointimallin hyödyntämistä on tilojen mallintaminen tilaobjekteina, joihin liitetään vähintään tilatunnus, nimi ja pinta-ala mallista mitattuna. Kaikista mallinnetuista objekteista tulee käydä ilmi rakennusosan tyyppi

(sekä kantavat ja ei-kantavat rakenteet). Kantavista rakenteista tulee dokumentoida tieto kantavuuden määrittelystä (arvio vai suunnitelmien pohjalta määritetty). Mallinnuksessa käytetään ohjelmistojen omia työkaluja eri rakennusosia varten. Inventointimallissa tulee käydä ilmi lähtötiedon laatu. Inventointimallissa tilojen ja rakennusosien sijainti on käytävä ilmi, lisäksi rakennusmateriaalit merkitään sovitussa laajuudessa. (Rajala 2007, 451.)

Piilossa olevat rakenteet voidaan mallintaa vanhojen suunnitelmien pohjalta tai ne voidaan täydentää purkutöiden jälkeen täydennysmittausten avulla. Perustusten mallinnus ei yleensä kuulu inventointimallin tietomallisisältöön, sillä niitä ei päästä mittaamaan. Mikäli perustukset halutaan inventointimalliin, on suositeltavaa rakennesuunnittelijan toteuttaa tai täydentää inventointimallinnus. Ala-, väli- ja yläpohjat mallinnetaan yleisesti yksirakenteisina laattoina. Laattojen paksuudet määräytyvät muiden kerrosten ja vanhojen suunnitelmien mukaan, koska tarkkaa tietoa ei saada ilman lisätutkimuksia. Julkisivut koristeineen ja varusteineen mallinnetaan sovitulla tarkkuudella, ikkunat ja ovet voidaan mallintaa asennusaukkoina tai kokonaisuudessaan detaljeineen projekti-kohtaisesti määritellyllä tarkkuudella. Rakennukseen kiinteästi liittyvät rakenteet, kuten parvekkeet, katokset, terassit ja ulkotasot, mallinnetaan sovitulla tarkkuudella. Yleisten tietomallivaatimusten mukaisesti vesikaton varusteita tai laitteita ei mallinneta, mikäli siitä ei erikseen hankkeen alussa sovita. Tavallisesti vesikattorakenteet kuitenkin mallinnetaan talotekniikan soveltamiseksi rakenteisiin sekä uudis- että korjauskohteissa. (Rajala 2007, 451.)

Suunnitteluprosessiin vaikuttavat alueosat, kuten säilytettävät puut, on suositeltavaa esittää arkkitehdin tietomallissa. Talotekniikan mallinnus ei yleensä ole vaadittua, mutta talotekniikan tilanvaraukset, lattiakaivot, vesikalusteet ja valaisimet korjauksen laajuuden mukaan kannattaa sisällyttää inventointimalliin. Aluevarusteiden (talo-, leikki- ja oleskeluvarusteet) ja aluerakenteiden (pihavarastot, aidat, katokset, tukimuurit ym. piharakenteet) mallintaminen ei yleensä ole tarpeellista. (Rajala 2007, 451.)

4.3 Rakennemalli

Rakennesuunnittelijan tuottama suunnittelumalli, eli rakennemalli, kehittyy ja tarkentuu suunnitteluprosessin edetessä. Rakennesuunnittelua käsittelevässä YTV2012 osiossa suunnitteluvaiheet on esitetty TELU 08 Rakennesuunnittelun tehtäväluettelon mukaisesti. Rakennesuunnittelun mallintamisen ja rakennesuunnittelijan tuottamien tietomallien vaaditun tietosisällön määrittelyllä tuetaan päätöksentekoa ja tiedonkulkua eri osapuolten välillä. (Kautto 2012, 5.)

Korjausrakennuskohteissa mallin laajuus päätetään projektikohtaisesti. Lähtötilanne mallinnetaan, mikäli riittävän tarkkaa lähtötietomallia ei ole valmiiksi saatavilla. Lähtötilanteen mallintaminen perustuu joko mittauksiin tai vanhoihin rakennepiirustuksiin. Tietomalliselostukseen merkitään mittausmenetelmä ja arvio mallitarkkuudesta. (Kautto 2012, 8.)

Rakennemallin osalta YTV2012 -ohjeistus sisältää vähimmäisvaatimuksena kantavien rakenteiden, ei-kantavien betonirakenteiden sekä kokonsa tai sijaintinsa puolesta muuhun suunnitteluun vaikuttavien rakenteiden mallintamisen. Korjausrakennuskohteiden osalta vähimmäisvaatimuksena on uusien kantavien rakenteiden ja ei-kantavien betonirakenteiden mallintaminen. Olemassa olevia kantavia rakenteita mallinnetaan ainoastaan, mikäli rakenteelliset muutokset sitä edellyttävät. Niiden osalta tulee varmistaa rakennusosien oikeellisuus IFC-mallissa, sisältäen rakennusosan sijainti, nimi tai tyyppi sekä geometria. Tämä tapahtuu automaattisesti käytettäessä ohjelmistossa kyseisen osan mallintamiseen tarkoitettuja työkaluja. (Kautto 2012, 6,8.)

Rakennesuunnittelijan mallissa kunkin kerroksen malliin sisältyvät kerroksen yläpuoliset vaakarakenteet. Alapohja ja perustukset muodostavat oman kerroksensa ja ylimmässä kerroksessa malli ulottuu vesikattorakenteisiin asti. Rakennemalli sisältää myös rakenteiden kantavuuteen liittyvät pintarakenteet kuten paloneristykset. Tulee huomata, että arkkitehdin malli eroaa tästä joiltakin osin. (Henttinen 2012, 9.)

Rakennetyypit listataan tehtäväluettelon mukaisesti niiltäkin osin kuin ne eivät sisälly rakennemalliin. Näin ne ovat koko projektiryhmän käytettävissä. Rakennetyypit tulostetaan 2D-piirustuksina. Arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan käyttämien nimitysten tulee rakennusosamallissa olla yhteneviä. Projektille sovitaan noudatettava koordinaatisto ja rakennemallin kerros- ja/tai lohkotieto siirtyy IFC-tiedostossa käytettäväksi esimerkiksi visualisoinnissa ja tarkastuksissa. (Kautto 2012, 6.)

Suunnittelussa hyödynnetään automaattista mallinnusohjelmakohtaista GUID-numerointia sekä rakenteiden loogista numerointia hankkeessa sovitun ja tilaajan hyväksymän käytännön mukaisesti. Nimeämis- ja numerointilista annetaan projektiryhmän käyttöön ja sitä voidaan hyödyntää muun muassa määrälaskennassa ja logistiikassa. Rakennemallissa rakennusosien valmiusaste esitetään tietomalliselostuksessa. Valmiusasteen esitystavasta sovitaan projektikohtaisesti. Julkaistavien rakennemallien tulee ohjeistuksen mukaan sisältää vain rakennesuunnittelijan suunnittelemaa objekteja. Tämä tarkoittaa, että rakennemallissa ei ole esimerkiksi talotekniikan suunnitelmia näkyvissä. Korjausrakentamisen kohdetta mallinnettaessa laajuus on sovittava projektikohtaisesti. Mikäli kohteesta tehdään inventointimalli, vaikuttaa sen soveltuvuus mallinnustarkkuuteen ja -laajuuteen. Malli on julkaistaessa läpikäynyt laadunvarmistuksen, josta on tietomalliselostuksen liitteenä allekirjoitettu rakennusmallin tarkastuslomake. Julkaistavan IFC-mallin sisältö voidaan määrittää käyttötarkoituksen mukaan. (Kautto 2012, 7-8.)

4.4 Mallien jakaminen ja julkaisu

YTV2012 mukaan malli tulee julkaista samaan aikaan tai ennen kussakin vaiheessa julkaistavia dokumentteja. Mallin hyödyntämiseksi suunnitelman kehittämisessä, tulisi tietomalleja julkaista huomattavasti dokumentteja useammin ja myös mallien julkaisuaikataulu tulisi huomioida projektin suunnitteluajataulussa. Malli julkaistaan tiettyyn tarkoitukseen tehdyn suunnitelman mukaisesti ja julkaisua edeltää mallin tarkistusta YTV2012 laadunvarmistusosan mukaisesti. Mallien tarkastamiselle ja analysoinnille tule varata riittävästi aikaa. Yhdellä kertaa julkaistavien mallien ja asiakirjojen tulee olla keskenään yhdenmukaisia. Julkaisua edeltää mallin tarkistus. (Henttinen 2012, 10.) Jokainen

suunnitteluosapuoli vastaa oman suunnittelutietomallinsa tarkistamisesta ennen hankkeen tietomallikoordinaattorin suorittamaa virallista laadunvalvontaa. (Henttinen 2012, 11.)

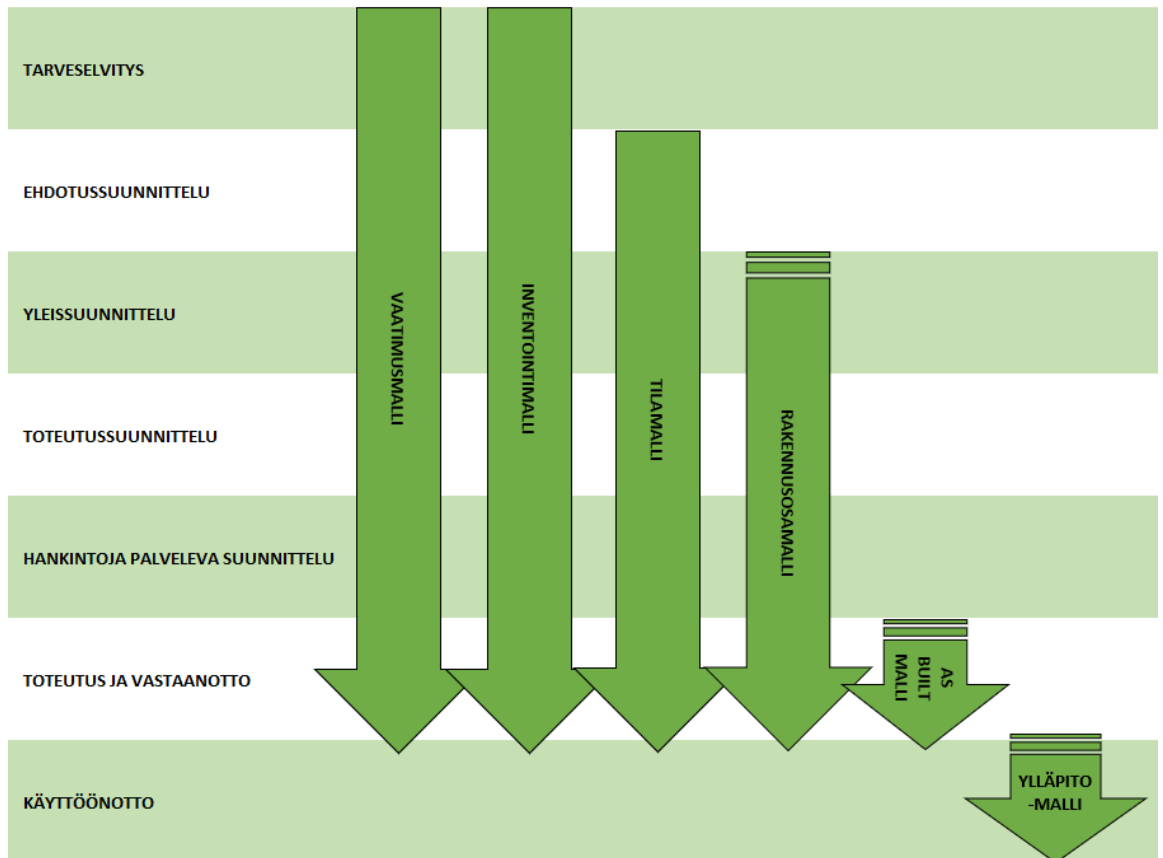
Suunnittelunaikaista tehokkuutta ja tiedonsiirtoa tukevat suunnitteluosapuolien välillä jaettavat työmallit, joita tallennetaan esimerkiksi projektipankkiin tasaisin väliajoin – suunnitteluvaiheesta riippuen tyypillisesti 1–4 viikon välein. Työmallilta sallitaan keskeneräisyyttä ja siihen liittyviä virheitä, eikä niiden tarvitse olla kaikilta osin tarkastettuja, kunhan työmallin luonne ja valmiusaste ovat kaikkien osapuolien tiedossa. (Henttinen 2012, 11.)

5 SUUNNITTELUPROSESSIN ETENEMINEN

Tässä luvussa käydään läpi suunnitteluprosessin vaiheistus tarveselvityksestä käyttöönottoon, sekä prosessissa tuotettavat mallit. Lisäksi tarkastellaan korjausrakentamisen ja inventointimallinnuksen vaiheita.

5.1 Suunnitteluprosessin vaiheet

Suunnittelu etenee rakennesuunnittelun vaatimusmallista, ehdotussuunnitteluun ja edelleen yleissuunnitteluun. Yleissuunnittelua seuraa toteutussuunnittelu, hankintoja palveleva suunnittelu ja lopulta toteutus. (Kautto 2012, 8-19.) YTV2012 yleisen osion (Henttinen 2012, 21) mukaan rakennesuunnittelijan tuottamat mallit ovat i) tilakohtaiset kuormat ja muut mahdolliset rakenteelliset vaatimukset sisältävä vaatimusmalli, ii) kantavat rakenteet sisältävä inventointimalli, joka sisältyy usein samaan malliin arkkitehdin inventointimallin kanssa, iii) rakennejärjestelmäehdotuksen ja perustusrakenne-ehdotuksen sisältävä tilamalli, iv) hankkeen edetessä tarkentuvat rakennusosa- ja järjestelmämallit edeten alustavasta rakennusosamallista rakennusosa- / varausmallilaskentaan sekä rakennusosa- ja varausmalli-toteutuksen mallintamiseen, sekä viimeisenä, v) toteutusta vastaava toteumamalli.



Kuva 6. Suunnitteluprosessin vaiheet. (Henttinen 2012, 10)

5.1.1 Tarveselvitysvaihe

Tarveselvitysvaiheessa (vaatimusmalli) kartoitetaan kiinteistön omistajan ja tulevien käyttäjien tarpeet ja tavoitteet, joiden perusteella voidaan vertailla erilaisia toteutusvaihtoehtoja. Ainakin keskeisimmät tilavaatimukset kirjataan sähköiseen muotoon. Hankkeen budjetti- ja aikataulutavoitteet sekä bruttoala-, tilavuus- ja erilaisten toimintojen kokonaisalatiedot sisältävä vaatimusmalli toimii lähtötietona suunnitteluprosessille. (Henttinen 2012, 11.)

Vaatimusmalli on vähimmillään taulukkomuotoinen tilaohjelma, joka sisältää tila- tai tilaryhmäkohtaiset pinta-ala- ja erityisvaatimukset sekä koko rakennusta tai sen osia koskevia tavoitteita. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi tilan nettoalatarve, tilan käyttö ja käyttäjät sekä keskeiset yhteydet tai vaikutukset muihin tiloihin, sisäilmaolosuhteet, ääneneristys, valaistus, kuormitus, kestävyys, turvallisuus ja laatutaso, sekä LVIS-järjestelmät. Tilojen tulee olla tunnistettavissa hankeprosessin ajan ja niitä koskevien tietojen tulee olla systemaattisia. Tämä varmistetaan antamalla tiloille yksilölliset tunnistetiedot sekä kirjaa-

malla tilojen käyttötarkoitus ja nimi, sekä tarvittaessa tilatyypin ja sijaintitunniste. Projektivaatimuksia voidaan muuttaa suunnittelun edetessä, jolloin muutokset tulee kirjata vaatimusdokumentaatioon, jonka eri versiot arkistoidaan suunnitelmamallien tapaan. (Henttinen 2012, 12.)

Vaatimusmallissa esitetään rakennesuunnittelulle asetettavat tavoitteet ja vaatimukset, kuten käytettävät määräykset ja ohjeet sekä saadut lähtötiedot ja velvoitteet. Ehdotussuunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelija arvioi arkkitehdin esittämän suunnitelman toteutettavuutta. Näissä mallin esitysmuoto on vapaa ja vasta yleissuunnitteluvaiheesta eteenpäin edellytetään tietomallinnusta. Siinä rakennesuunnittelun lähtötietoina toimivat lähtötietomallit, sekä ARK- ja TATE-tiedot YTV2012-vaatimusten mukaisesti sekä GEO-tiedot. Rakennemalli sisältää yleissuunnitteluvaiheessa tietoja vähintäänkin perustuksista, alapohja- ja runkorakenteista, ulkotasoista ja vesikatoista. Tuotettavat tulosteet sisältävät perustusten, alapohjan ja tasojen mittapiirustukset sekä yleisleikkauspiirustukset. (Kautto 2012, 8-10.) Suunnittelu pohjautuu lähtötilanteen mallintamiselle, eli uudiskohteiden kohdalla rakennuspaikan mallintamiseen ja korjausrakentamishankkeissa inventointimallin tuottamiseen. Joidenkin kuntien kohdalla, riippuen rakennuspaikasta, tontin topografinen malli on mahdollista saada kunnan paikkatietojärjestelmästä. Usein se kuitenkin joudutaan teettämään erikseen. (Henttinen 2012, 14; Simpanen 2018, 15.)

Tietomallikoordinaattorin tehtäviin kuuluu vaatimusmallivaiheessa hankkeen tietomallintamisen tavoitteiden laatiminen, erityisvaatimusten tähdentäminen sekä lähtötietojen saatavuuden koordinointi eri suunnittelijoiden välillä, sekä tietomallitavoitteiden tarkistaminen ja sen varmistaminen, että tietomallinnus on huomioitu aikatalutuksessa. (Henttinen 2012, 13.)

5.1.2 Ehdotussuunnittelu

Ehdotussuunnitteluvaihe sisältää vaihtoehtoisten suunnitelmien tekemistä. Siinä tyypillinen tietomallien tallennusväli on esimerkiksi suunnittelukokousten väli. Mallin kolmiulotteisuus ja visuaalisuus nopeuttavat ratkaisuvaihtoehtojen vertailua. Tarkastelut sisältävät investointikustannusten lisäksi elinkaarikustannus- ja ympäristövaikutusarviot. Suunnittelun alkuvaiheessa voidaan vielä

tehdä suuriakin muutoksia suunnitelmiin suhteellisen helposti, joten kattava vertailu kannattaa tehdä jo tässä vaiheessa. Mikäli ongelmat tulevat esille myöhemmin suunnittelussa, on niiden korjaaminen tietomalliin usein kalliimpaa ja vaikutus laatuun suurempi. Elinkaarikustannusten rakenteesta ja rakennuksen ympäristövaikutuksista on kerrottu enemmän kappaleessa 2.2 elinkaarikustannukset ja -arviointi. (Henttinen 2012, 13.) Kustannusarviot tehdään pinta-alojen ja tilan käyttötarkoitusten mukaan, tuottaen vertailtavissa olevia tilapohjaisia kustannusarvioita. Määrä- ja kustannuslaskennan tekevä taho sovitetaan projektikohtaisesti. Alustavat energia-analyysit ja elinkaarikustannusarviot kuuluvat tilauksesta riippuen LVI-suunnittelijan tehtäviin tai ne teetetään tarvittaessa erillisenä konsulttityönä. (Henttinen 2012, 14.)

Arkkitehti mallintaa ehdotussuunnitteluvaiheessa kohteen tilat sekä rakennuksen massoittelun ja ulkovaipan sellaisella tarkkuudella, että se riittää päätöksentekoon vaihtoehtojen välillä. Arkkitehdin tilamallista saadaan tilojen käyttötarkoitukset, pinta-alat ja kokonaistilavuus. Arkkitehdin mallin perusteella rakennesuunnittelija laatii alustavan rakennusosamallin sekä rakennusosamallitasoiset tutkielmat tyyppirakenteista. LVIS-suunnittelussa tuotetaan alustavat talotekniikkajärjestelmämallit. Integroitujen mallien käyttö helpottaa vaihtoehtojen vertailua. (Henttinen 2012, 14.)

Malleja käytetään suunnitelmavaihtoehtojen havainnollistamiseksi tarjouspyynnössä ja suunnittelusopimuksissa projektikohtaisesti sovitun mukaisella tarkkuudella. On kuitenkin tärkeä huomata, ettei havainnollistamisessa vaadittua mallin tietosisältöä voida aina ennalta määrittellä, vaan se tarkentuu projektin edetessä. (Henttinen 2012, 15.)

Tietomallikoordinaattori järjestää ehdotussuunnitteluvaiheessa mallien yhteensovittamistestin, jossa kunkin suunnittelualan rakennusosat sisältämät IFC-mallit yhdistetään ja näin varmistetaan, että kaikilla on käytössään sama koordinaatisto ja korkoasemat. Lisäksi tietomallikoordinaattori selvittää hankkeen eri vaiheissa tarvittavat ja tuotettavat mallit sekä vastuunjaon suunnittelijoiden välillä, päivittää tietomallintamisen aikataulun ja tavoitteet, tarkistaa tehtyjen tietomallien yhteensopivuuden ja ristiriidattomuuden. (Henttinen 2012, 15.)

5.1.3 Yleissuunnittelu

Ehdotussuunnitteluvaiheessa valittua, arkkitehdin tietomallina tuotettua, perusratkaisua kehitetään edelleen luonnossuunnitteluvaiheessa. Arkkitehti tuottaa alustavan rakennusosamallin, jonka tarkkuus riittää rakennusluvan hakemiseen tarvittavien piirustusten tuottamiseen. Rakennesuunnittelija mallintaa rakennejärjestelmän sen mitoituksen ja vaatimusten varmistamiseksi. LVIS-suunnittelussa määritellään järjestelmien vaatimat tilavaraukset. Tietomallikoordinaattorin tehtävät ovat pitkälti samoja kuin ehdotussuunnitteluvaiheessa ja niiden keskeinen sisältö on hankkeen tietomallintamisprosessin hallinnointi, johon kuuluu muun muassa eri suunnittelualojen mallien visuaalinen tarkastaminen, mallien yhdistäminen sekä havaittujen virheiden raportointi. Lisäksi niihin sisältyy suunnitteluajataulun seuranta ja valvonta mallien julkaisujen osalta. Eri suunnittelijoiden työ edistyy loogisesti rinnakkain ja yhteistyössä, mitä tukee mallien ajantasaisuus, joka varmistetaan tiheällä tietomallien tallennusväliä. Yleisesti käytetty tallennusväli on suunnittelijapalaverien väli. (Henttinen 2012, 15-17; Niskakangas 2014, 42.)

Yleissuunnitteluvaiheessa tehdään rakenteiden ja järjestelmien visuaaliset törmäystarkastelut ja mallien virheettömyyden tarkistus hyödyntämällä yhdistelmämallia. Sitä hyödynnetään myös varmistamaan mallinnusvaatimuksissa määritellyn sisällön sisältyminen ja suunnitelmien laatu sekä määrätietojen luotettavuus. Mallin avulla voidaan rakennus sovittaa maastoon ja tarkastella asemointia visuaalisesti sekä tutkia esteettömien suunnitteluratkaisujen tekoa. Tilapohjaista kustannusarviota täydennetään rakennusosaluetteloista saatavilla määrätiedoilla. Alustavia energia-analyysyjä tarkennetaan hyödyntäen rakennuksen ulkovaipan tietoja. (Henttinen 2012, 16-17.)

5.1.4 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnitteluvaiheessa tuotetaan urakkatarjouspyyntöjen edellyttämää tarkkuustasoa vastaavat yksityiskohtaiset tyyppitiedot sisältävät mallit. Toteutusvaiheessa sopiva tietomallien tallennusväli on yksi viikko. Arkkitehdin malli päivittyy vähitellen kattavaksi ja mittatarkaksi rakennusosamalliksi, jota voidaan käyttää määrälaskennassa ja se toimii pohjana muiden suunnittelualojen malleille. LVIS-suunnittelussa mallinnetaan etupäässä järjestelmämallia.

(Henttinen 2012, 17.) Pääsuunnittelija vastaa siitä, että suunnitelmat ovat ristiriidattomia ja rakennettavissa. Tietomallipohjaisen suunnittelun etuna pidetään toteutussuunnitteluvaiheessa ennen kaikkea työmaavirheiden ennaltaehkäisyä. (Henttinen 2012, 18.)

Toteutussuunnitteluvaiheessa mallin tiedot riittävät usein korkeatasoiseen suunnitelmien havainnollistamiseen. Tietomallikoordinaattorin laatimaa yhdistelmämallia hyödynnetään havainnollistamisen lisäksi suunnitelmien yhteensopivuuden tarkasteluun, kuten TATE-järjestelmien törmäystarkasteluihin, järjestelmien ja rakenteiden törmäystarkasteluihin, tilavarausten riittävyden varmistamiseen sekä reikä- ja varaussuunnitteluun. Tietomalleista saatavien määräluetteloiden ja kustannusarvioiden tuottaminen voidaan sisällyttää mallipohjaiseen prosessiin, jolloin tekijästä sovitaan projektikohtaisesti. Mallinnuksella ei kuitenkaan pystytä nykyisellään kattamaan kaikkia tarvittavia tietoja, joten määriä joudutaan laskemaan myös perinteisin menetelmin. Toteutussuunnitteluvaiheessa TATE-suunnittelija tai erillinen konsultti tuottaa lopulliset energia-analyysit ja elinkaaritarkastelut, joita voidaan hyödyntää käytön aikana toteumavertailussa. (Henttinen 2012, 16.)

Tietomallikoordinaattorin tehtäviin toteutussuunnitteluvaiheessa kuuluvat tietomallintamisen aikataulun ja tavoitteiden päivittäminen, sekä tietomallien tuottamisen, yhteensopivuuden ja ristiriidattomuuden varmistaminen (Henttinen 2012, 18). Toteutussuunnitteluvaiheessa rakennemallin sisältö ja tarkkuus riippuvat rakennesuunnittelijan tehtävien laajuudesta kyseessä olevassa hankkeessa. Elementti- ja/tai konepajasuunnittelun kuuluessa rakennesuunnittelijan tehtäviin kehittää hän mallia myös elementtien ja/tai kokoonpanojen osalta samassa tarkkuudessa kuin edellisessä suunnitteluvaiheessa. Mikäli nämä vastuut kuuluvat muille suunnittelijoille, tulee tietomalliprosessissa varmistaa yhteistyön toimivuus ja sopia mallien jakamisesta ja yhteensovittamisesta. (Kautto 2012, 17.)

Toteutussuunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelijan tietomallivaatimukseen kuuluvat mallinnus ja laadunvarmistus YTV2012 esitetyn mukaisesti sekä tietomalliselostuksen täyttö ja tulostettavien piirustusten laadinta. Mallista saatavia tulosteita ovat vähimmillään paalutuksen toteutumapiirustus, perustuksen

mittapiirustus, väestönsuojan mittapiirustus ja paikallavalurakenteiden mittapiirustukset. Mallintamisen hyötyjä toteutussuunnitteluvaiheessa ovat suunnitelmien helppo havainnollistaminen, määrälaskenta ja suunnitelmien yhteensovittaminen. Mallia voidaan hyödyntää myös työturvallisuuden varmistamiseksi, rakentamisalueen käytön sekä rakentamisen työjärjestyksen ja aikataulutuksen suunnittelemiseksi. (Kautto 2012, 18.)

5.1.5 Hankintoja palveleva suunnittelu

Toteutussuunnittelun loppuvaiheessa hyväksytään tilaajalla rakennushankkeen valmisteluvaiheen aloittamisen ja urakkatarjouspyyntöjen laatimisen aloittamisen mahdollistavat toteutussuunnitelmat, joiden olemassaoloa hankintoja palveleva suunnittelu edellyttää (Henttinen 2012, 17). Rakennesuunnittelijan tietomalli sisältää tässä vaiheessa kantavien ja ei-kantavien betonirakenteiden koon, laajuuden, määrät sekä tarkan sijainnin (Kautto 2012, 11).

Urakkatarjousten tekijät hyödyntävät tietomalleja ja muita dokumentteja kuten määräluetteloita ja visualisointeja urakkatarjoustensa ja rakennustyön alustavien suunnitelmien tekemiseksi. Aikataulu- ja toteutusvaihtoehtojen tarkastelemisessa voidaan hyödyntää 4D-ohjelmistoja. Mallinnuksessa pitää huomioida ohjelmistojen mahdollinen käyttö työmaalla, joten sen olisi oltava selvillä hyvissä ajoin. Työn suunnittelu edellyttää tietoja toteutustavasta sekä rakennusosien- ja tuotteiden ja niiden ryhmittelyn todellisuutta vastaavasta tilanteesta. (Henttinen 2012, 19.)

5.1.6 Toteutus ja vastaanotto

Tietomallien visuaalisuutta hyödynnetään toteutusvaiheessa eritoten kohteeseen ja rakenteisiin perehtymisessä sekä työjärjestyksen suunnittelussa ja töiden yhteensovittamisessa. Määrälaskentaa pystytään olennaisesti nopeuttamaan hyödyntämällä virheettömästi tuotettua tietomallia. Tietomalleja ja niistä saatavia määräluetteloita voidaan myös käyttää alihankintatarjouspyyntöjen aineistona. (Henttinen 2012, 19.)

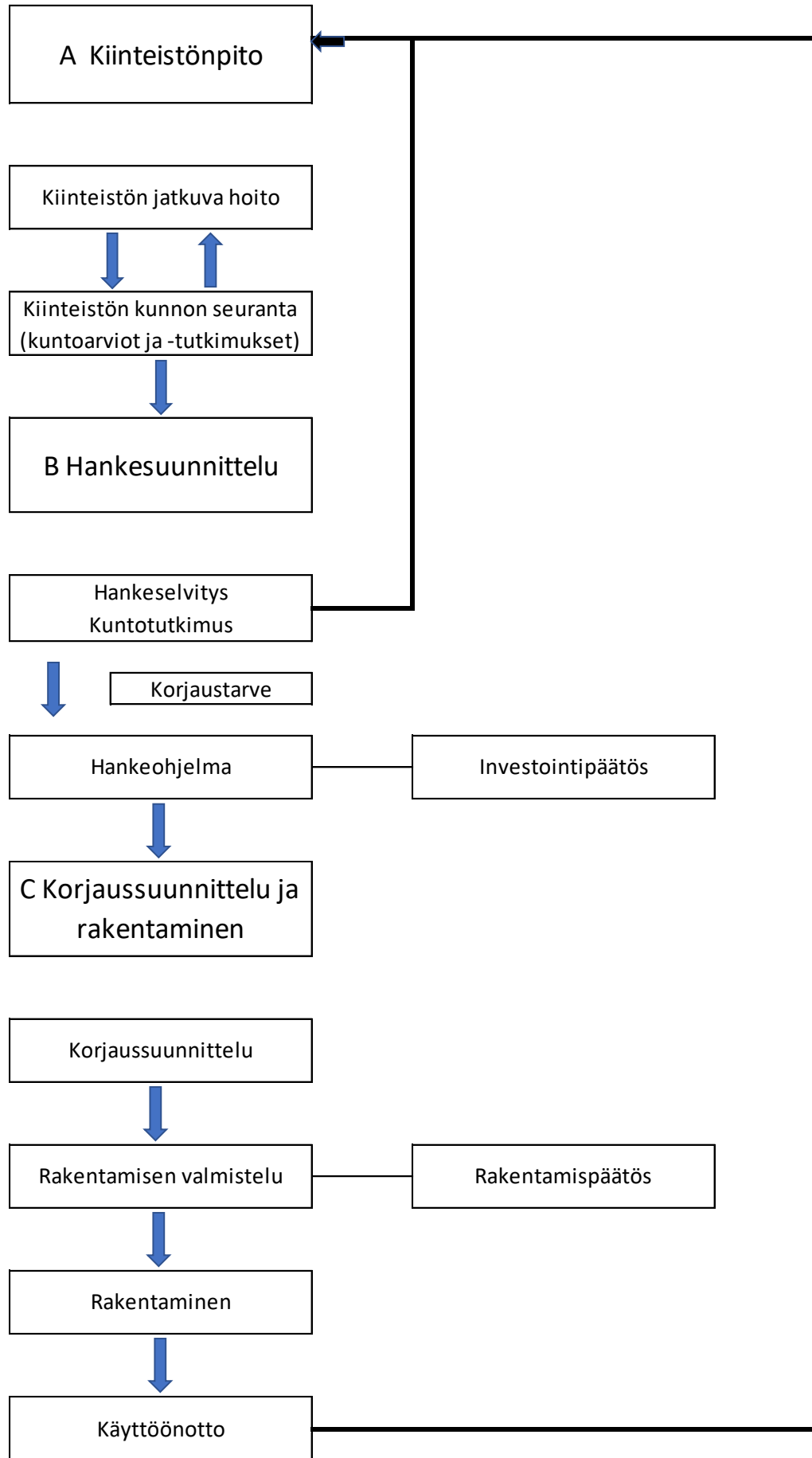
Toteumatietoa voidaan tallentaa malliin päivittäin tai viikoittain, jolloin se havainnollistaa ja dokumentoi rakennus- ja asennustöiden edistymistä (Henttinen 2012, 19). Rakennusaikaiset rakenteelliset muutokset päivitetään rakennemalliin. Mikäli näin ei ole tehty, on tarpeen tehdä vielä erillinen toteumamalli (as built). Mallin ylläpidosta rakennuksen valmistumisen jälkeen tulee sopia erikseen. (Kautto 2012, 19.)

Tietomallihankkeen lopussa varmistetaan, että rakentamisaikaiset muutokset on päivitetty malleihin, eli mallit vastaavat toteutunutta rakennusta. Mallipohjaiset huoltokirjat ovat vielä harvinaisia ja niiden tuottamisesta, kuten myös urakoitsijoilta vaadittavista toteumamalleista rakennuksen käytön, huollon ja korjausten varalle, tulee sopia tapauskohtaisesti. (Henttinen 2012, 20.)

Viranomaisvaatimusten linkittäminen tietomalleihin tehostaisi olennaisesti suunnitelmien tarkistamista, mutta ei vielä toistaiseksi ole Suomessa mahdollista. Viranomaistahojen kanssa tehtävän kehitystyön edetessä, perinteisestä dokumenttipohjaisesta prosessista voidaan siirtyä tietomallien hyödyntämiseen. (Henttinen 2012, 13.)

5.2 Korjausrakennushankkeen vaiheet

Korjausrakentamisen vaiheet eivät juurikaan eroa uudisrakennushankkeen vaiheistuksesta. Suurin ero uudisrakentamiseen verrattuna on, että korjausrakentamiseen liittyy vahvasti kuntoarviointi ja kuntotutkimukset, joilla pyritään selvittämään rakennuksen sen hetkinen kunto ja mahdollinen korjaustarve. Kuntotutkimuksella on tarkoitus selvittää käytetyt rakenteet, materiaalit ja karotta mahdolliset haitta-aineet. Yhteenvetona voidaan todeta, että korjausrakentamiseen kohdistuu huomattavasti enemmän tutkimustyötä ennen varsinaista suunnittelu- ja rakentamisvaihetta. (Haavisto 2013.)



Kuva 7. Korjausrakennushankkeen vaiheet. (Haavisto 2013)

Kuntoarvio ja kuntotutkimus ovat käsitteinä eri asioita, vaikka liittyvätkin rakennuksen kunnan kokonaisvaltaiseen tutkimukseen. Kuntoarvio on usein koko rakennuksen käsittävä aistinvarainen arvio rakennuksen kunnosta. Kuntotutkimus kattaa tavallisesti kuntoarviota pienemmän alueen, mutta on periaatteeltaan huomattavasti tarkempi kuin kuntoarvio. Kuntotutkimuksella selvitetään usein rakenneavauksin mm. haitta-aineiden määrää ja laatua. Kuntoarvion ja mahdollisen kuntotutkimuksen jälkeiset toimenpiteet hankkeen suhteen riippuvat useista tekijöistä, kuten kuvasta 6 voi päätellä. Hankkeen jatkotoimenpiteet ovat suurelta osin tilaajasta riippuvia seikkoja. Hankesuunnitteluvaiheen kuntoarvion jälkeen saatetaan esimerkiksi todeta, että tarvetta kuntotutkimukselle ei ole. (Haavisto 2013.)

Mikäli kuntotutkimuksen jälkeen päädytään korjausvaiheeseen, kysymys kuuluu, mitä korjataan. Korjausta edeltävän suunnittelun tarkoituksena on mm. selvittää erilaiset korjausvaihtoehdot ja niiden kustannukset sekä suunnitteluratkaisujen soveltuvuus. Toki monet hankkeiden korjausrakennesuunnittelu-tehtävät ovat muodoltaan hyvin samankaltaisia kuin uudisrakentamisessa. (Haavisto 2013.)

5.3 Inventointimallin vaiheistus

Tässä kappaleessa kerrotaan kuinka YTV2012 määrittää vähimmäisvaatimukset lähtötilanteen mallintamiselle hankkeen eri vaiheissa. Suunnittelun edessä malleilta edellytetään kasvavaa tarkkuustasoa. Malliin sisältyvien objektien sisältövaatimus määräytyy aina kunkin tarkkuustason mukaan. Käytettäviä tarkkuustasoja on tyypillisesti kolme. YTV2012 määrittelee täydentävässä liitteessä (BuildingSMART Finland tilaajaryhmä 2012, 2.) tarkkuustasot seuraavasti "Taso 1: Mallinnetaan perusgeometrian osalta oikein niin, että rakenteiden kokonaismäärät selviävät mallista. Rakenteet elementoidaan. Taso 2: Mallinnetaan tyyppielementit ja tyyppipaikallavalut geometrian ja sijainnin osalta oikein liittyminen, raudoitteineen ja valutarvikkeineen. Teräskokoonpanoista tehdään betonielementtejä vastaavat mallikokoonpanot liitoksineen (liitopilareihin myös raudoitteet). Muut osat mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein liittyminen ja valutarvikkeineen. Taso 3: Mallinnetaan elementit

ja paikallavalut geometrian ja sijainnin osalta oikein liittymiseen, raudoitteineen ja valutarvikkeineen. Teräskokoonpanot mallinnetaan konepajatasolle (liittopilareihin myös raudoitteet). Paalutarkkeet siirretään malliin ja paalut mallinnetaan toteuman mukaan.” Alla olevassa kuvassa on esitetty tietomallien eri tarkkuustasoja hankkeen eri vaiheissa.

	INVENTOINTIMALLIN VAIHEET	RAKENNUSOSAMALLIN VAIHEET
TARVESELVITYS JA HANKE- SUUNNITTELU	inventointimallin lähtö- tiedot, mallin tarkkuus- taso 1	
EHDOTUSSUUNNITTELU	mallin tarkkuustaso 1-2	
YLEISSUUNNITTELU	mallin tarkkuustaso 1-2	mallin tarkkuustaso 1
HANKINTOJA PALVELEVA SUUNNITTELU	mallin tarkkuustaso 1-2	mallin tarkkuustaso ra- kennusosittain 1-2
URAKKA-/TOTEUTUSSUUN- NITTELU	mallin tarkkuustaso 1-2	mallin tarkkuustaso 1-3
KÄYTTÖÖNOTTO	mallit koostetaan yhteen	

Kuva 8. Tietomallin tarkkuustasot hankkeen eri vaiheissa. (Henttinen 2012, 21)

5.3.1 Tarveselvitys ja hankesuunnittelu

Tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheiden aikana korjausrakennuskoh-
teessa suoritetaan mittaukset ja inventoidaan rakennus sekä tontti. Lisäksi
tehdään asianmukaiset tutkimukset tarvittavalta osalta. Saatujen tietojen pe-
rusteella tehdään inventointimalli, mittapiirustukset sekä laaditaan raportit.
Tässä vaiheessa inventointimalli on tavallisesti tasoa 1, joka vastaa tilamallita-
soa. Mikäli hankesuunnittelu on tarkoitus tehdä ehdotussuunnitelmatasoon, on
inventointimalli järkevää mallintaa tasoon 2, joka vastaa rakennusosamallita-
soa. (Rajala 2012, 18.)

5.3.2 Suunnittelun valmistelu

Suunnittelun valmistelun lähtötietoina ja tarjouspyyntö materiaaleina käytetään
hankesuunnitteluvaiheen inventointimallia sekä sen pohjalta laadittuja raport-
teja. Tarpeen vaatiessa inventointimalli täydennetään ja tarkennetaan tasoon
2. Mikäli hankesuunnitteluvaiheessa ei tehdä inventointimallia ja siihen liittyviä
mittauksia, tehdään ne suunnittelun valmisteluvaiheessa. (Rajala 2012, 19.)

5.3.3 Ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu ja toteutussuunnittelu

Siirryttäessä ehdotussuunnittelu vaiheeseen, inventointimalli voidaan siirtää korjausrakennesuunnittelijan ohjelmistoon ja varmistaa mallin toimiva käyttö. Käytön varmistuksen jälkeen malli siirtyy yleissuunnitteluvaiheeseen ja edelleen toteutussuunnitteluvaiheeseen. (Rajala 2012, 19.)

5.3.4 Rakentamisen valmistelu ja rakentaminen

Rakentamisen valmisteluvaiheessa urakkatarjouspyynnöissä voidaan hyödyntää inventointimallia ja sen pohjalta laadittuja raporteja. Mikäli inventointimallissa on puutteita tai mallintamattomia rakenteita, voidaan niitä täydentää ja tarkentaa vielä rakentamisvaiheessa. Inventointimallissa voi ilmetä puutteina esimerkiksi piiloon jääviä rakenteita, joita täydennetään tarkistusmittauksin. Lisäksi myös kohteen reikätiiedot tarkentuvat hankkeen edetessä ja niitä joudutaan päivittämään malliin. (Rajala 2012, 19.)

5.3.5 Käyttöönotto

Lopulta hankkeen toteutumamallit ja inventointimalli koostetaan yhteen ja luovutetaan tilaajalle. Näin malleja päästään käyttöönottovaiheessa hyödyntämään kiinteistönpidon tarpeisiin. (Rajala 2012, 20.)

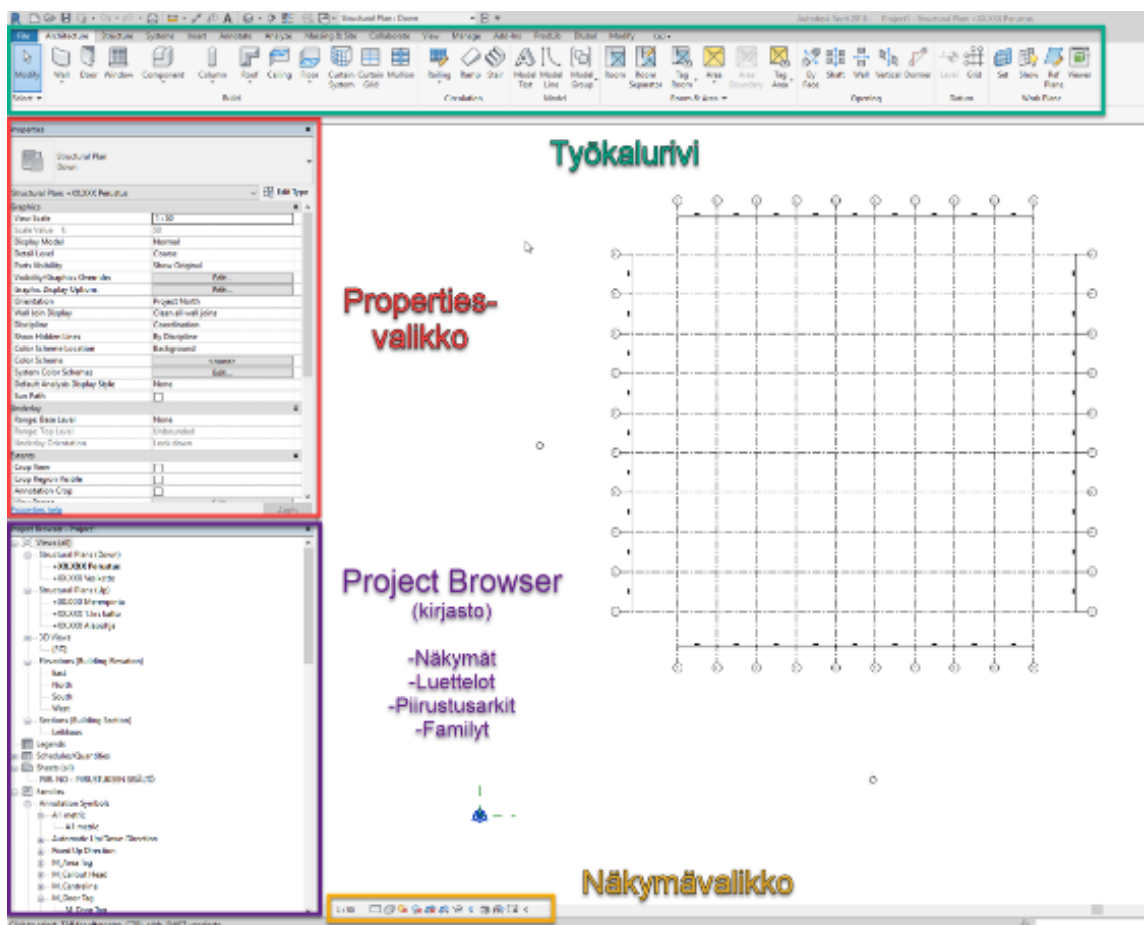
6 AUTODESK TUOTEPERHE

Autodesk tarjoaa kattavan kokonaisuuden ohjelmistoja kaikille suunnittelu-aloille, jotka mahdollistavat tehokkaat työskentelytavat eri ohjelmistojen välillä. Kaikki arkkitehti-, rakennus- ja infrasuunnittelun keskeiset työkalut löytyvät Autodesk Architecture, Engineering & Construction (AEC) Collection -toimialakoelmasta. (Autodesk 2019.)

6.1 Revit-ohjelmisto

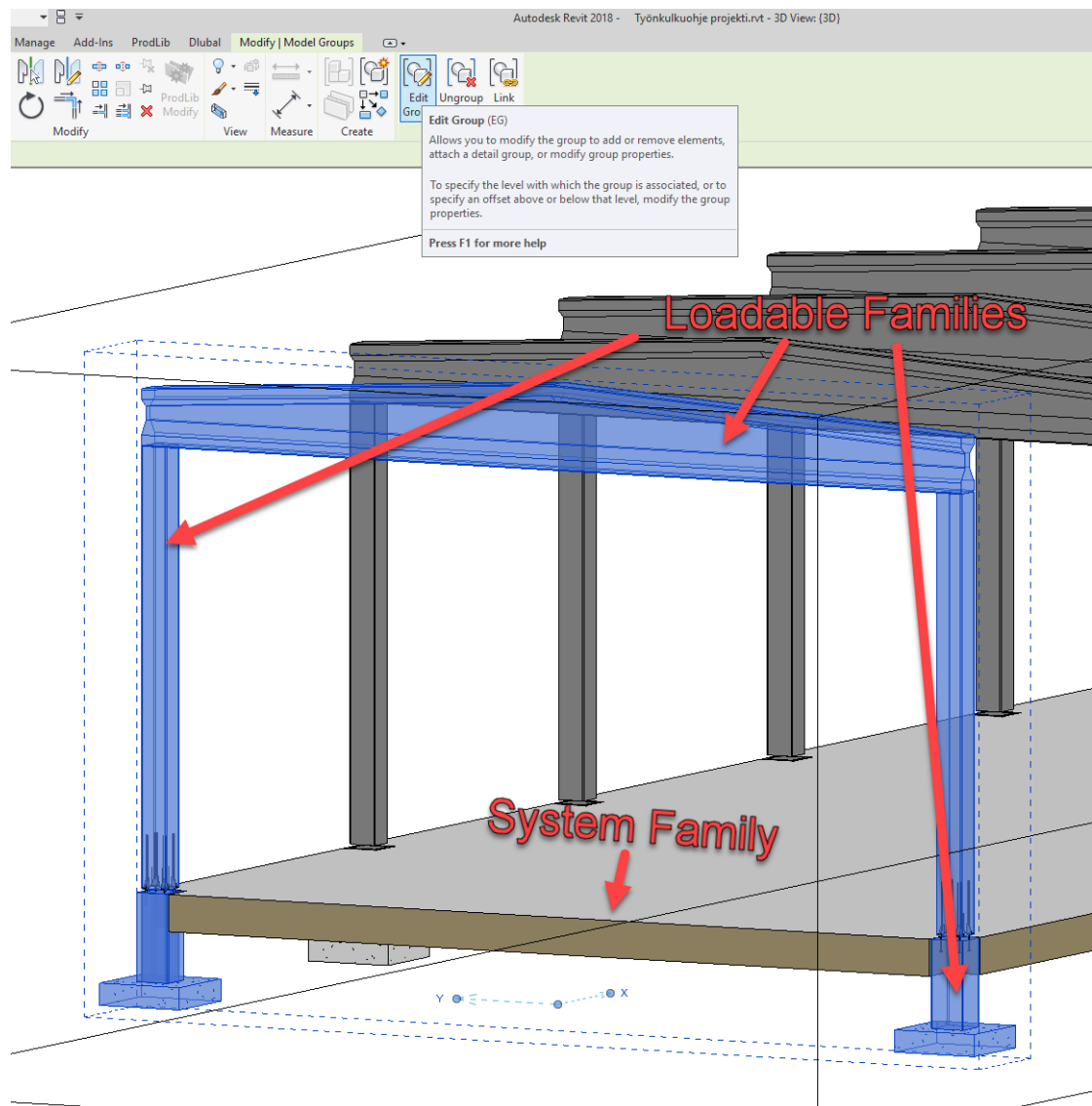
Autodesk Revit on tietomallinnukseen suunniteltu ohjelmisto, jolla voidaan mallintaa yksittäisiä rakennusosia tai isompia konstruktioita. Tietomallintamisella tarkoitetaan tässä yhteydessä suunnittelutiedon sisällyttämistä samaan

malliin. Revitin tavoite on pystyä tarjoamaan tarvittavat työkalut onnistuneeseen tietomallintamiseen ja parantamaan työnkulun jouhevuuksi eri suunnittelualojen välillä. Näin ollen Revit toimii eri suunnittelualojen yhteisenä tietomallinnusalueena, sisältäen työkaluja sekä erilaisia ominaisuuksia huomioiden rakennusprojektin eri osapuolet. Revitin helppokäyttöiset työkalut ja virtaviivainen käyttöliittymä nopeuttavat työnkulkua. Tehdyt muutokset päivittyvät automaattisesti kaikkialle, sillä mallin tiedot tallentuvat yhteen paikkaan ja päivittyvät sitä kautta kaikkialle malliin. Avoimella tietomallinnuksella pyritään sanan mukaisesti avoimeen suunnittelu ympäristöön, jossa ajantasainen tieto on kaikkien saatavilla. Avoin tietomallinnus ei rajoitu ainoastaan avoimeen suunnittelutietoon, vaan merkitsee koko rakennusprojektin työnkulun yhteensopivuutta. Revit -ohjelma tukee useita standardoituja formaatteja ja on yhteensopiva muiden FEM-ohjelmien kanssa. Projektiin voidaan linkittää referensseiksi toisia Revit malleja, AutoCAD- ja Navisworks -tiedostoja tai pistepilviaineistoa. Mukana tulevan Dynamo -lisäosan avulla voidaan optimoida työnkulkua avoimen visuaalisen ohjelmoinnin käyttöliittymällä. (Autodesk 2019.)

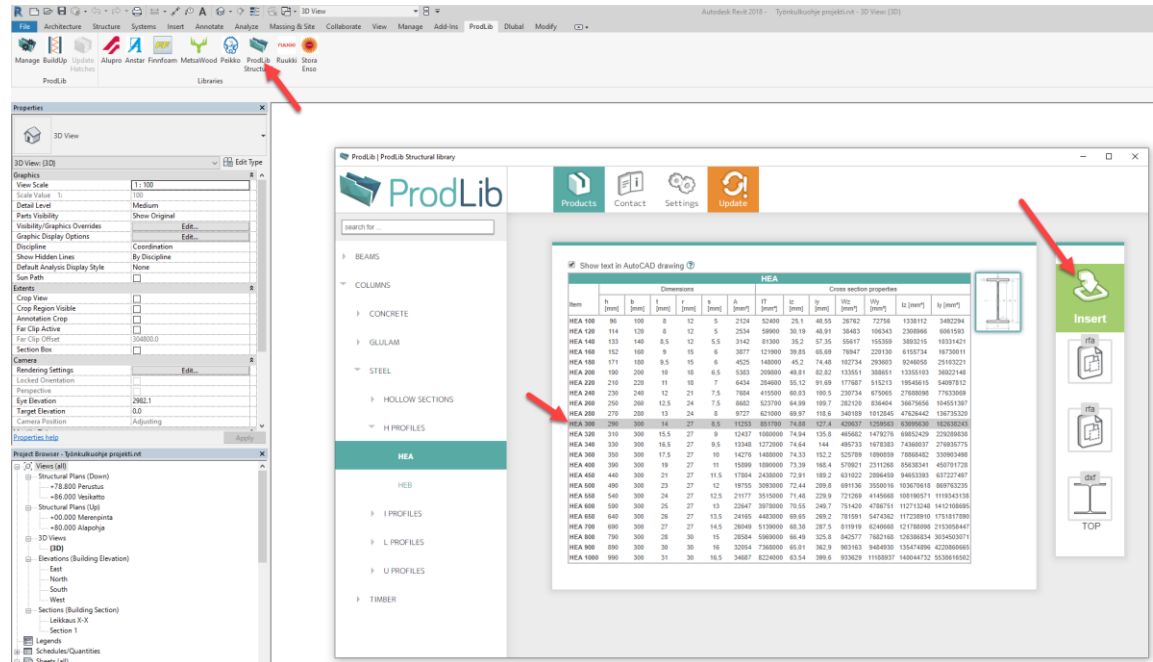


Kuva 9. Revit perusnäky.

Pohjana Revitin käytölle on family-objektit (kuva 10), jotka on jaettu kolmeen eri tyyppiin: System Families, In-Place Families ja Loadable Families. Familyt koostuvat parametrisoiduista ominaisuuksista, jotka mahdollistavat komponentin muokkaamisen aina käyttötarkoitukseen sopivaksi. System Familyt sisältyvät Revit ohjelmaan jo kirjaston asennuksen yhteydessä. Loadable Familyt ovat ulkoisesta kirjastosta projektiin ladattavia objekteja ja In-Place Familyt ovat projektikohtaisia erikoisobjekteja, jotka luodaan suoraan projektissa vain tiettyä käyttötarkoitusta varten. Revit -ohjelmaan integroitavalla ProdLib -lisäosalla (kuva 11) voidaan tuotevalmistajien kirjastoista ladata valmiita objekteja runkorakenteista aina yksityiskohtaiseen kiinnikkeeseen.



Kuva 10. Revitin Family-esimerkkejä.



Kuva 11. ProdLib lisäosa

Yksi tärkeimmistä Revitin ominaisuuksista on mallin yhteiskäyttö, joka mahdollistaa usean käyttäjän työskentelyn samassa mallissa. Käyttäjä voi varata itselleen Worksets -toiminnolla muokattavat kohteet, jotka lukittuvat muille käyttäjille, kunnes kohteet vapautetaan takaisin kaikkien käyttöön. Näin vältetään päällekkäisten muutosten tekemistä. Muut käyttäjät voivat tarvittaessa lähettää pyynnön varatun kohteen vapauttamisesta sen varanneelle käyttäjälle. (Autodesk 2019; ProdLib 2019; Arksystems 2017.)

6.2 ReCap Pro/Photo

ReCap on Autodesk-tuoteperheen pistepilviaineiston käsittelyyn tarkoitettu ohjelmisto, josta on kaksi versiota: ReCap Pro ja ReCap Photo. Kumpikin versio mahdollistaa pistepilvien tarkastelun ja mittojen keräämisen helppokäyttöisillä työkaluilla suoraan ohjelmasta. (Autodesk 2019.)

ReCap Pro on ensisijaisesti laserkeilausaineiston käsittelyyn suunniteltu ohjelma, joka mahdollistaa automaattisen skannausten rekisteröinnin ja luo tarkkan skaalautuvan 3D-pistepilven minuuteissa. ReCap Pro:n selkeän työnkulun avulla voidaan yhdistää laserkeilausaineistoa ja/tai ReCap Photo-ohjelmalla tuotettuja fotogrammetrisiä pistepilviä suuremmiksi kokonaisuuksiksi. ReCap

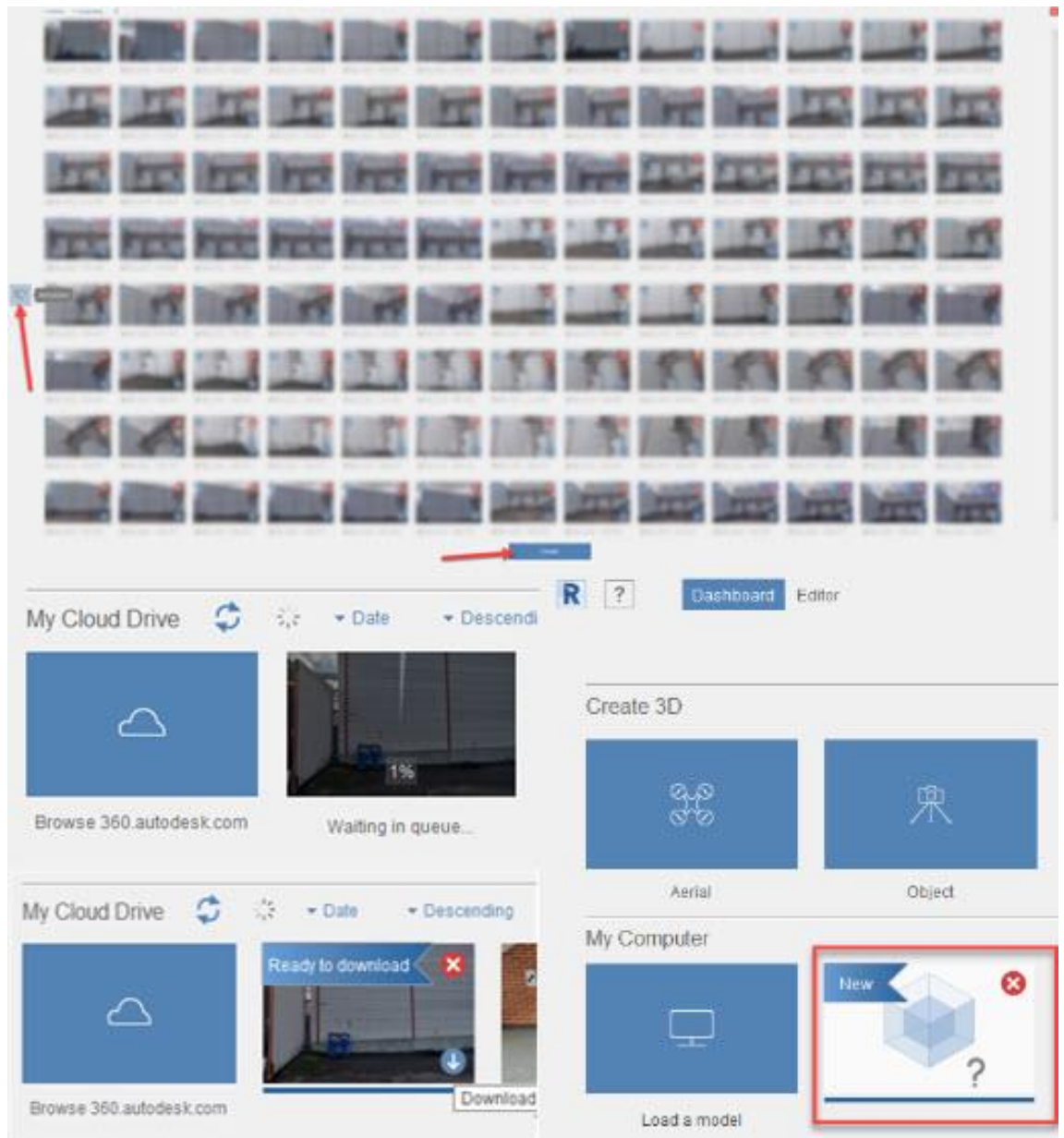
Pro-ohjelmalla tuotetut pistepilviaineistot (.rcs) ja pistepilviprojektit (.rcp) mahdollistavat pistepilven linkittämisen suoraan muihin Autodeskin ohjelmiin, kuten AutoCAD, Revit, InRoads, Civil 3D ja Navisworks. (Autodesk 2019.)

ReCap Photo on erillinen lisäohjelma fotogrammetrian käsittelyyn, joka sisältyy ReCap Pro-tilaukseen. Valokuvat ladataan ReCap Photo-työpöytäsovelluksen kautta Autodeskin A360-pilvipalveluun ja varsinaisen kuvien prosessointi pistepilveksi tapahtuu pilvipohjaisen laskennan avulla. Valmistunut pistepilviprojekti (.rcm) ladataan takaisin työpöytäsovellukseen, jonka jälkeen pistepilven käsittely tapahtuu työpöytäsovelluksessa. (Autodesk 2019.)



Kuva 12. ReCap Photo -aloiusnäkyvä. (Sitowise 2019)

ReCap Photo on jaettu kahteen kategoriaan, ilmakuvaukseen ja objektikuvaukseen. Ilmakuvausaineiston käsittely mahdollistaa jopa 1000 ilmakuvaan muuttamisen kolmiulotteiseksi pistepilveksi, mesh-malliksi tai geometrialtaan karttaa vastaaviksi ortokuvaksi. Ilmakuvauksessa hyödynnetyt kohdistuspisteet (GPCs eli Group Control Points) ja alueen koordinaattijärjestelmä määritetään aineistoon, jonka jälkeen maantieteelliseen paikkasijaintiin sidottua ilmakuvausmateriaalia voidaan käyttää lähtötietoina suunnittelussa. Objektikuvaustoiminnolla käsiteltävien kuvien määrä on rajoitettu 300 kuvaan. Objektikuvaustoiminto ei mahdollista kohdistuspisteiden ja koordinaattien käyttöä, vaan mittamaailma määritetään malliin skaalaustyökälulla. (Autodesk 2019.)



Kuva 13. ReCap Photon työnkulku. (Sitowise 2019)

7 LÄHTÖTIETOJEN HANKINTA

Korjaushankkeen onnistuminen edellyttää riittävät, laadukkaat ja ajantasaiset lähtötiedot. Puutteelliset tai epäluotettavat lähtötiedot ovat korjausrakentamisessa suuri ongelma, sillä heikoilla lähtötiedoilla tehty työ voidaan myöhemmin joutua tekemään kokonaan uusiksi. Tässä luvussa käsitellään kehittyneen teknologian mahdollistamia älykkäitä ratkaisuja lähtötietojen hankinnassa. Pistepilvi on keskeisessä roolissa kaikissa nykyaikaisissa lähtötiedon hankintamenetelmissä ja aineiston käsittelyssä.

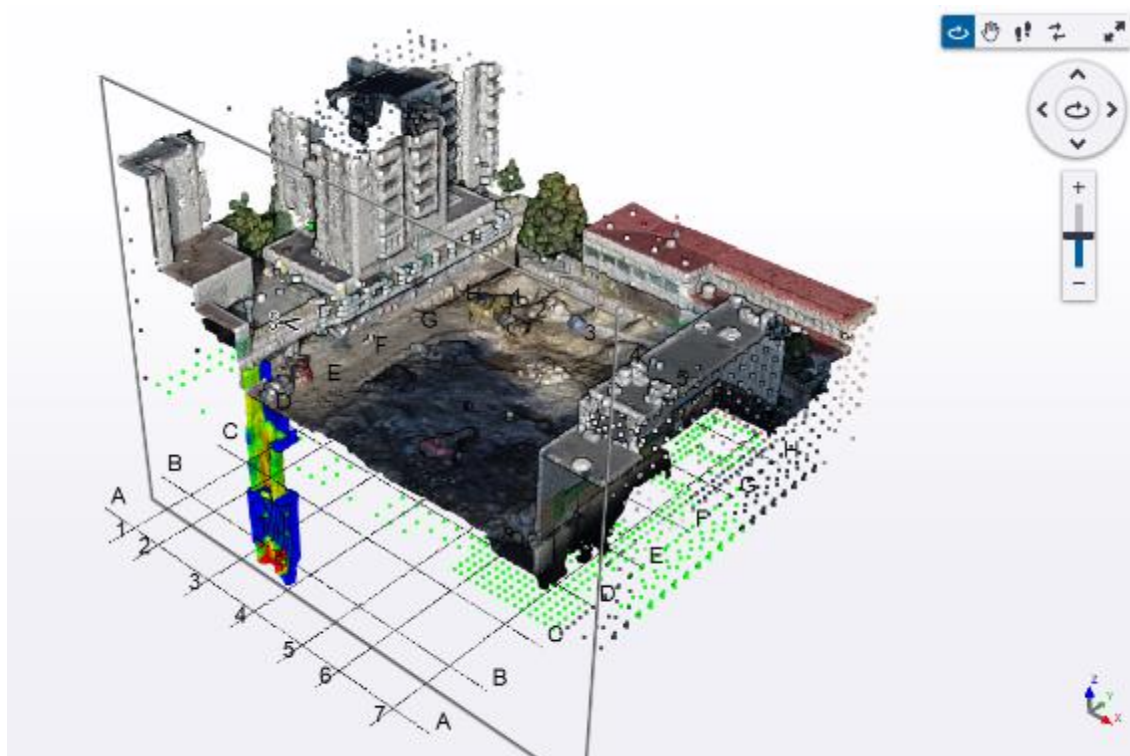
7.1 Pistepilvi

Pistepilvi on xyz-koordinaatteihin perustuvaa dataa, joka koostuu lukuisista yksittäisistä mittauksista muodostaen niistä kolmiulotteisen kokonaisuuden.

Koordinaattitiedon lisäksi pistepilveen voidaan yhdistää väritieto laitteistoissa olevien kameroiden avulla. Tällöin pistepilvestä saadaan havainnollisempi valokuvamainen realistinen lopputulos. Pistepilviaineistoa yleisimmin hankitaan laserkeilauksella tai fotogrammetrialla. (Gray 2019.)

Pistepilviohjelmilla voidaan pistepilviaineistoa hyödyntää suoraan tilojen, rakenteiden ja etäisyyksien mittaamiseen tai vertailumallina suunnittelun apuna. Pistepilviaineistosta voidaan tuottaa yksinkertaisimmillaan rakennuksen kuori-malli (mesh-malli), jossa rakenteet ovat vain muodoltaan vastaavia pintoja ilman materiaalitietoja. Pistepilveen perustuva mesh-mallin käyttö arvokohteiden 3D-dokumentointiin on yleistynyt viime vuosien aikana runsaasti. Korjaushankkeiden suunnittelussa pistepilveä voidaan parhaiten käyttää tietomallinnuksessa. Suunnittelua varten pistepilviaineistosta voidaan mallintaa kolmiulotteinen inventointimalli, jossa ilmenee tyypillisesti kantavat rakenteet, materiaalit ja talotekniikan reitit. Pistepilveä voidaan myös hyödyntää hybridimallina, jolloin olemassa olevat säilytettävät rakenteet ovat pistepilvenä ja uudet rakenteet mallinnetaan yhteiseen koordinaatistoon. Suunnittelutyössä pistepilvestä voidaan rajata yksittäisiä osa-alueita tai ottaa leikkauksia leikkauskuvien tuottamiseen. Asiakkaalle pistepilvi on mahdollista visualisoida renderöimällä pistepilviaineisto animoiduiksi videoiksi. (ProDigiOUs 2019.)

Pistepilviohjelmien lisäksi kerättyä dataa voidaan jatkokäsitellä monilla suunnitteluohjelmilla. Autodeskin AutoCad- tai Revit-ohjelmiin pistepilviaineisto voidaan viedä lähtötiedoiksi suoraan raakadatana (.xyz, .pts), ReCap-sovelluksella käsiteltynä pistepilvenä (.rcs) tai pistepilviprojektina (.rcp). ReCap-tiedostomuodot .rcp ja .rcs voidaan linkittää Revit projektiin, jolloin pistepilviaineistoon tehty muutokset päivittyvät myös Revit-projektiin. (Autodesk 2019.)



Kuva 14. Yhdistetty laserkeilaus ja fotogrammetria. (Sitowise 2019)

7.2 Laserkeilaus

Laserkeilaus on olemassa olevan ympäristön mittausmenetelmä, jossa hyödynnetään lasermittaustekniikkaa ja tehokasta tietotekniikkaa. Laserkeilauksella tuotetaan tarkkaa kolmiulotteista xyz-koordinaatistoon perustuvaa mittatietoa, joka perustuu lasersäteen heijastumiseen mittalaitteen ja mitattavan pinnan välillä. Keilaus on menetelmänä nopeaa ja turvallista, ja se soveltuu hyvin monenlaisiin kohteisiin. Keilain tallentaa on jopa yli miljoona pistettä sekunnissa laitteesta ja tarkkuusasetuksista riippuen. Laserkeilainten kantama vaihtelee metreistä kilometriin ja tarkkuustoleranssi on millimetristä muutama senttimetriin. (ProDigiOUs 2019.)

Laserkeilaus on kustannustehokas tapa kerätä yksityiskohtaiset lähtötiedot monimutkaisista geometrisista tai muutoin hankalasti mitattavista paikoista. Laserkeilaus voidaan toteuttaa myös pimeässä. 3D-laserkeilauksella saadaan visuaalista yksityiskohtaista tarkkaa ja luotettavaa lähtötietoa suunnittelun avuksi. Laserkeilauksen avulla minimoidaan lähtötietojen keräämisessä tapahtuvat mahdolliset mittavirheet. (ProDigiOUs 2019.)

Keilaus vaatii kohdistuspisteitä, joiden tulee näkyä useammasta keilauspisteestä. Kohdistuspisteet voivat olla tähyksiä (kuva 15) tai muita koordinaatioon tarkasti sidottuja pisteitä. Kohdistuspisteiden avulla useiden eri keilausten pistepilvet kohdistetaan toisiinsa. (Turner 2011.)



Kuva 15. Tähyks ja kohdistuspisteiden sapluuna. (Sitowise 2019)

Laserkeilauksesta muodostunutta pistepilveä voidaan hyödyntää sellaisenaan, vaikka todellinen hyöty perustuu pistepilven hyödyntämiseen tietomallinnuksessa. Usein laserkeilaukseen yhdistetään laitteen ottamat 360°-valokuvat, joiden avulla pistepilveen lisätään RGB-(Red-Green-Blue) -väritieto. Useimilla laitteilla on turvallinen laserluokitus, joka mahdollistaa käytön julkisilla paikoilla. (ProDigiOUs 2019.)

Laserkeilaus on tehokkaimmillaan mittavissa korjaushankkeissa ja suurissa kohteissa sekä kohteissa, joista ei ole saatavilla ajantasaisia piirustuksia tai olemassa olevia luotettavia lähtötietoja. Laserkeilaus suoritetaan useimmiten hankesuunnitteluvaiheessa, mutta se voidaan tehdä jo tarvesuunnitteluvaiheessa, mikäli hankkeen toteutuminen on todennäköistä. Laserkeilausta voidaan hyödyntää myös purkutöiden jälkeen, jolloin suunnittelijan työ helpottuu esimerkiksi talotekniikan sijoittelussa, kun piilossa olevat rakenteet ovat tarkasti tiedossa. Laserkeilauksen hyötyinä muihin mittausmenetelmiin on sen tarkkuus, nopeus, kattavuus ja luotettavuus sekä aineiston ajantasaisuus. Laserkeilauksen miljoonien mittapisteiden avulla voidaan tarkistaa muodonmuutoksia, kuten paikalla valettujen laattojen tai palkkien siirtymiä ja painumia. Tyypillisimpiä kohteita laserkeilaukselle ovat koulut, sairaalat ja arvokiinteistöt. Julkisivukorjaus- tai linjasaneeraushankkeissa keilausta voidaan hyödyntää tarvittavilla osa-alueilla. (Uotila 2018.)

7.2.1 Laserkeilausprojektin kulku

Laserkeilausprojekti alkaa tilaajan perehdyttämällä tekniikkaan sekä tilaajan vaatimusten ja lähtötietojen keräämisellä. Tilaajan kanssa sovitaan tarkasti keilauksen sisältö, aikataulu ja keilauksen tarkkuusvaatimukset. Keilattavasta kohteesta kerätään valokuvia ja rakennepiirustukset. Laserkeilauksen toteutuksesta tehdään tarkka suunnitelma valokuvien ja rakennepiirustusten pohjalta. Suunnitelmassa käy ilmi keilausten lukumäärä ja sijainnit, tähysten ja kohdistuspisteiden käyttö, georeferointi, keilausparametrit, aikataulu ja käytettävä kalusto. Suunnitelmissa tulee huomioida myös tilaajan kanssa sovitut turvallisuuden, kulkuoikeuksiin sekä ympäristöolosuhteisiin liittyvät asiat. Kun laserkeilaus on suoritettu, kerätty pistepilvidata käsitellään käyttötarkoituksen mukaiseen muotoon ja toimitetaan tilaajalle. (Tammi 2018.)

Laserkeilauksen toteutus vaatii ymmärrystä tekniikasta ja suunnittelua ennen keilauksen toteuttamista. Mittatarkkuudet rakennuksen eri kohdissa tulisi määrittellä suunnittelijan kanssa etukäteen, jotta vältetään liian harvat keilausalueet ja toisaalta liian suuret tiedostokoot sekä varmistetaan tiedostomuotojen yhteensopivuus suunnittelijan ohjelmistojen kanssa. Laserkeilauksen toteuttaminen olisi tehokkainta suorittaa järjestelmällisesti kerros kerrallaan ja huomioida

mahdollisesti lukittuna olevat tilat. Tällöin kohdistuspisteiden siirtelyyn ei kulu ylimääräistä aikaa. Kohdistuspisteitä tulisi sijoittaa tarpeeksi eri puolille rakennusta, jotta kiintopisteet saadaan sidottua tarkasti koordinaatistoon. Ennen keilauksen suorittamista on suositeltavaa pitää palaveri, jolloin varmistetaan keilauksen aikataulut sekä varmistetaan pääsy kaikkiin tiloihin. Keilauksessa tulee huomioida mallinnusta häiritsevät tekijät, kuten irtokalusteet, verhot ym., jotka estävät rakenteiden näkymisen. (Uotila 2018.)

7.2.2 Laserkeilaus tulevaisuudessa

Laserkeilauksen käytön uskotaan lisääntyvän erityisesti inventointimallinnuksessa tekniikkaan liittyvän automaation kehittyessä. Automatisoitu inventointimallinnus vähentäisi käsityön määrää ja inhimillisiä virheitä. Tekniikan kehittyessä laserkeilaimet tulevat kevenemään ja olemaan entistä kustannustehokkaampia laitteistojen hintojen madaltuessa. Tällä hetkellä puhutaan vielä useiden kymmenien tuhansien investoinneista. Markkinoille on jo tullut pienempiä ja edullisempia laitteita, mutta niiden tarkkuus ei vielä yllä suurempien laitteiden tasolle. Laserkeilaimesta voi tulevaisuudessa tulla arkityökalu niin suunnittelutyön avuksi kuin työmaalle laadun tarkkailuun ja virheiden havainnointiin. (Uotila 2018.)

Käsiskannereiden kehittyessä laserkeilaus nopeutuu ja helpottuu entisestään. Käsiskannerilla keilaaminen on yksinkertaista, kartoittaja kulkee käsiskanneri kädessään rakennuksen läpi ja laitteisto muodostaa kerätystä datasta 3D-pistepilven. Käsiskannerimittaus on liikuteltavana moninkertaisesti nopeampaa perinteiseen laserkeilaimen verrattuna. Pienillä etäisyyksillä sisätiloissa nykytekniikan käsiskannereilla päästään jo noin senttimetrin tarkkuuteen, mutta odotettavissa on, että käsiskannereiden tarkkuus tulee kehittymään entisestään. (Keitaanniemi 2018.)

7.3 Fotogrammetria

Fotogrammetria on valokuvaan perustuva mittausmenetelmä. Fotogrammetrian käyttö on lähivuosina yleistynyt kovaa vauhtia ja sitä hyödynnetään mm. kartoissa, maankäytön suunnittelussa ja mittauksissa sekä 3D-mallinnuksessa.

Fotogrammetriatekniikat voidaan karkeasti jakaa ilmakuvaamiseen ja maasta otettuun lähikuvaamiseen. Fotogrammetrisellä ilmakuvauksella rakennusten julkisivut voidaan yhdistää keilattuun inventointimalliin. Fotogrammetrian tarkkuus riippuu kuvauksen toteutuksesta ja etäisyyksistä, tarkkuus vaihtelee senttimetristä vajaaseen kymmeneen senttimetriin. (Waldorf 2007.)

Digitaalinen fotogrammetria perustuu useista eri paikoista ja kuvakulmista otettujen valokuvien yhdistämiseen 3D-malliksi. Valokuvaamiseen riittää tavalinen kamera sekä tietokoneohjelmisto. Tavalliset kamerat eivät osaa mitata syvyystietoja, tästä syystä 3D-malli vaatii useita kuvia eri puolilta kohdetta. Tietokoneohjelmisto vertaa kuvien pikseleiden tietoja ja päällekkäisten kuvien avulla muodostaa 3D-mallin. Fotogrammetria on edullinen mittausmenetelmä laserkeilaukseen verrattuna, mutta sillä ei saavuteta yhtä tarkkaa lopputulosta. (Luts 2018.)

Uutena tekniikkana laserkeilauksen ja perinteisen fotogrammetrian välillä on 3D-valokuvaus, jossa syvyystietoa saadaan kerättyä infrapunavalon avulla. 3D-valokuvaus on perinteistä fotogrammetriaa nopeampi ja tarkempi toimenpide. Hankintamenoiltaan 3D-valokuvaukseen kehitetty laitteisto asettuu huomattavasti laserkeilaimia edullisemmaksi, vaikka investointikustannuksissa puhutaan useammista tuhansista euroista. (Matterport 2019.)



Kuva 16. Fotogrammetrinen pistepilvireferenssi. (Sitowise 2019)

7.3.1 Fotogrammetriaan vaikuttavat tekijät

Fotogrammetriaprosessin onnistumiseksi parhaalla mahdollisella tarkkuudella tulee ottaa huomioon muutamia tärkeitä ohjeita ja tekniikoita. Fotogrammetria vaatii oikeanlaiset ja riittävät valoisuusolosuhteet. Pimeässä tai hämärässä fotogrammetria ei onnistu toisin kuin laserkeilaus. Kuvatessa tulisi välttää voimakkaita varjoja, jotka hankaloittavat kuvien prosessointia. Sisätiloissa on suositeltavaa käyttää tasaista hajavaloa, joka ei muodosta suurta kontrastisävyä. Salaman käyttöä tulisi välttää, sillä se muodostaa teräviä varjoja. Tarvittaessa voidaan hyödyntää jalustaa pidemmän valotusajan käyttämiseksi. Ulkona kuvatessa paras keli on pilvinen, jolloin voimakkaita varjoja ei muodostu. Kiiltävät, tasaiset, heijastavat ja märät pinnat hankaloittavat fotogrammetrian onnistumista. (Vidanovski 2014.)

Hyviä tuloksia saadaan lähes millä tahansa kameralla, mikäli kuvaus on suoritettu oikein. Suosituksena on kuitenkin käyttää vähintään 12 megapikselin sensorilla varustettua kameraa ja laadukasta objektiivia, joka ei vääristä valokuvaa. Kuvauksessa tulisi käyttää aina mahdollisimman pientä ISO-herkyyttä, jotta ylimääräistä kohinaa ei synny valokuviin. Valotus tulisi pitää samana kaikkien kuvien kohdalla. Valokuvien tulee olla tarkkoja ja teräviä koko kuvan alueelta ja tarkennetun kohteen tulisi aina olla kuvan keskellä. Kohteesta otettujen kuvien päällekkäisyys tulisi olla vähintään 60 %. (Vidanovski 2014.)



Kuva 17. Fotogrammetrialla tuotettu kaupunkimalli. (Sitowise 2019)

Sveitsiläinen insinööri- ja maanmittausalan yritys Mosini Caviezel SA on testannut ja arvioinut parhaat työkulut ja menetelmät sisätiloissa suoritettavaan fotogrammetriseen kuvaukseen yhteistyössä Pix4D:n kanssa. Paras lopputulos saavutettiin kiertämällä tilan seinustaa ympäri kohtisuorassa kuvattavan alueen kanssa. Tällöin kohde pysyy kuvan keskellä ja vääristymien vaikutus on vähäisintä. Heikoin tulos saadaan kuvattaessa yhdestä pisteestä ympäri pyörimällä. Testeissä käytettiin neljää GCP-pistettä (Ground Control Point) paikkatietojen sitomiseen. Seinille asetettujen kohtisuorassa olevien tähysten avulla varmistettiin oikea etäisyys. Fotogrammetrisesta pistepilvestä muodostettiin 2D-pohjakuvat, joista määriteltiin tilojen pinta-aloja. Erot todellisen pinta-alan ja fotogrammetrisen pohjakuvan välillä olivat ~1–2 % riippuen tilan suuruudesta. 2D-pohjakuvaa varten kartoitus voidaan suorittaa 4K-videokameralla, jolloin ohjelmisto pilkkoo videon kuviksi ja varmistaa suuren päällekkäisyyden kuvien välillä. Videokuvauksella resoluutio ei ole kuitenkaan riittävän tarkka 3D-mallin rakentamiseen. Sisätiloissa fotogrammetrian käyttö on haastavampaa kuin ulkona. Sisätiloissa korostuu riittävä kuvien päällekkäisyys ja eri kuvakulmat. (Pix4D 2017.)

Uuden tekniikan 3D-kamerat on varustettu mittatietoa keräävällä infrapunavolotekniikalla. Syvyystietoa keräävillä laitteilla päästään lähelle laserkeilainten tarkkuutta, noin 1 % luokkaan. 360°-skannauksella saadaan nopeasti ja automaattisesti valmis mesh-malli ilman erillisiä kohdistuspisteitä. Kameran tallentama 360°-panoraamakuviin perustuva värillinen pistepilviaineisto voidaan suoraan viedä mm. ReCap-, AutoCAD- ja Revit-ohjelmistoon. Matterportin kameralla saadaan kerralla 3D-tilaesittelys, värillinen pistepilvi, heijastetut pohjapiirustuskuvat, 3D-mittaukset sekä 2D- ja 360°-valokuvat. Yksi 360°-skannaus kestää vain alle 20 sekuntia. Kameran ohjelmistolla luodaan automaattisesti virtuaalikierron 3D-malliin ilman jälkikäsitteilyn tarvetta. 3D-mallista mittaukset voidaan tehdä kameran ohjelmiston tai ReCap-ohjelmiston avulla ilman paikan päälle menoa. (Matterport 2017.)

Ilmakuvauksessa DJI on julkaissut syksyllä 2018 uuden Phantom 4 RTK ammattilaismallin kartoitus- ja mittauskäyttöön, joka tuo seuraavan sukupolven tekniikkaa omassa hintaluokassaan. RTK-maatukiaseman kanssa kopteriin integroitu RTK-moduuli mahdollistaa reaaliaikaisen tarkan paikkatiedon tallentamisen suoraan kuvatiedostoon ilman erillisiä kohdistuspisteitä. 100 metrin lentokorkeudelta saavutettava tarkkuusluokka on 2.7 cm/ pikseli. Laitteisto sisältää myös käyttötarkoitukseen soveltuvan ohjaimen ja uuden sovelluksen, joka mahdollistaa lentosuunnitelmien teon ja kuvausasetusten määrittelyn ilman ulkoisten osapuolien lisäsovelluksia. (DJI 2019.)

7.4 UA-ilmakuvaus

Perinteinen ilmakuvaus pystytään tekniikan kehittyessä helposti ja edullisesti hoitamaan miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä. Yleisimmät käyttökohteet ovat inventointi- ja suunnittelumittaukset, sekä erilaiset tilavuusmittaukset ja tarkastukset. Laitteiden yleistymisen myötä fotogrammetrian on käyttö lisääntynyt ja mahdollistaa laserkeilausta huomattavasti edullisemmän mittaustavan. Sähkömoottoreilla toimivat miehittämätön ilma-alus ovat turvallinen tapa toteuttaa ilmakuvaus ilman meluhaittoja. Ilmakuvaus suoritetaan alle 150 m:n korkeudessa, jolloin pääsääntöisesti erillisiä lentolupia ei tarvita. Ilmakuvauksen kerätyn datan perustuotteet ovat ortoilmakuva ja pintamalli. Mittausdataa voidaan jatkojalostaa erilaisiin käyttötarkoituksiin soveltuen. Ortokuva on useista ilmakuvista yhdistetty karttakoordinaatistoon liitetty geometrialtaan karttaa vastaava ilmakuva-aineisto. Ilmakuvauksen datasta saadaan pistepilven avulla tuotettua kolmiulotteinen 3D-pintamalli pinnanmuotojen, rakennusten ja kasvillisuuden mukaan. Pistepilvi voidaan havainnollistaa yhdistämällä pisteisiin ortokuvien RGB-värikoodit. (Mitta 2019.)



Kuva 18. Ilmakuvauksella tuotettu ortokuva. (Sitowise 2019)

Digitalisaation kehitys on tuonut ilmakuvauksen myös rakennustyömaille. Digi-insinöörin tärkeimmät työkalut ovat kypäräkamera ja drone. Ilmakuvauksen pohjalta luotua kolmiulotteista mallia käytetään yhteensovituspalavereissa alirakoitsijoiden kanssa. Kolmiulotteinen malli työmaan tilanteesta päivitetään viikon välein. Etukäteen ohjelmoidulla reitillä drone lentää itsestään digi-insinöörin valvomana ja kuvaa kohdetta automaattisesti. Ahtaissa paikoissa tarvitaan kuitenkin käsiohjausta ja taitoa dronen käsittelyssä. Työnjohtajat voivat hyödyntää videomateriaalia tuotantoaikataulujen valvomiseen suoraan työpisteeltä, ilman paikan päällä käymistä. Kaikki materiaali tallentuu työmaan johdon käyttöön ja mahdollistaa tilanteiden tarkastelun työmaan eri vaiheissa. (Kuittinen 2019.)



Kuva 19. Lennon suunnittelua Pix4D sovelluksella. (Sitowise 2019)

Ilmakuvaukseen liittyy lukuisia lyhenteitä ja termejä, kuten UA, UAV, UAS, RPAS, RPA ja kansankielessä käytettävät drone ja lennokka.

Lyhenne UA (Unmanned Aircraft) tai aiemmin käytetty UAV (Unmanned Aerial Vehicle) tarkoittaa miehittämätöntä ilma-alusta, jota lennetään ilman aluksessa mukana olevaa ohjaajaa. (kuva 20)

UAS (Unmanned Aircraft System) on kokonaisjärjestelmä, joka koostuu miehittämättömästä ilma-aluksesta ja käytön edellyttämistä järjestelmän osista.

RPA (Remotely Piloted Aircraft) tarkoittaa lentotyöhön käytettävää kauko-ohjattua miehittämätöntä ilma-alusta. (kuva 20)

RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) on kauko-ohjatun ilma-aluksen kokonaisjärjestelmä, joka koostuu miehittämättömästä ilma-aluksesta, kauko-ohjauspaikasta, seuranta- ja ohjausyhteyksistä sekä käytön edellyttämistä järjestelmän osista.



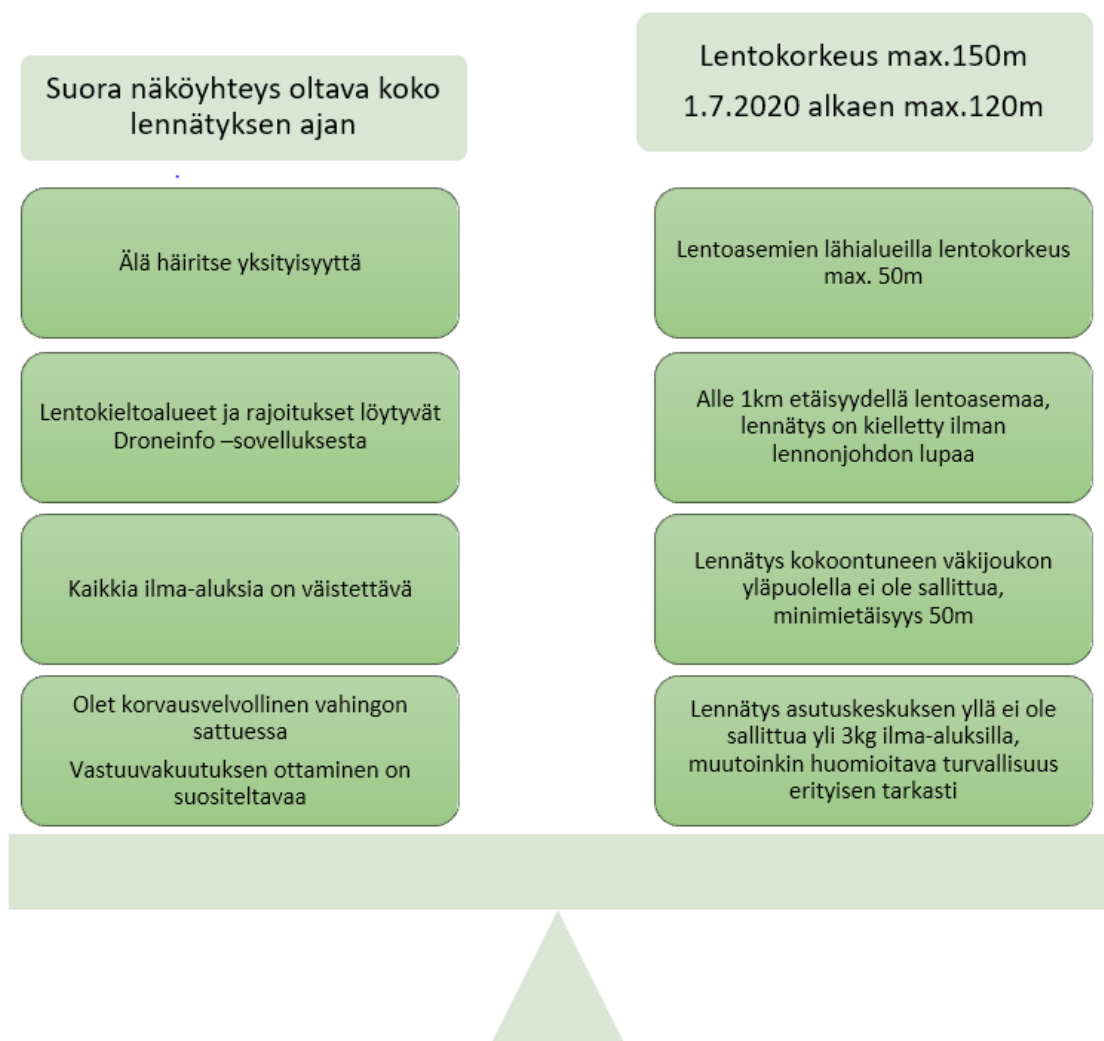
Kuva 20. Kuvauskopteri luokitella UA:ksi sekä RPA:ksi. (Sitowise 2019)

Kansankielessä käytetyllä termillä drone (eng.) tai drooni tarkoitetaan kaikkia maalla, merellä tai ilmassa käytettyjä miehittämättömiä laitteita. Lennokki sen sijaan on harraste- tai urheilutarkoituksessa lentämiseen käytetty laite, jonka mukana ei ole ohjaajaa. (Droneinfo 2018.)

7.4.1 Ilmakuvauksessa huomioitavat asiat

Laitteen käyttötarkoitus määrittelee, onko sama laite lennokki vai kauko-ohjattu ilma-alus. Lentotyöksi katsotaan kaikki muu kuin harraste tai urheilukäyttö. Lennokin lennätys on ilmailua ja siihen sovelletaan ilmailulakia 864/2014,159§:ää. Kauko-ohjattua ilma-alusta koskee ankara vastuu ilmailulain 864/2014 136§:n perusteella. Ilmailun vakuutusasetuksen mukainen vakuutus on oltava kauko-ohjatuilla ilma-aluksilla. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N: o 785/2001.)

Tällä hetkellä kauko-ohjattujen ilma-alusten ja lennokkien lentämistä säätelee ilmailulaki 864/2014 ja Trafín (nykyisin Traficom) määräys OPS M1-32. (liite1) OPS M1-32 määrittelee lentotyölle minimivaatimukset ja toimintaohjeet sekä erikoistoimintaan ja poikkeuslupiin vaadittavat toimenpiteet. Määräys edellyttää lentotyötoiminnasta toimijailmoituksen, lentopäiväkirjan pitämistä ja kirjallisia toiminta- ja riskiarviokuvauksia. Lisäksi lentotyön toimijalta vaaditaan vakuutusasetuksen (EY) 785/2004 täyttämä vastuuvakuutus kolmansien osapuolien vahinkoja vastaan. OPS M1-32 määräys on kokonaisuudessaan opinnäytetyön liitteenä 1. Myös muiden lainsäädäntöjen vaikutukset, kuten yksityisyydensuoja, tekijänoikeudet ja kotirauha tulee huomioida lentotoiminnassa. Euroopan unionissa on valmisteltu kauko-ohjattujen ilma-alusten käyttöön koskevaa säädöstä, joka astuu voimaan 1. heinäkuuta 2020. Jatkossa jokaiselta lennättäjältä tullaan vaatimaan ilmailuun liittyvän verkkokurssin ja tentin suorittaminen. (Droneinfo 2018.)



Kuva 21. Yleiset ohjeet lennättäjälle. (Droneinfo 2019)

Droneinfo-sivustolla on paljon tietoa ja ohjeistuksia kauko-ohjattujen ilma-alusten käyttöön liittyen, niin harrastajille kuin lentotyötoimintaan. Kuvassa 21 on kooste droneinfor ohjeista turvalliseen lennättämiseen. (Droneinfo 2018.)

Lupa kauko-ohjatun ilma-aluksen (RPA) tai yli 250g painoisen lennokin lennätys näköyhteyteen perustuen (VLOS- tai E-VLOS) lentoasemien läheisyydessä tulee varmistaa lennonvarmistusyksiköstä. Jyväskylän ja Utin lentoaseman lähialueella on lennätuksesta sovittava aina erikseen lennonvarmistusyksikön kanssa lentokorkeudesta riippumatta. Muutoin erillistä lupaa ei tarvita, mikäli ei poikkea ilmailumääräyksen (OPS M1-32) etäisyyksistä ja lentokorkeuksista. Luvanvaraiseen lentotoimintaan on lomake toimitettava lentoaseman lennonvarmistusyksikköön vähintään 2 arkipäivää aikaisemmin. Lennättäjän on oltava puhelinyhteydellä saavutettavissa koko lennätysajan mahdollisten lennonvarmistusyksikön muutosten varalta. (AnsFinland 2019.)

8 ALGORITMINEN SUUNNITTELU

Rakennusala elää digitalisoitumisen murroskaudesta, jossa suunnittelija voi hyödyntää tietokonetta monipuolisesti piirtotyökalun lisäksi. Digitaalinen suunnittelu tehostaa suunnitteluprosessia ja mahdollistaa uusien ratkaisujen luomisen. Algoritminen suunnittelu on tulossa avuksi rakentamisen suunnitteluun eri osa-alueille. Algoritminen suunnittelu perustuu sääntöpohjaisten työkalujen avulla automatisoituihin toimintoihin, jonka avulla tähän asti manuaalisesti tehdyt toistuvat työtehtävät voidaan hoitaa suunnittelijan puolesta. Algoritmista suunnittelua voidaan hyödyntää laaja-alaisesti alkuvaiheen kustannusvertailuista detaljitason rakennesuunnitteluun. Algoritmiset automatisoidut työtehtävät antavat suunnittelijalle mahdollisuuden pohtia vaihtoehtoisia rakennusratkaisuja ja aikaa säästyy vaativampien tehtävien hoitamiseen. Automatisoidut prosessit mahdollistavat suunnittelijaa vertailemaan nopeasti eri vaihtoehtojen ja toteutuksen mielekkyyttä tai hakemaan optimaalisia rakenteita. Algoritmilla voidaan arkkitehdin mallista tuottaa lujuusopillisesti varmennettu rakenne FEM-malli ja siitä edelleen detaljoitu rakennemalli. Vaihtoehtoisesti voidaan

esimerkiksi määritellä rakennuksen ulkomitat ja algoritmit optimoivat rakennuksen rungon hakemalla optimaalisia vaihtoehtoja pilareille, palkeille ja risti-koille. (Pirhonen 2018; Kuittinen 2019.)

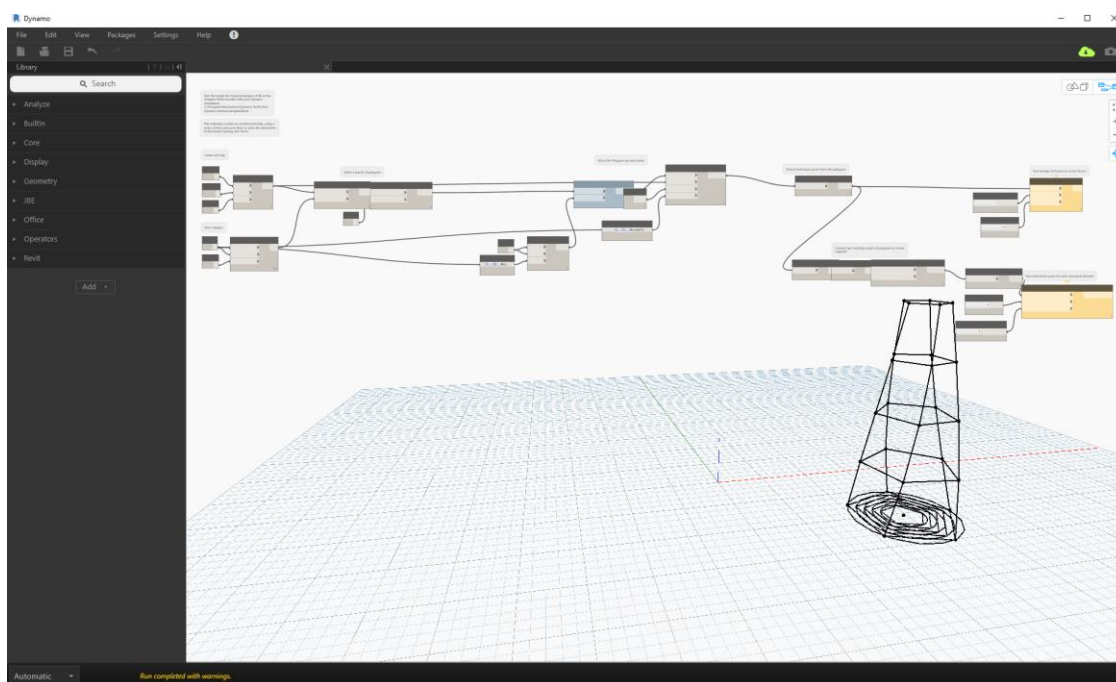
Algoritmisen suunnittelun yksi suurin hyöty on mahdollisuus lähtötietojen muuttamisen kesken suunnitteluprosessin. Suunnittelijan ei tarvitse perinteiseen tapaan verrattuna käydä kaikkia suunnitteluprosessin vaiheita läpi manuaalisesti vaan kaikki automatisoidut osat päivittyvät itsestään uuden lähtötiedon mukaan. Algoritmit ovat vielä pienessä roolissa, mutta lähitulevaisuudessa niiden hyödyntäminen tulee olemaan tehokas työväline, joka mahdollistaa hankkeille lisäarvoa uudellaisilla ratkaisuilla. Algoritmit ovat kehityskaaren seuraava vaihe, jossa piirtopöydät ensin vaihdettiin cad-ohjelmiin ja nyt tietomallinnus on vahvassa roolissa. Tulevaisuudessa algoritmit ja tekoäly ovat globaali suunnittelumenetelmä. Tehokkuus ja laatu ovat valttikortteja globaalissa kilpailussa, vaikka suunnittelutyössä yhä enemmän joudutaan kilpailemaan hintatasoltaan halvempien maiden kanssa. Automatisoidut rutiinomainen suunnittelutehtävät mahdollistavat kilpailukykyiset hinnat ja työn tehokkuuden. Tietokoneen tekemä työ on tasalaatuista ja virheetöntä, jolloin inhimillisten virheiden todennäköisyys pienenee. Algoritmit ovat täsmällisiä ja tekevät täsmällisesti vai sille käsketyt tehtävät. Tekoällyn toiminta perustuu sille syötettyyn valtavaan määrään opetusdataan. Tekoäly voidaan opettaa toimimaan halutulla tavalla, jolloin lopputulos perustuu opetusdatasta analysoituun valituneeseen arvaukseen. (Pirhonen 2018; Kuittinen 2019.)

8.1 Visuaalinen ohjelmointi

Algoritmiseen suunnitteluun helpottamiseksi on kehitetty visuaalisen ohjelmoinnin työkaluja, joista tunnetuimpia ovat Grasshopper ja Dynamo. Visuaalinen ohjelmointi mahdollistaa helposti lähestyttävän tavan automatisoitujen työvaiheiden kehittämiseen ilman ohjelmointikielen ymmärtämistä. Perusidealtaan visuaalisen ohjelmoinnin ympäristöt perustuvat samankaltaiseen toimintaan, jossa valmiita vakiokomponentteja yhdistellään halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. (Pirhonen 2018; Kuittinen 2019.)

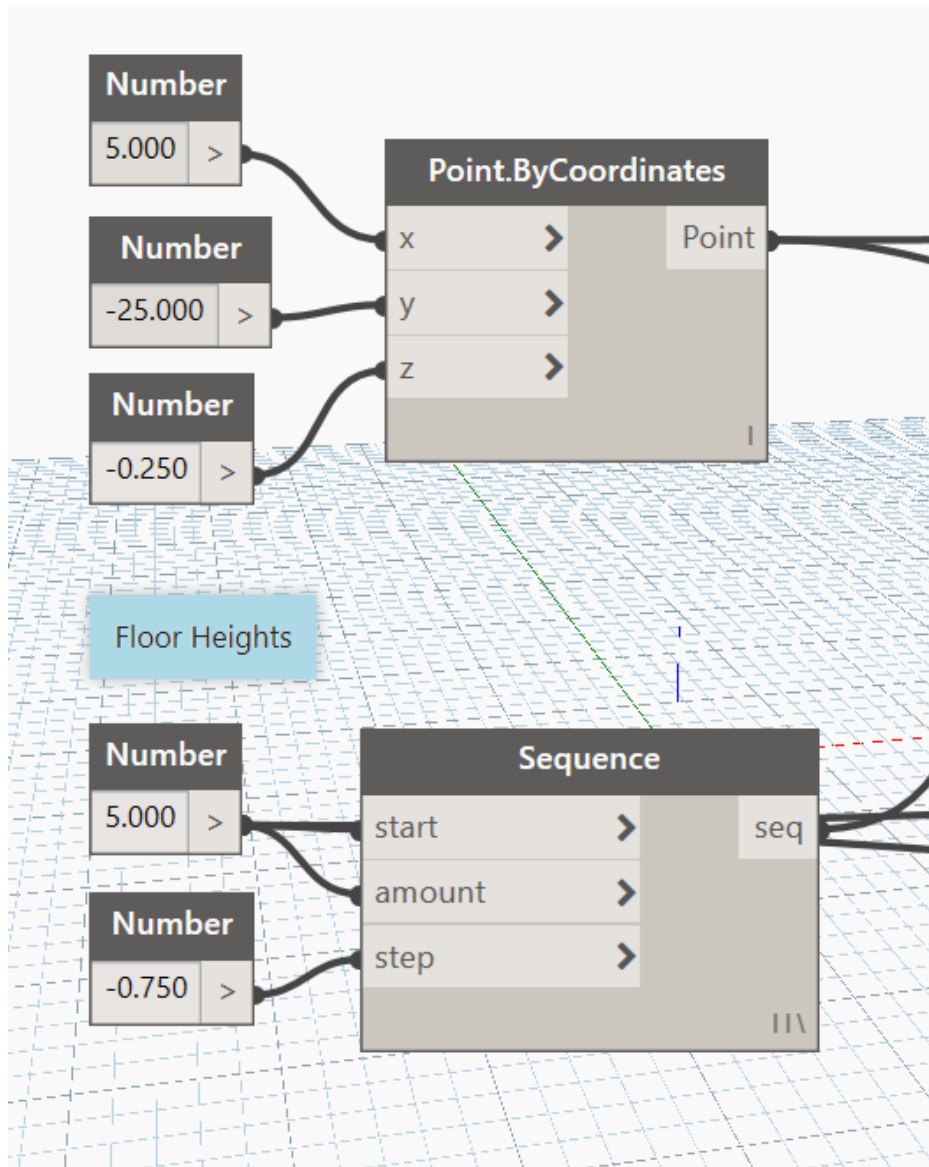
8.2 Dynamo

Dynamo Studio on suunnittelijoiden työkalu ja visuaalinen ohjelmointiympäristö parametristen ja algoritmisten mallien sekä automatisoitujen tehtävien rakentamiseen. Dynamon avulla voidaan ratkaista visuaalisella logiikalla mallien geometriaan ja käyttäytymiseen liittyviä haasteita ilman ohjelmointikokemusta ja nopeuttaa työnkulkua. Edistyneemmille käyttäjille Dynamo Studio sisältää oman koodausympäristön. (Autodesk 2019)



Kuva 22. Dynamo. (Sitowise 2019)

Dynamo mahdollistaa visuaalisen ohjelmoinnin työtavan yhdistämällä algoritmista ohjelmointikäskyistä ja parametreista muodostuvia solmuja (Nodes) johtimilla (Wires) toisiinsa määritelläkseen halutun loogisen lopputuloksen. Jokaiselle solmulle määritetään oma tehtävä, joka voi olla yksinkertainen toimennope, ehto/sääntö tai monimutkaisempi geometrian luominen. Solmussa on tulo- ja lähtöportit kokonaisuuden rakentamista varten. Johtimia pitkin data kulkee solmussa sijaitsevaan tuloporttiin ja jatkavat matkaa lähtöpostista suorittaen solmuun määritetyt tehtävät. Dynamossa on myös oma kirjasto, johon on luotu valmiiksi ohjelmoituja solmuja ja monimutkaisempia yhdisteltäviä solmujen toimintoja. (Dynamo 2019.)



Kuva 23. Dynamon peruseriaate. (Sitowise 2019)

Dynamo on alun perin luotu Revit-ohjelmistolle laajentamaan tietomallinnuksessa hyödynnettäviä graafisen algoritmieditorin tieto- ja logiikkaympäristöjä. Dynamon joustava yhteistoiminta Revit-tietokannassa mahdollistaa uuden näkökulman ja tehokkaan työskentelytavan tietomallinnuksen kehittymiselle. Käyttämällä Dynamon solmuja mukautettujen Revit-solmujen kanssa voidaan parametrasta työnkulkua laajentaa huomattavasti. Dynamon avulla monet työnkulun vaiheet voidaan automatisoida. (Dynamo 2019.)

Dynamo on osa Autodeskin tuoteperhettä ja sillä on suuri kasvava kansainvälinen alan asiantuntijoista muodostuva yhteisö, joka mahdollistaa Dynamon ja Revitin yhteistoiminnan jatkuvan kehittämisen. (Dynamo 2019.)

9 ÄLYKKÄIDEN RATKAISUJEN HYÖDYNTÄMINEN

Opinnäytetyöprosessissa suoritettiin haastatteluja yrityksen sisällä ja kerättiin kokemuksia fotogrammetrian sekä laserkeilauksen käytöstä. Fotogrammetriasta ja laserkeilauksesta haluttiin saada selkeä kuva niiden soveltumiseen eri käyttötarkoituksiin perustuen. Toisena aihepiirinä haettiin kokemuksia visuaalisesta ohjelmoinnista ja sen tuomista mahdollisuuksista. Haastattelujen lisäksi tarkempien tulosten saamiseksi tehtiin useita testauksia fotogrammetrian hyödyntämiseen liittyen.

9.1 Haastattelut

Haastatteluja tehtiin yrityksen sisällä eri osa-alueiden asiantuntijoiden ja suunnittelijoiden kanssa. Haastatteluilla haettiin kokemuksia hyödyistä, haasteista ja reunaehdoista, kustannustehokkuudesta, tarkkuusteknisistä asioista ja ajatuksia kehitystarpeista.

9.1.1 Ilmakuvaus

Sitowisellä on ilmakuvauspalvelu, jolta löytyy tietoa ja kokemusta todellisuusmallien, maastokartoitusten, ortokuvien ja erilaisten tarkastus- ja seurantamateriaalin hankintaan. Haastatteluihin osallistuneelta ilmakuvauspalvelun asiantuntijalta saatiin tarkennuksia ja vahvistuksia käsitykseen ilmakuvaukseen liittyvissä asioissa. Ilmakuvaus mahdollistaa kustannustehokkaan tavan hankkia tietoa kohteista. Kokemusten perusteella ilmakuvauksella saadaan muutamassa tunnissa kerättyä sama aineisto, mitä perinteisten valokuvauksen ja mittausmenetelmien avulla saadaan kerättyä nostolaitteilla 1...2 työpäivän aikana. Ilmakuvaus mahdollistaa myös paljon laajemman havainnoinnin ja kokonaisuuden havainnollistamisen kuin siirrettävillä nostimilla tehtävä mittaukset. Materiaalista on myös helposti tuotettavissa tilaajalle visuaalinen malli ja esitely kohteesta, joka helpottaa ulkopuolisten henkilöiden havainnointia ja ymmärrystä. Korkeiden rakennusten tarkastaminen voi tulla isoilla nostimilla erittäin kalliiksi tai jopa mahdottomaksi, joten ilmakuvaus on tällaisissa tapauksista ylivoimaisesti kustannustehokkain ja helpoin ratkaisu. (Kankkunen 2019.)

Haasteita ilmakuvaukseen on tuonut runsas puusto ja kasvillisuus, jotka estävät datan keräämisen maanpinnasta. Sääolosuhteet, etenkin vesisade, luo omat haasteet ilmakuvausten suorittamiselle. Kuvauspäivä on suunniteltava sääolosuhteiden mukaan ja tarvittaessa kuvauspäivää täytyy siirtää, mikäli sade tai kova tuuli estää dronen käytön. (Kankkunen 2019.)

Vaikka useat dronet sisältävät itsessään GPS-paikantimen, sen tarkkuus on heikko ja paikkatieto epäluotettavaa. Paikkatieto on sidottava erillisen GPS-mittalaitteen (kuva 24) ja tähysten avulla (kuva 25). Uuden DJI:n ammattikäyttöön suunnitellun RTK-mallin luvataan parantavan tarkkuutta huomattavasti, mutta sen käytöstä ei vielä löydy kokemuksia yrityksen sisällä. Ilmakuvauksesta saadun datan tarkkuus määräytyy lentokorkeuden ja kameran teknisten ominaisuuksien mukaan. Sitowisen ilmakuvauspalvelun projektit ovat pitkälti olleet erilaisia maastokartoituksia ja infra-alan kohteita, joissa dronella saadaan käyttötarkoitukseen nähden riittävän tarkkaa laatua. (Horn 2019; Kankkunen 2019.)



Kuva 24. RTK-GPS. (Sitowise 2019)



Kuva 25. Ilmakuvauksessa käytetty tähys. (Sitowise 2019)

Laitteiston omat sensorit varoittavat liian kovasta tuulesta ja kehottavat laskeutumaan, mutta liian kova vastatuuli voi hankaloittaa tai pahimmillaan estää dronen lennättämisen takaisin lähtöpisteeseen. Kokemusten perusteella ainakin DJI:n dronet kestävät kuitenkin melko kovaa tuulta. Tehokas 3-akselinen mekaaninen kuvanvakain (gimbal) pitää kameran erittäin vakaana tuulen aiheuttamasta tasapainon huojunnasta huolimatta. Saatujen kokemusten perusteella pakkasen ei juuri aiheuta esteitä lentotoiminnalle, kunhan huomioi pakkasen vaikutuksen lentoajan lyhenemiseen. Paras sää lopputuloksen kannalta on pilvinen, mutta riittävän valoisa, sillä korkealta paistava aurinko muodostaa teräviä varjoja, jotka muodostavat liikaa kontrastia kuviin. Hämärässä valokuvien laatu heikkenee, jolloin tuotetun aineiston tarkkuuskin heikkenee huomattavasti.

9.1.2 Fotogrammetria ja laserkeilaus

Fotogrammetrisen pistepilven käyttö tällä hetkellä on pääsääntöisesti käytössä maanmittaus- ja infra-alan kohteissa, mutta tulee varmasti yleistymään myös talonrakentamisen kohteissa. Sitowise on jo hyödyntänyt fotogrammetrista pistepilveä muutamissa infra-kohteissa. Niiltä osin, kun fotogrammetrista pistepilveä on käytetty, on se koettu edulliseksi ja tehokkaaksi työkaluksi. Droneja ja erilaisia kameroita on alkanut ilmestymään myös työmaiden käyttöön laadunvarmistamisen tehostamiseksi. Hankkeilta vaaditaan entistä enemmän ajantasaista tietoa, joten valokuvaus mahdollistaa aineiston päivittämisen nopeasti ja helposti. (Horn 2019; Kankkunen 2019.)

Fotogrammetriset pistepilvet on todettu hieman liian harvoiksi ja epätarkoiksi erityistä tarkkuutta vaativissa kohteissa, joten laserkeilaimen korvaajaa tavallisesta kamerasta ei ainakaan vielä saada. Laserkeilauksella saadaan absoluuttisesti luotettavampaa ja tarkempaa pistepilviaineistoa. Laserkeilaus on kuitenkin moninkertaisesti fotogrammetriaa kalliimpaa, hitaampaa ja hankalampaa etenkin isompien alueiden kartoittamisessa, joten menetelmä tulee valita vaadittavan tarkkuuden perusteella. Laserkeilausaineistossa on törmätty ongelmiin pistepilven tiheyden kanssa. Käytettäessä liian tiheää pistepilveä tiedostoko on kasvavat aivan liian suureksi, toisinaan pistepilveä on harvennettu liian harvaksi. Käyttötarkoitus ja toimitettavan pistepilven tarkkuus tulee sopia ennalta toimijan kanssa, jotta vältytään ongelmilta. (Horn 2019.)

Perinteisiin lähtötietojen hankintamenetelmiin, kuten GPS- tai takymetrimittaukseen verrattuna on laserkeilaus sekä fotogrammetria huomattavasti ajallisesti tehokkaampaa ja sujuvampaa. Ylimääräisiltä kohdekäynneiltä vältytään, koska tuotetusta pistepilvestä saadaan kerättyä kaikki tarvittava tieto yhdellä kertaa. Vaikka laserkeilaus on fotogrammetriaa verrattuna kalliimpaa toteuttaa, suuremmissa ja tarkkuutta vaativissa kohteissa se koetaan silti käsin tehtyyn mittaukseen verrattuna kustannustehokkaammaksi vaihtoehdoksi. Laserkeilauksen etuna on sen tarkkuus, kun fotogrammetria kilpailee edullisemmilla kustannuksilla ja helppoudella, mikäli fotogrammetrian tarkkuus on riittävä ky-

seiseen käyttötarkoitukseen. Pistepilven hyödyntäminen, sen tuomat mahdollisuudet ja potentiaali on huomattu olevan vielä melko tuntematonta niin tilaajille kuin työmaillekin. (Backström 2019; Horn 2019.)

Laitteiden tekniikan koetaan jo olevan pitkälle kehittynyttä ja suurimmat haasteet sekä ongelmat ovat muodostuneet ohjelmistojen toimivuuden kanssa. Pistepilviohjelmien kehittämisessä nähdään vielä potentiaalia, jotta nykyisillä laitteilla päästään varmempiin lopputuloksiin. Tulevaisuudessa voidaan odottaa ohjelmien tarkkuusteknisten ominaisuuksien kehittymistä ja tekoälyn mahdollistamia uusia ja tehokkaampia toimintoja. Ohjelmistojen suorituskyvyn lisäksi, yhtenä haasteena voidaan pitää lukuisia eri tiedostomuotoja, jotka liittyvät pistepilviaineistoihin sekä ohjelmien tuottamiin mesh-malleihin. (Backström 2019; Horn 2019; Kankkunen 2019.)

9.1.3 Dynamo

Visuaalisella ohjelmoinnilla nähdään valtavaa potentiaalia tulevaisuuden työskentelyssä. Ohjelmointi on ollut mukana AutoCAD-työskentelyssä jo yli 30 vuotta, kun AutoLISP-ohjelmointikieli on julkaistu 80-luvun lopulla. AutoLISP-ohjelmoinnilla on tehty 3D-mallinnusta ja parametrasta piirtoa jo ennen kuin varsinaisia 3D-mallinnusohjelmia on ollut käytössä. Tämä on kuitenkin vaatinut osaamista ja ymmärrystä ohjelmointikielestä. Ohjelmointitaito on ollut aikaisemmin osa suunnittelijan perustaitoja, mutta vähitellen tietotaito on kadonnut uusien sukupolvien ja kehittyneempien ohjelmistojen myötä. Ohjelmointi on hiljalleen tulossa takaisin osaksi jokaisen suunnittelijan työtä. Ohjelmoinnista on kehitetty kansankäyttöön soveltuva muoto, visuaalinen ohjelmointi. Enää ei vaadita ymmärrystä ja osaamista varsinaisesta ohjelmointikielestä, vaan haluttuja toimintoja voidaan yhdistellä visuaalisen käyttöliittymän avulla. (Backström 2019; Horn 2019.)

Dynamo ei ole vain mullistava työkalu suunnittelijoille, vaan se mahdollistaa monia muita työtä tehostavia toimintoja. Dynamo voidaan hyödyntää mallinnustyön lisäksi Revitin käyttöliittymän ja asetusten muokkaamiseen. Dynamolla voidaan viedä asetuksia Exceliin tai tekstitiedostoon ja päinvastoin. Esi-

merkiksi AutoCADin viiva- ja tulostusasetukset voidaan syöttää Revit ohjelmistoon Dynamon kautta suoraan AutoCADin tekstitiedostosta, kun muutoin työ on tehtävä manuaalisesti syöttämällä tiedot rivi kerrallaan. (Backström 2019.)

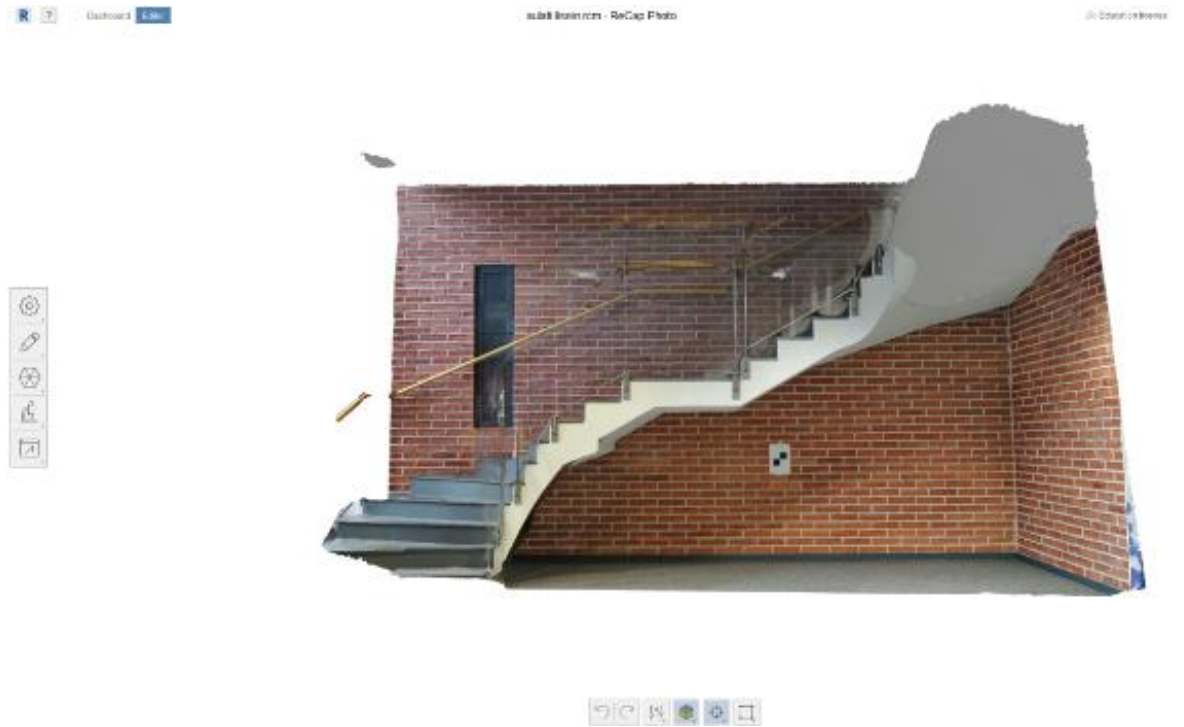
9.2 Testiprojektit

Fotogrammetrian hyödyntämisestä sisätiloissa ei saatu riittävästi tietoa aineiston ja haastattelujen pohjalta. Fotogrammetrian käyttö rajautuu vielä hyvin suurelta osin ilmakuvaukseen, joten sen hyödyntämistä sisätiloissa tutkittiin tekemällä useita testiprojekteja erilaisista kohteista. Testeissä vertailtiin eri kameroiden ja ohjelmien vaikutusta lopputulokseen. Kameroina käytettiin keskitasoista älypuhelinta ja ammattitason järjestelmäkameraa. Ohjelmistoina vertailtiin Autodeskin ReCap Photoa, RealityCapturea ja täysin pilvipalveluna toimivaa Pix4D:tä.

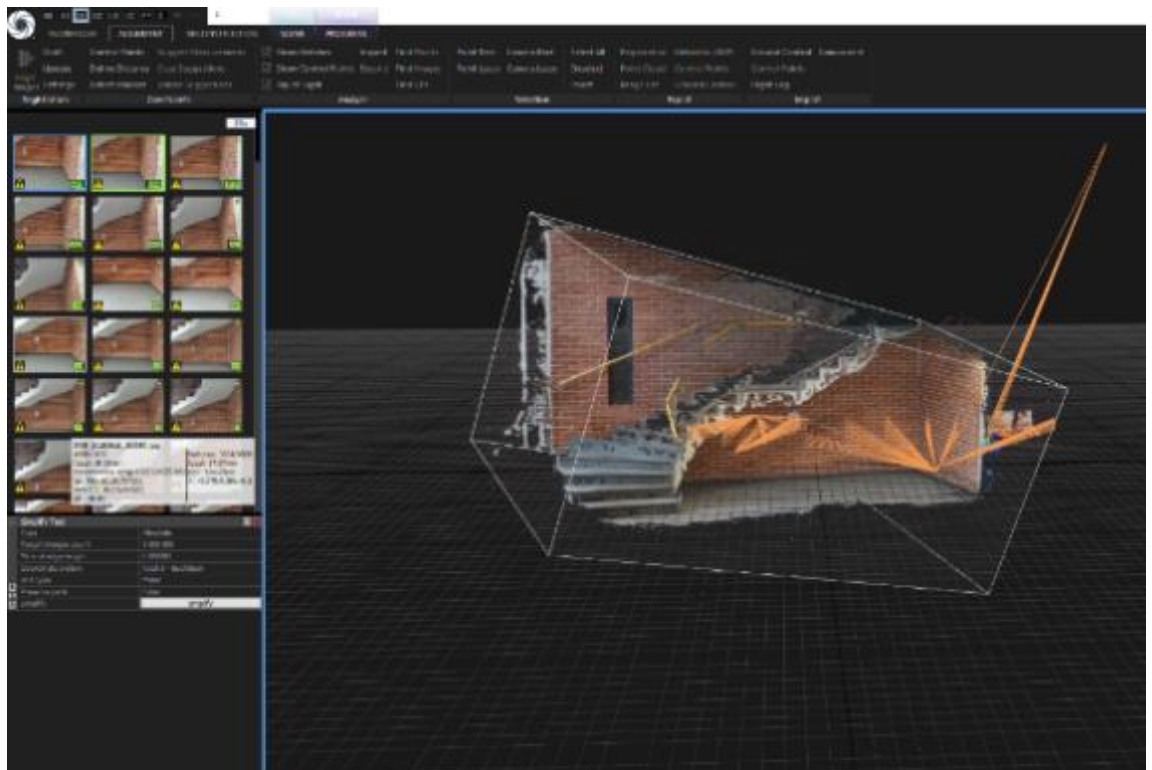


Kuva 26. Testiprojekteissa käytetyt kamerat.

Tarkkoja testituloksia ja huomioita ei tässä työssä julkaista, vaan ne jäävät ainoastaan yrityksen sisäiseen käyttöön osana kehitysryhmän toimintaa. Tässä kappaleessa käsitellään tuloksia hyvin karkealla tasolla.



Kuva 27. ReCap Photo. (Sitowise 2019)



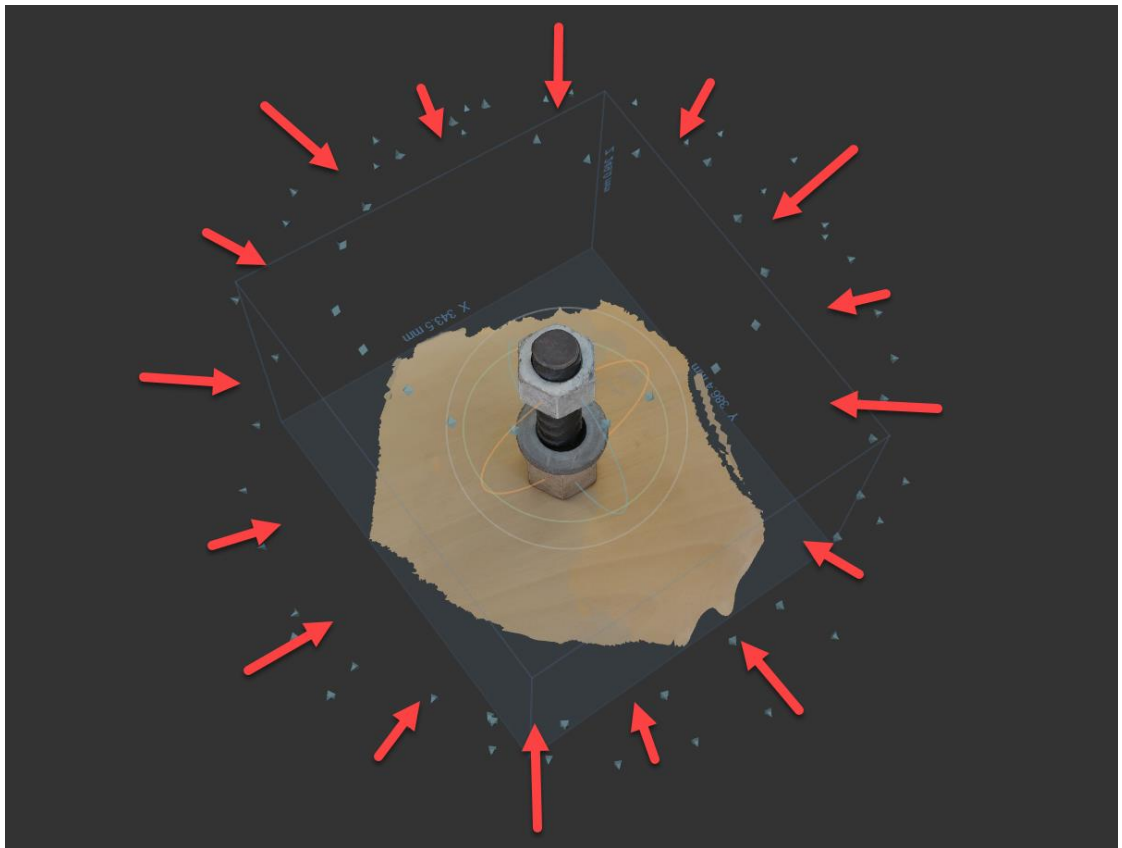
Kuva 28. RealityCapture. (Sitowise 2019)



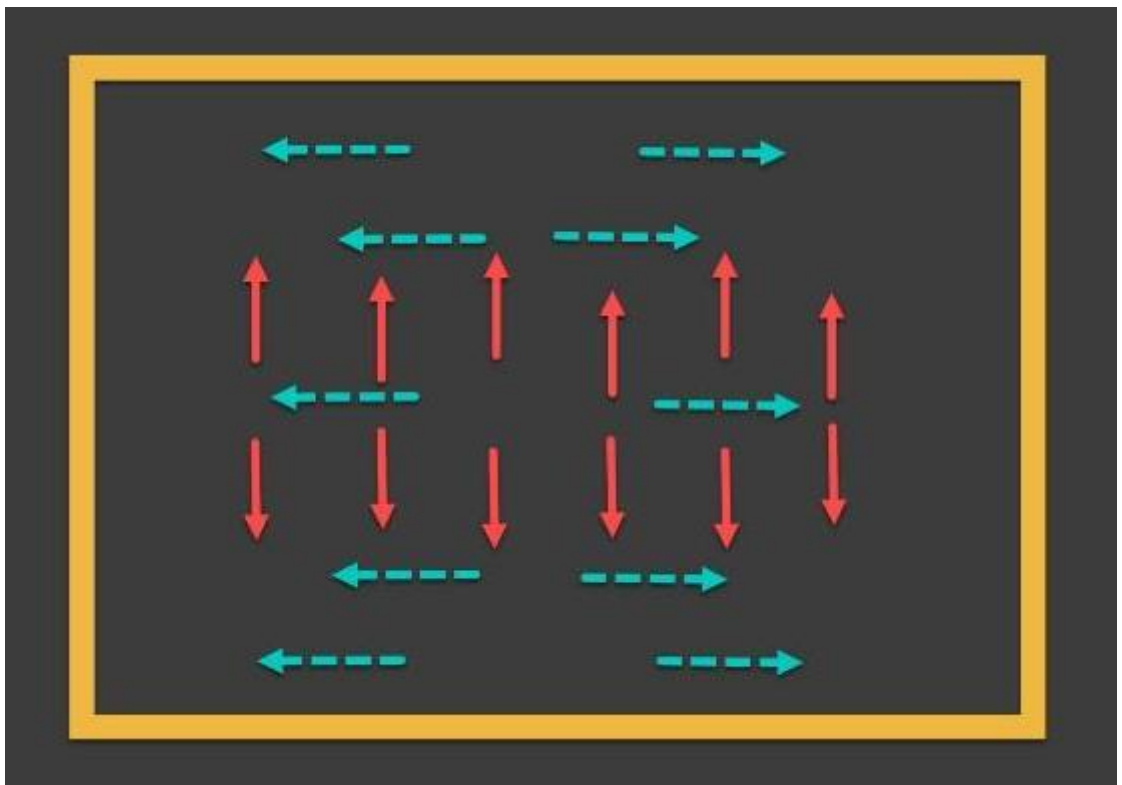
Kuva 29. Pix4D. (Sitowise 2019)

Testiprojektien perusteella fotogrammetrian yleiset haasteet saivat vahvistuksen. Kiiltävät, tasaiset ja yksiväriset pinnat ovat haasteellisia, eikä ohjelmien välisiä eroja juurikaan tämän osalta havaittu. Heikossa valaistuksessa kameran merkitys korostuu, sillä älypuhelimien kameroissa kuvanlaatu heikkenee radikaalisti hämärässä. Toisaalta epätasainen kirkas valo aiheuttaa teräviä varjoja. Ohjelmien yhdistäessä kuvia päällekkäin, eri kuvakulmista näkyvät varjot muodostavat fotogrammetriseen malliin epämiellyttäviä raitoja tai kuviota.

Ohjelmien prosessoinnista huomaa, että kaikki testatut ohjelmat on kehitetty ilmakuvaukseen tai pienempien objektien mallinnusta varten. Ohjelmat pyrkivät muodostamaan kokonaisuutta ympäriltä keskipisteeseen, kuten rakennuksen julkisivu tai objektin kuvaus toteutetaan (kuva 30). Sisäkuvauksessa kohde kuvataan päinvastaisesti keskeltä ulospäin (kuva 31). Erityisiä vaikeuksia ohjelmistoilla on luoda 360°-mallia koko tilasta kerrallaan. Pienempien alueiden mallit sen sijaan onnistuvat suhteellisen hyvin rajoittavat tekijät huomioiden.

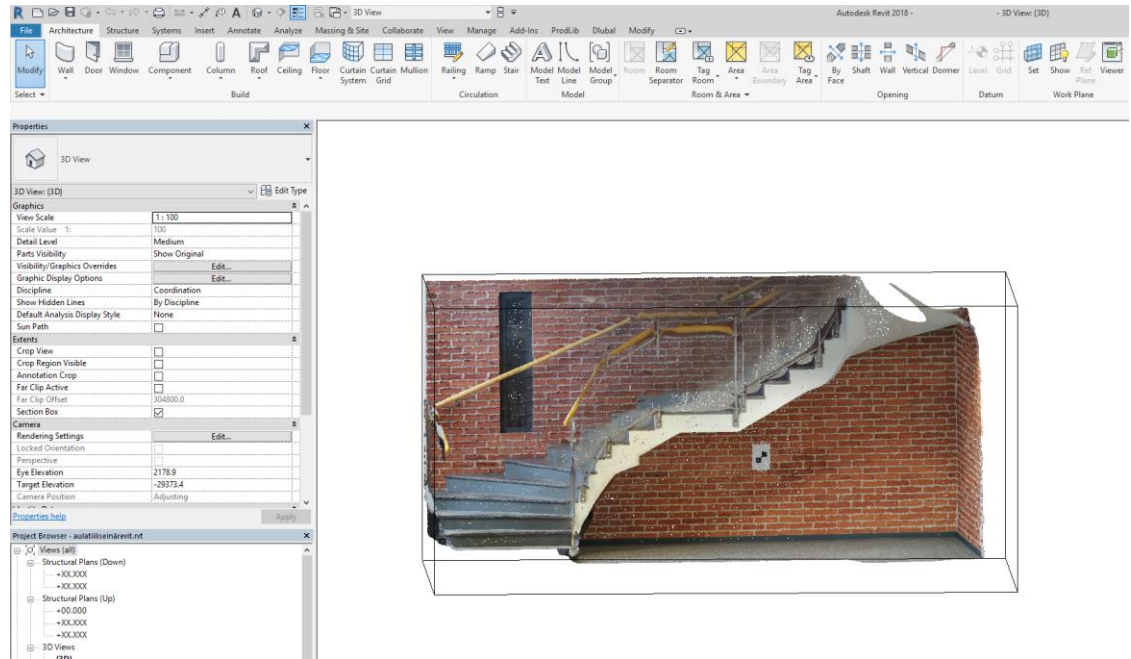


Kuva 30. Objektivumkehrungin perusperiaate. (Sitowise 2019)



Kuva 31. Sisäkuvauksen perusperiaate. (Sitowise 2019)

Kuten haastatteluissakin kävi ilmi, voidaan kameratekniikkaa pitää jo riittävän kehittyneenä fotogrammetrian hyödyntämiseen ja suurimmat haasteet ovat ohjelmistojen puolella. Ohjelmistojen kehittyessä fotogrammetrian hyödyntämisestä sisäkuvauxsessa saadaan tehokas ja edullinen työkalu laserkeilauksen rinnalle rakennushankkeiden lähtötiedon hankintaan.



Kuva 32. ReCap-projekti tuotuna Revit-ohjelmaan. (Sitowise 2019.)

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia älykkäiden tiedonkeruumenetelmien hyödyntämistä korjausrakentamisen suunnittelutyössä yhdessä tietomallinnuksen kanssa. Tarkoituksena oli löytää järkeviä menetelmiä käytössä olevilla Autodeskin tuoteperheen ohjelmilla, sekä luoda näille selkeät ohjeistukset jatkokäyttöä varten.

Tietomallin käyttö korjausrakentamisen projekteissa tuo monia hyötyjä verrattuna perinteisten piirustusten käyttöön. Se kuitenkin edellyttää osaamista ja ohjelman ymmärrystä, jotta tietomallia voidaan tehokkaasti hyödyntää. Tietomalliin yksi huomattavista hyödyistä on tehtyjen muutosten päivittyminen kaik-

kialle malliin ja mallista otettuihin piirustuksiin. Näin keskeneräisten piirustusten ristiriidat poistuvat ja työaika säästyy, kun muutoksia ei tarvitse päivittää jokaiseen piirustukseen yksitellen.

Inventointimallilla on korjausrakentamisen tietomallinnuksessa keskeinen rooli, sillä uusien suunnitelmien tekeminen edellyttää aina riittäviä lähtötietoja. Vanhojen rakennusten piirustukset eivät välttämättä pidä paikkaansa, joten inventointimallinnus tulisi perustua todellisiin mittauksiin rakennuspaikalta tehtynä. Hyvällä inventointimallilla voidaan tehostaa korjaushankkeen valmisteluja sekä itse suunnittelutyötä. Tietomallinnuksen tehokkuuden korjaussuunnittelussa tuo se, että vain muutokset mallinnetaan inventointimalliin, eikä olemassa olevien rakenteiden tarkempaan mallintamiseen käytetä aikaa.

Pistepilvitekniikka soveltuu lähtötiedon hankintaan tilanteissa, joissa käsin tehty mittaus on hidasta ja hankalaa monimuotoisen geometrian tai suurien tilojen takia. On myös huomioitava, ettei pistepilvi ole välttämättä kaikissa projekteissa järkevin tai kustannustehokkain ratkaisu. Mikäli pistepilveä päädyttään käyttämään, on menetelmä pistepilven hankintaan laserkeilauksen ja fotogrammetrian välillä valittava aina tapauskohtaisesti projektin vaatimusten perusteella, sillä kummallakin menetelmällä on omat rajoitteensa.

Pistepilven hyödyntämisen yleistymiseen vaikuttaa suuresti asenteet ja ennakkoluulot. Tekniikka mielletään vaikeaksi ja monimutkaiseksi, eikä nähdä menetelmien mahdollistamia hyötyjä. Laserkeilausta pidetään kalliina ja fotogrammetria on vielä melko tuntematon käsite. Pistepilven hyödyntäminen on menetelmänä lopulta melko yksinkertainen, mutta eri formaattimuodot sekä useat eri ohjelmistot eivät toimi välttämättä yhteen toivottavalla tavalla. Standardiformaateilla voitaisiin helpottaa yhteensopivuusongelmia eri ohjelmistojen välillä. Ohjelmien kehittyessä pistepilven hyötykäyttö korjaussuunnittelussa tulee varmasti yleistymään ja olemaan osa arkityökaluja. Korjauskohteet ovat usein asiakkaiden käytössä suunnittelun ja korjauksen aikana, joten asiakaspalveluun on kiinnitettävä huomiota. Pistepilven avulla kerätyillä lähtötiedoilla vältetään ylimääräisiä kohdekäyntejä ja aiheutetaan mahdollisimman vähän häiriötä asukkaille tai rakennuksen käyttäjille.

Opinnäytetyöstä saatiin paljon hyödyllistä tietoa fotogrammetrian myöhempää käyttöä varten. Työssä löydettiin tekniikan tuottamia haasteita, joista suureen osaa löydettiin ratkaisu. Erilaisia pistepilviaineiston käsittelyohjelmia vertailtiin, jotta saatiin vertailukohteita ReCap-ohjelmistolle. Nykyään ohjelmistoja pistepilviaineiston käsittelyyn on tarjolla useita ja uusien ohjelmistojen opetteleminen vie aikaa. Autodeskin ReCap-ohjelmien hyötynä voidaan pitää niiden yksinkertaistettua ja selkeää käyttöliittymää. Lukuisat toimintovalikot on korvattu visualisilla painikkeilla, joiden oppiminen on helppoa ja nopeaa. Fotogrammetrisen pistepilven prosessointi vaatii suuria laskentatehoja tietokoneelta, joten ReCap Photon käyttämän pilvipohjaisen prosessoinnin aikana tietokone on käytettävissä vaativammassakin käytössä muiden projektien parissa.

Fotogrammetrian työnkulku ja tekniikka vaativat vielä lisää testauksia parhaan ja sujuvimman lopputuloksen saavuttamiseksi. Rakennuksista tuotetun laajan fotogrammetrisen pistepilvikokonaisuuden tarkkuuksista ja sen soveltumisesta eri käyttötarkoituksiin ei löydy vielä riittävää kokemusta. Tarkkuustasoa tulisi tutkia tarkemmin laaja-alaisten testiprojektien avulla, jotta saadaan selville fotogrammetrian todelliset hyödyt ja soveltuvuudet pistepilviaineiston tuottamiseen eri käyttötarkoituksissa. Opinnäytetyössä tehtyjen testiprojektien tulosten perusteella, fotogrammetrian uskotaan yleistyvän tulevaisuudessa merkittävästi. Oikeana ajankohtana ja huolellisella suunnitellulla tuotettu fotogrammetrisen aineisto ei tarkkuudeltaan tai käytettävyydeltään paljoa häviä laserkeilaukselle. Kun fotogrammetrian tarkkuus saadaan luotettavalle tasolle, voi suunnittelija käydä keräämässä lähtötiedot kamerallaan ja ReCap-ohjelmistojen avulla muodostaa valokuvista mesh-mallin suunnittelun referenssiksi. Fotogrammetria ja ReCap tuo suunnittelijalle valtavan avun esimerkiksi teollisuuskohteissa, jossa uudet suunnitelmat täytyy sovittaa ahtaisiin väleihin lukuisat putkistot huomioiden.

Pistepilvestä tuotettu mesh-malli tai inventointimalli mahdollistaa visuaalisen havainnoinnin jo suunnittelun lähtövaiheessa. Samalla malli toimii apuna tilaajalle päätöksien teossa. Pienemmissä kohteissa, joissa koko rakennuksen inventointimallinnus ei ole järkevää, hybridimallin avulla voitaisiin toteuttaa tehokasta suunnittelua. Tällöin voidaan mallintaa vain muutokset ja uudet raken-

teet, muut rakenteet mallissa voidaan esittää referenssinä pistepilvestä muodostettuna mesh-mallina. Hybridimallia voitaisiin hyödyntää myös olemassa olevien rakennusten viereen tai yläpuolelle tehtävissä laajennuksissa, tällöin olemassa olevat rakenteet voidaan tuoda pistepilven avulla referenssiksi uusien rakenteiden asemoimiseksi paikoilleen. Autodeskin Revit-tietomallinnusohjelmiston hyötynä on AEC Collection lisenssiin sisältyvät lukuisat Autodesk-tuoteperheen ohjelmat. Älykkäiden ratkaisujen hyödyntämiseen Revit-tietomalliympäristössä ReCap Pro, ReCap Photo ja Dynamo Studio tulee olemaan keskeisessä roolissa.

Visuaalinen ohjelmointi ja parametrinen mallintaminen ovat vielä uusia käsitteitä. Visuaalinen ohjelmointi vaatii ymmärrystä ohjelman toiminnasta, vaikkei varsinaisia ohjelmointitaitoja tarvita. Dynamon käyttöönotto projektityössä vie aikaa, mutta perusidean ymmärtäminen käy melko nopeasti. Tässä opinnäytetyössä algoritmista suunnittelua ja visuaalista ohjelmointia käsiteltiin vain lyhyesti. Dynamo mahdollistaa valtavan määrän automatisoituja toimintoja nykyisin käsin tehdyn työn tilalle. Dynamon ja Revitin yhteistoiminnalla voidaan esimerkiksi optimoida rakenteita ja suunnitella liitoksia automatisoituina toimintoina. Näillä on suuri vaikutus lähitulevaisuuden työnkulkuun, joten näiden käyttöön tulee perehtyä vielä paljon tarkemmin.

Teknologian kehitys vähentää rutiininomaisia tehtäviä, mutta samalla se mahdollistaa enemmän aikaa muiden työtehtävien tekemiseen. Rakennemallit voidaan muuttaa automatisoituna Revit -ohjelmassa analyttisiksi malleiksi tarkempaa kokonaisvaltaista mitoitusta ja tarkastelua varten. Näin suunnittelijan ei tarvitse erikseen mallintaa rakenteita FEM-ohjelmiin. Rutiinotoimintojen sijasta aika voidaan hyödyntää suunnittelussa ja ongelmien ratkaisussa. Revit yhdessä Dynamon kanssa mahdollistaa jo teräslitosten tai betonirakenteiden raudoituksen automatisoinnin koko malliin käyttäjän määrittelemien sääntöjen perusteella. Edistyneemmille käyttäjille Dynamo mahdollistaa monimutkaisempien toimintojen tai laajojen kokonaisuuksien luomisen myös koodaamalla suoraan ohjelmointikielen avulla, jolloin käytännössä kaikki on mahdollista.

Vaikka pelkkä tietomallinnus tuo suuren muutoksen perinteiseen 2D-piirtoon verrattuna, mahdollistaa Dynamo vieläkin tehokkaampia tapoja työskennellä.

Tietomallinnuksella objektien muutokset päivittyvät kerralla kaikkiin vastaaviin osiin ja muutos päivittyy tietomallista otettuihin piirustusnäkyymiin, mutta Dynamo mahdollistaa paljon radikaalimpien muutosten tekemisen muutamalla napin painalluksella. Rakennuksen lähtötiedot voidaan sitoa Dynamoon, jolloin suurempia muutoksia valmiiseen malliin voidaan tehdä vain syöttämällä Dynamoon uudet tiedot, näin koko malli päivittyy reaaliajassa Dynamon muutosten mukaan. Tekoälyn kehittyminen ja visuaalinen ohjelmointi tulee muuttamaan tulevaisuuden insinööriötä ja olemaan osa suunnittelijan perustyökaluja.

Ilmakuvausta voidaan hyödyntää myös muihin käyttötarkoituksiin kuin pistepilviaineiston tuottamiseen. Ilmakuvauksen avulla voidaan tehdä kustannustehokkaasti tarkastuksia ja lähtötietojen hankintaa haastavista kohteista laadukkaiden valokuvien tai videoiden perusteella. Dronen avulla päästään paikkoihin, jonne ei välttämättä ole muuta pääsyä tai vaihtoehtoisesti tilaajalta vaaditaan suurten henkilönostimien hankintaa mittamiehiä varten mittauspaikalle. Tarkastukset ja lentotyö voidaan turvallisesti suorittaa maanpinnalta, jolloin dronen kuvaamaa näkymää voidaan seurata ohjaimeen liitettävältä näytöltä.

Opinnäytetyön kautta Sitowise saa tietoa älykkäiden tiedonhankintamenetelmien käytöstä, sekä niiden tuomista mahdollisuuksista korjaushankkeissa. Tarkemmat tulokset jäävät ainoastaan yrityksen tietoon, eikä niitä julkaista tässä työssä. Opinnäytetyön jälkeen toiminnan kehittämistä jatketaan kehitysryhmän kautta. Uuden teknologian hyödyntämisellä kustannustehokkaasti voitaisiin kasvattaa yrityksen imagoa edelläkävijänä korjaushankkeissa.

LÄHTEET

3D-laserskannaus. 2018. Tammi, K. ProDigiOUs-hanke. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://prodigious.tamk.fi/files/2018/05/3D-laserskannaus-koulu-tus.pdf> [viitattu: 4.6.2019].

Backström, P. Ryhmäpäällikkö. Korjausrakentamisen palvelut. Sitowise Oy. Kouvola. Haastattelut 2019.

Dynamo for Revit. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.dynamoprimer.com/en/08_Dynamo-for-Revit/8_Dynamo-for-Revit.html [viitattu 26.7.2019].

Dynamo Studio. 2019. Autodesk. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.autodesk.com/products/dynamo-studio/overview> [viitattu 25.7.2019].

Frequently asked. 2018. Droneinfo. WWW-dokumentti. Päivitetty 19.12.2018. Saatavissa: https://www.droneinfo.fi/en/frequently_asked/ilmailu_-_miehittamattomat_ilma-alukset_ja_lennokit [viitattu 25.7.2019].

From 3D Laser Scanning to Revit. 2011. Turner, B. Autodesk Gold Partner. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.sameomaha.org/files/General_Membership_Meeting_Presentations/2011-03-10_Scan_to_BIM.pdf [viitattu: 22.7.2019].

Gray, D. 2019. What are point clouds? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://info.vercator.com/blog/what-are-point-clouds-5-easy-facts-that-explain-point-clouds> [viitattu 6.10.2019].

Haavisto, I. 2013. Tietomallintaminen korjausrakentamisen rakennesuunnittelussa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21576/haavisto.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Viitattu 28.5.2019].

Henttinen, T. 2012. Osa 1. Yleinen osuus. Teoksessa: COBIM -hankkeen osapuolet. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Saatavissa: https://buil-dingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf [Viitattu 28.5.2019].

Horn, F. Suunnittelija. Kalliotilat ja tunnelit. Sitowise Oy. Espoo. Haastattelu 2.9.2019.

Indoor mapping game plan. 2017. Pix4D. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.pix4d.com/blog/indoor-mapping-game-plan> [viitattu 15.9.2019].

Insert a Point Cloud File. Autodesk.Help. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Revit-Model/files/GUID-B89AD692-C705-458F-A638-EE7DD83D694C-htm.html> [viitattu 4.10.2019].

Kankkunen, J. Asiantuntija. Tiedonhallintapalvelut. Sitowise Oy. Espoo. Haastattelu 5.9.2019.

Kautto, T. 2012. Osa 5. Rakennesuunnittelu. Teoksessa: COBIM -hankkeen osapuolet. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_5_rak.pdf [Viitattu 28.5.2019].

Keitaanniemi, A. 2018. Näppärää rakennusmallinnusta käsiskannerilla. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://pointcloud.fi/napparaa-rakennusmallinnusta-kasiskannerilla/> [viitattu: 22.7.2019].

Korjausrakentaminen. 2019. Rakennusteollisuus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/> [viitattu 2.11.2019].

Korjausrakentamisen strategia 2050. 2019. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/korjausrakentamisen_strategia_2050_-_kuulemistilaisuus.945.html [viitattu 2.9.2019].

Korjausrakentamisen strategia- tavoitteena ennakoiva kiinteistönpito ja korjauskulttuuri. 2013. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.5.2016. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentamisen/Ohjelmat_ja_strategiat/Paattyneet_hankkeet/Korjausrakentamisen_strategia_tavoitte\(1717\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentamisen/Ohjelmat_ja_strategiat/Paattyneet_hankkeet/Korjausrakentamisen_strategia_tavoitte(1717)) [viitattu 2.9.2019].

Kuittinen, M & Roux, S. Vihreä rakentaminen. Ympäristöopas. 2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80653/YO_2017_Vihrea_julkinen_rakentaminen_hankintaopas.pdf [viitattu 2.9.2019].

Kuittinen, T. 2019. Algoritmista suunnittelijan apukäsi. Rakennuslehti nro 24, 12-14.

Kuittinen, T. 2019. Digi-insinöörin työkaveri on drone. Rakennuslehti nro 27, 18-19.

Laserkeilauksen hyödyt ja haasteet korjausrakentamishankkeissa. 2018. Uotila, U. Tampereen teknillinen yliopisto. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://prodigious.tamk.fi/files/2018/02/Laserkeilauksen-hy%C3%B6dyt-ja-haasteet.pdf> [viitattu:4.6.2019].

Laserkeilauksen ja pistepilven hyödyt. 2019. ProDigiOUs. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://prodigious.tamk.fi/laserkeilaus-ja-tietomallinnus-korjaushankkeissa/laserkeilauksen-ja-pistepilvien-hyodyt/> [viitattu 28.5.2019].

Laserkeilaus ja tietomallinnus korjaushankkeissa. 2019. ProDigiOUs. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://prodigious.tamk.fi/laserkeilaus-ja-tietomallinnus-korjaushankkeissa/> [viitattu: 28.5.2019].

- Lorek, S. 2018. What is BIM. Constructible. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-bim-building-information-modeling> [viitattu 28.5.2019].
- Luts, S. 2018. 3D Photogrammetry vs 3D Laser Scanning, Who Wins? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://medium.com/@svitlana.luts/3d-photogrammetry-vs-3d-laser-scanning-who-wins-ca601d750d95> [viitattu 22.7.2019].
- Niskakangas, V. 2014. Tietomallinnetun rakennushankkeen suunnittelun ohjaus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22233/Niskakangas.pdf?sequence=3> [Viitattu 4.10.2019].
- Ohjeita dronen lennättäjille. 2019. AnsFinland. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ansfinland.fi/fi/palvelumme/palvelut-ilmatilan-kayttajille/dronen-lennattajille> [viitattu 25.7.2019].
- Ohjeita turvalliseen lennättämiseen. 2019. Droneinfo. WWW-dokumentti. Päivitetty 18.3.2019. Saatavissa: https://www.droneinfo.fi/fi/nain_lennatat_turvallisesti [viitattu 25.7.2019].
- Phantom 4 RTK. 2019. DJI. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/phantom-4-rtk> [viitattu 5.9.2019].
- Pirhonen, A. 2018. Tulevaisuudessa suunnitellaan algoritmien ja keinoälyn avulla. A-insinöörit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ains.fi/blogit/tulevaisuudessa-suunnitellaan-algoritmien-ja-keinoalyn-avulla/> [viitattu 13.10.2019].
- Pistepilvi. 2017. Matterport. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.3d-malli.fi/arkkitehti-insinööri-ja-rakennusala-pistepilvi/> [viitattu 22.7.2019].
- ProdLib. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.prodlib.com/about?lang=fi> [viitattu 13.10.2019].
- Rajala, M. 2005. Rakennushankkeen vaiheet ja osapuolet. Arkitdata Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://arkit.tkk.fi/kurssit/A91181/rakennushankkeen_vaiheet.htm. [Päivitetty 20.9.2005] [Viitattu 15.10.2019].
- Rajala, M. 2012. Osa 2. Lähtötiedon mallinnus. Teoksessa: COBIM -hankkeen osapuolet. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_2_lahtotilanne.pdf [Viitattu 3.11.2019].
- Rajala, M. 2015. Laserkeilausmittaus ja rakennuksen inventointimalli. PDF-dokumentti. Tietoa Finland Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090701.pdf> [Viitattu 4.10.2019].

Rakennuksen elinkaari kestävän rakentamisen lähtökohtana. 2019. Rakennusteollisuus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/Rakennuksen-elinkaari/> [viitattu 2.9.2019].

ReCap. 2019. Autodesk. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.autodesk.com/products/recap/features> [viitattu 25.7.2019].

Revit products. 2019. Autodesk. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn/caas/qsguides/revit-quick-start-guide.html> [viitattu 13.10.2019].

Revit. 2017. Arksystems. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.arksystems.fi/tuotteet/revit/> [viitattu 13.10.2019].

Revit. 2019. Autodesk. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.autodesk.fi/products/revit/features> [viitattu 13.10.2019].

RPAS Lentotyötoiminta. 2019. Droneinfo. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.2.2019. Saatavissa: https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyö/rpas_lentotyö [viitattu 25.7.2019].

Simpanen, J-A. 2018. Rakennuksen tietomallin hyödyntäminen ja käytön kehittäminen rakennustuotannossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/26089/Simpanen.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Viitattu 4.10.2019]

Teittinen, T. 2018. Tietomalliprosessi korjaushankkeessa. ProDigiOUs. Valmennus WS 4. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://prodigious.tamk.fi/files/2018/05/Tietomalliprosessi-korjaushankkeessa.pdf> [Viitattu 22.7.2019].

The Dynamo Primer. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dynamoprimer.com/en/index.html> [viitattu 26.7.2019].

The Matterport Pro2 3D Camera. 2019. Matterport. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://matterport.com/pro2-3d-camera/> [viitattu 22.7.2019].

Tietomallinnuksen hyödyt. 2019. ProDigiOUs. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://prodigious.tamk.fi/laserkeilaus-ja-tietomallinnus-korjaushankkeissa/tietomallinnuksen-hyodyt/> [viitattu 28.5.2019].

Toimialakokoelmat. 2019. Autodesk. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.autodesk.fi/collections> [viitattu 3.11.2019].

TRAFI/334638/03.04.00.00/2017 OPS M1-32 määräys UAV-Lentopalvelut. 2019. Mitta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mitta.fi/palvelut/mittauspalvelut/uav-lentopalvelut/> [viitattu 25.7.2019].

Waldorf, A. What is Photogrammetry? 2007. Photogrammetry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.photogrammetry.com/> [viitattu 22.7.2019].

Vidanovski, M. 2014. What makes photos good for photogrammetry? WWW-dokumentti. Saatavissa: https://blogs.autodesk.com/recap/what-makes-photos-good-for-photogrammetry/?_ga=2.119357770.2128610365.1563780689-1132340857.1550732989 [viitattu 22.7.2019].

Antopäivä: 4.12.2018	Voimaantulopäivä: 7.12.2018	Voimassa: toistaiseksi
Säädisperusta: Ilmailulaki (864/2014) 5, 9, 57 § Laki liikenteen palveluista (320/2017) II osa 12 luku 8 §		
Täytäntöönpantava EU-lainsäädäntö: -		
Muutosliedot: Kumotaan Liikenteen turvallisuusviraston 23.12.2016 antama ilmailumääräys OPS M1-32, Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen (TRAFI/90924/03.04.00.00/2016) ja 26.11.2018 antama ilmailumääräys OPS M1-32, Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun (TRAFI/334638/03.04.00.00/2017).		

KAUKO-OHJATUN ILMA-ALUKSEN JA LENNOKIN KÄYTTÄMINEN ILMAILUUN

1	SOVELTAMISALA	1
2	MÄÄRITELMÄT	1
3	KAUKO-OHJATUN ILMA-ALUKSEN KÄYTTÄMINEN ILMAILUUN	3
4	LENNOKIN LENNÄTTÄMINEN	7
5	POIKKEUSLUPA	9

1 SOVELTAMISALA

Tätä määräystä sovelletaan kauko-ohjattujen ilma-alusten ja yli 250 g painavien lennokkien lennättämiseen Suomessa. Määräystä ei sovelleta sisätiloissa tapahtuvaan lennättämiseen eikä sotilasilmailuun.

2 MÄÄRITELMÄT

Tässä määräyksessä tarkoitetaan:

asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella keskittymää, jossa asukkaita tai työpaikkoja on neliökilometriä kohti 800 tai enemmän;

esteen läheisyydellä ilmailua lähempänä kuin 30 metrin vaakasuoralla etäisyydellä esteestä tai etäisyydellä, joka on puolet esteen korkeudesta, esteen läheisyydessä lennättämiseksi katsotaan se, kumpi edellä mainituista etäisyyksistä on suurempi;

kauko-ohjaajalla kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttöön perehtynyttä henkilöä, joka käyttää ohjauslaitteita lennätyksen aikana;

kauko-ohjatulla ilma-aluksella (Remotely Piloted Aircraft, RPA) miehittämätöntä ilma-alusta, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta ja käytetään lentotyöhön;

kauko-ohjatun ilma-aluksen haltijalla luonnollista tai oikeushenkilöä, jonka käyttöön ilma-alus on luovutettu;

kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttäjällä luonnollista tai oikeushenkilöä, jonka käyttöön omistaja tai haltija on luovuttanut ilma-aluksen;

kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmällä (Remotely Piloted Aircraft System, RPAS) kauko-ohjattua ilma-alusta, sen kauko-ohjauspaikkoja, tarvittavia ohjaus- ja seuranta-yhteyksiä ja muita erikseen määrättyjä kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön edellyttämien järjestelmän osia;

kauko-ohjatun ilma-aluksen omistajalla luonnollista tai oikeushenkilöä, joka omistaa kauko-ohjatun ilma-aluksen;

kauko-ohjatun ilma-aluksen päälliköllä lentotoiminnanharjoittajan tai kauko-ohjatun ilma-aluksen omistajan nimittämää kauko-ohjaajaa tai kauko-ohjatusta lennosta vastaavaa henkilöä, jolla on lennon aikana käskyvalta ja vastuu turvallisuudesta;

kauko-ohjauspaikalla (Remote Pilot Station, RPS) kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmän osaa, johon kuuluu kauko-ohjatun ilma-aluksen ohjaamiseen käytettävä varustus;

kauko-ohjaustähystäjällä kauko-ohjaajan hyväksymää henkilöä, joka ylläpitää jatkuvaa tietoisuutta kauko-ohjatun ilma-aluksen sijainnista, tarkkailee kauko-ohjattua ilma-alusta ympäröivää ilmatilaa ilman apuvälineitä ja avustaa kauko-ohjaajaa varmistamaan lennon turvallisuuden;

lennokilla lentämään tarkoitettua laitetta, jonka mukana ei ole ohjaajaa ja jota käytetään harraste- tai urheilutarkoitukseen pois lukien leluilma-alukset, jotka on suunniteltu tai tarkoitettu käytettäväksi joko yksinomaan tai osaksi alle 14-vuotiaiden lasten leikeissä;

lentoasemalla lentopaikkaa, jossa lentotiedotus-, hälytys-, ilmailiikenteen neuvonta- ja lennonjohtopalvelu on pysyvästi järjestetty;

lentoonlähtömassalla kauko-ohjatun ilma-aluksen tai lennokin kokonaisuutta lentoonlähden alkaessa, mukaan luettuna kaikki mukana olevat tavarat;

lentotyöllä ilma-aluksen käyttämistä erikoistehtäviin;

lennättäjällä henkilöä, joka vastaa lennokin lennättämisestä;

lennokkien lennätyspaikalla ennalta määriteltyä ilmailutiedotusjärjestelmässä julkaistua paikkaa, jossa on mahdollista poiketa suurimmasta sallitusta lennätyskorkeudesta;

miehittämättömällä ilma-aluksella (Unmanned Aircraft, UA) ilma-alusta, joka on tarkoitettu lentämään ilman ilma-aluksessa mukana olevaa ohjaajaa; tällä ei tarkoiteta lennokkia;

näköyhteyteen perustuvalla toiminnalla (Visual line-of-sight (VLOS) operation) toimintaa, jossa kauko-ohjaaja pitää ilman apuvälineitä yllä suoraa näköyhteyttä kauko-ohjattuun ilma-alukseen tai lennokkiin. Lennättämistä videolinkin avulla ei katsota näköyhteyteen perustuvaksi toiminnaksi;

avustettuun ilmatilan tarkkailuun perustuvalla toiminnalla (Extended Visual line-of-sight operation (E-VLOS)) toimintaa, jossa kauko-ohjaustähystäjä tarkkailee kauko-ohjattua ilma-alusta ympäröivää ilmatilaa ilman apuvälineitä ja avustaa kauko-ohjaajaa varmistamaan lennon turvallisuuden;

näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvalla toiminnalla (Beyond visual line-of-sight (BVLOS) operation) toimintaa, jossa kauko-ohjaaja pitää apuvälineiden avulla yhteyttä kauko-ohjattuun ilma-alukseen ilman kauko-ohjaustähystäjän apua;

poikkeama-asetuksella Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusta (EU) N:o 376/2014 poikkeamien ilmoittamisesta, analysoinnista ja seurannasta siviili-ilmailun alalla, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) N:o 996/2010 muuttamisesta sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2003/42/EY, komission asetusten (EY) N:o 1321/2007 ja (EY) N:o 1330/2007 kumoamisesta;

vapaasti lentävällä lennokilla lennokkia, jossa lennokin ja lennättäjän välillä ei ole ohjausyhteyttä, pois lukien lennon päättämiseen tarkoitetut peruuttamattomat ohjaustoiminnot. Vapaasti lentävässä lennokissa ei ole paikannusjärjestelmiin tai muihin antureihin perustuvaa ohjausjärjestelmää. Vapaasti lentävän lennokin maksimimassa on 1 kg.

3 KAUKO-OHJATUN ILMA-ALUKSEN KÄYTTÄMINEN ILMAILUUN

3.1 YLEISET VAATIMUKSET

- 3.1.1 Kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämiseen ilmailuun tämän määräyksen mukaisesti ei vaadita lentotyölupaa eikä kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämiseen ilmailuun sovelleta lentotyöstä annettuja muita säädöksiä ja määräyksiä.
- 3.1.2 Kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttäjän on ilmoitettava Liikenteen turvallisuusvirastolle seuraavat tiedot:
- a) tiedot käyttäjästä,
 - b) tekniset perustiedot ilma-aluksesta,
 - c) toiminnan laatu ja laajuus,
 - d) tieto siitä, aiotaanko toimintaa harjoittaa asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella,
 - e) tieto siitä, aiotaanko toimintaa harjoittaa ulkosalle kokoontuneen väkijoukon yläpuolella.
- 3.1.3 Ilmoitus on tehtävä ennen kuin kauko-ohjattua ilma-alusta käytetään ilmailuun ensimmäisen kerran. Mikäli ilmoitetuissa tiedoissa tapahtuu muutoksia, käyttäjän on ilmoitettava niistä viipymättä Liikenteen turvallisuusvirastolle.
- 3.1.4 Lennot on suoritettava siten, että niistä aiheutuva vaara ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen sekä meluhaitta ovat mahdollisimman pienet.
- 3.1.5 Lennot on suoritettava siten, että ne eivät vaaranna, haittaa eivätkä estä hätä-, onnettomuus-, pelastus- tai vastaavaan poikkeustilanteeseen paikalle saapuvan yksikön tai viranomaisen toimintaa.
- 3.1.6 Kauko-ohjaajan on kyettävä käyttämään turvallisesti ilma-alusta ja hallittava hätätilanteiden edellyttämät toimenpiteet. Kauko-ohjatusta lennosta vastaavan henkilön on oltava vähintään 18-vuotias.

- 3.1.7 Kauko-ohjatussa ilma-aluksessa on oltava järjestelmä tai kauko-ohjaajalla menettely siltä varalta, että ohjaukseen tai valvontaan tarvittavat yhteydet katkeavat tai ilma-alus vikaantuu niin, että sen ohjaaminen estyy. Järjestelmän tai menettelyn on varmistettava, että ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen aiheutuva vaara on mahdollisimman pieni.
- 3.1.8 Kauko-ohjatusta ilma-aluksesta on käytävä ilmi sen käyttäjän nimi ja yhteystiedot.
- 3.1.9 Kauko-ohjatuista lennoista on tallennettava seuraavat tiedot:
- a) lennon päivämäärä,
 - b) lennon lähtö- ja laskupaikka,
 - c) ilma-aluksen päällikkö,
 - d) ilma-aluksen valmistaja ja malli,
 - e) lennon tai lentosarjan alkamis- ja päättymisaika,
 - f) onko kyseessä:
 - a. suoraan näköyhteyteen perustuva toiminta (VLOS) vai
 - b. suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta (BVLOS),
 - g) lentotehtävän luonne sekä maininta mahdollisesta kauko-ohjaustähystäjän käytöstä.
- 3.1.10 Tiedot lennoista tulee säilyttää kahden vuoden ajan.
- 3.1.11 Käytettäessä kauko-ohjattua ilma-alusta alueella, jota ei ole kielletty muulta ilmailulta tai kauko-ohjatun ilma-aluksen lentämistä varten erotettu, on noudatettava seuraavia ehtoja, ellei Liikenteen turvallisuusvirasto ole myöntänyt poikkeusta tämän määräyksen 5 kohdan mukaisesti:
- a) Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentoonlähdomassa saa olla enintään 25 kg. Lentoonlähdomassaan ei lasketa ilma-alukseen kiinnitettävää pelastuslaitetta.
 - b) Käytön on oltava näköyhteyteen tai avustettuun ilmatilan tarkkailuun perustuva toimintaa. Kauko-ohjatun ilma-aluksen on oltava koko ajan ohjattavissa ja sitä on lennettava vallitsevan sään ja valoisuuden huomioon ottaen riittävän lähellä kauko-ohjaajaa tai kauko-ohjaustähystäjää niin, että muu ilmaliikenne ja toimintaan liittymättömät henkilöt voidaan havaita ja kyetään arvioimaan väistämistarve luotettavasti.
 - c) Käytettäessä kauko-ohjaustähystäjää on kauko-ohjaajalla ja kauko-ohjaustähystäjällä oltava yhteydenpitoaan varten luotettava viestintäväline, mikäli suora puheyhteys ei ole mahdollinen.
 - d) Lentokorkeuden on oltava alle 150 metriä maan tai veden pinnasta. Korkeusrajoitus ei koske kiinteän esteen läheisyydessä tapahtuvaa lentämistä kohteen omistajan luvalla. Korkeusrajoitus ei koske myöskään lentämistä ilmailutiedotusjärjestelmässä julkaistuilla lennokkien lennätyspaikoilla tai kohdan 3.1.12. e) mukaista sovitua lentotoimintaa.

- 3.1.12 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentäminen lähialueella (CTR, Control Zone), lentopaikan lentotiedotusvyöhykkeellä (FIZ, Flight Information Zone) tai radiovyöhykkeellä (RMZ, Radio Mandatory Zone) on sallittu:
- kiinteän esteen läheisyydessä, kun vaakasuora etäisyys lentoaseman kiitotien reunoista on yli 1 kilometri mutta alle 3 kilometriä. Lennättäminen lähempänä kuin 1 kilometrin etäisyydellä lentoaseman kiitotien reunoista tai kiinteän esteen yläpuolella ei ole sallittua; ja
 - enintään 50 metrin korkeudella maan tai veden pinnasta, kun vaakasuora etäisyys lentoaseman kiitotien reunoista on yli 3 kilometriä.
 - Jyväskylän (EFJY) ja Utin (EFUT) lentoasemien lähialueella lennättämisestä on kuitenkin kaikissa tapauksissa sovittava erikseen ilmaliikennepalvelun tarjoajan kanssa.
 - kohtien a) ja b) korkeusraajat voidaan ylittää 15 metrillä esteen välittömässä läheisyydessä, mikäli lento suoritetaan esteen omistajan luvalla.
 - mikäli halutaan lennättää muutoin kuin kohdissa a), b) tai c) on esitetty, tulee asiasta sopia erikseen ilmaliikennepalvelun tarjoajan kanssa.
- 3.1.13 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentämisessä on kiinnitettävä erityistä huomiota valvomattomien lentopaikkojen läheisyydessä tapahtuvaan ilmaliikenteeseen ja lennokkien lennätyspaikoilla harjoitettavaan ilmailuun sekä soveltuvin osin noudatettava paikallisia ohjeita. Lentäminen on kiellettyä lähempänä kuin 1 kilometrin vaakasuoralla etäisyydellä valvomattoman lentopaikan kiitoteistä, ellei:
- alueelle ole julkaistu lentämiseen ohjeita, joita noudattamalla lentäminen on sallittua, tai
 - lennoista ole erikseen sovittu valvomattoman lentopaikan pitäjän kanssa.
- 3.1.14 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentäminen on kielletty lähempänä kuin 600 metrin vaakasuoralla etäisyydellä helikopterilentopaikasta, jollei lennoista ole sovittu erikseen helikopterilentopaikan pitäjän kanssa.
- 3.1.15 Kauko-ohjatun ilma-aluksen on väistettävä muita ilma-aluksia.
- 3.1.16 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentäminen lähempänä kuin 50 metrin vaakasuoralla etäisyydellä ulkosalle kokoontuneesta väkijoukosta tai väkijoukon yläpuolella on sallittua kun:
- ilma-aluksen suurin lentoonlähtömassa on enintään 7 kilogramma. Lentoonlähtömassaan ei lasketa ilma-alukseen kiinnitettävää pelastuslaitetta,
 - lento tapahtuu suorassa näköyhteydessä,
 - käytetään sellaista lentokorkeutta, että hätätilanteessa voidaan suorittaa lasku siten, että siitä aiheutuva vaara on ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelleen mahdollisimman pieni, tai ilma-alus on varustettu siten tai on ominaisuuksiltaan sellainen, että ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen aiheutuva vaara on mahdollisimman pieni,

- d) ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen toimintakuvauksen joka sisältää tiedot toiminta-alueesta, toiminta-ajasta, käytettävistä lentokorkeuksista ja ilma-aluksista,
 - e) ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen turvallisuusarvioinnin, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen,
 - f) ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen toimintaohjeistuksen, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa,
 - g) edellä d), e) ja f) kohdissa tarkoitetut asiakirjat tulee toimittaa Liikenteen turvallisuusvirastolle ennen lentojen aloittamista.
- 3.1.17 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentäminen asutuskeskuksen tiheästi asutun osan yläpuolella on sallittua, kun:
- a) Ilma-aluksen suurin lentoonlähtömassa on enintään 3 kilogrammaa ja ohjaaja on tutustunut alueeseen, varmistunut laitteen teknisestä kunnosta ja arvioinut, että lento voidaan suorittaa turvallisesti. Lentoonlähtömassaan ei lasketa ilma-alukseen kiinnitettävää pelastuslaitetta.
 - b) Lento tapahtuu suorassa näköyhteydessä.
 - c) Käytetään sellaista lentokorkeutta, että hätätilanteessa voidaan suorittaa lasku siten, että siitä aiheutuva vaara on ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelleen mahdollisimman pieni, tai ilma-alus on varustettu siten tai on ominaisuuksiltaan sellainen, että ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen aiheutuva vaara on mahdollisimman pieni.
 - d) Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentoonlähtömassa on yli 3 kilogrammaa, mutta alle 7 kilogrammaa ja ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen toimintakuvauksen, joka sisältää tiedot toiminta-alueesta, toiminta-ajasta, käytettävistä lentokorkeuksista ja ilma-aluksista, turvallisuusarvioinnin, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen sekä kirjallisen toimintaohjeistuksen, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa. Toimintakuvaus, turvallisuusarvio ja toimintaohjeistus on säilytettävä vähintään kolmen kuukauden ajan toiminnan päättymisestä ja esitettävä pyynnöstä Liikenteen turvallisuusvirastolle.
- 3.1.18 Kauko-ohjatuille ilma-aluksille tapahtuneista poikkeamista, mukaan lukien onnettomuudet ja vakavat vaaratilanteet, on ilmoitettava Liikenteen turvallisuusvirastolle poikkeama-asetuksen ja ilmailuohjeen GEN T1-4 mukaisesti.
- 3.2 NÄKÖYHTEYDEN ULKOPUOLELLA TAPAHTUVA TOIMINTA
- 3.2.1 Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta, jossa ei käytetä kauko-ohjaustähystäjää, on suoritettava tarkoitusta varten erikseen varatulla alueella ja ilma-aluksen käyttäjän on laadittava aiotusta toiminnasta kirjallinen:
- a) toimintakuvaus, joka sisältää tiedot toiminta-alueesta, toiminta-ajasta, käytettävistä lentokorkeuksista ja ilma-aluksista,

- b) turvallisuusarviointi, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen,
- c) toimintaohjeistus, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa,

Edellä a), b) ja c) kohdissa tarkoitetut asiakirjat tulee toimittaa Liikenteen turvallisuusvirastolle ennen lentojen aloittamista.

- 3.2.2 Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvassa toiminnassa noudatetaan tämän määräyksen 3.1 kohdan yleisiä vaatimuksia. Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvassa toiminnassa voidaan kuitenkin tarvittaessa poiketa tämän määräyksen 3.1.11 b), 3.1.11 c) ja 3.1.11 d) kohtien vaatimuksesta sekä 3.1.15 kohdan mukaisesta väistämismvelvollisuudesta.

3.3 VALTION ILMAILUA KOSKEVAT VAATIMUKSET

- 3.3.1 Valtion ilmailussa noudatetaan tämän määräyksen kohdan 3.1 yleisiä vaatimuksia ja kohdan 3.2 näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvaa toimintaa koskevia vaatimuksia.

- 3.3.2 Valtion ilmailussa voidaan kuitenkin poiketa kohtien 3.1.8, 3.1.11 d), 3.1.12 d), 3.1.16 ja 3.1.17 vaatimuksista, mikäli lakisääteisten tehtävien luonne sitä edellyttää. Lisäksi kohdassa 3.2.1 tarkoitettu näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva lakisääteisen tehtävän suorittaminen on mahdollista yksittäistapauksessa erittäin painavista syistä ilman muusta ilmatilasta erotettua tai kyseistä toimintaa varten varattua aluetta, mikäli toimintaa ei ole voitu ennakoita sen kiireellisyyden vuoksi. Toiminnan aloittamisesta on kuitenkin viipymättä tiedotettava ilmatilan hallintayksikköä.

Poikkeaminen edellyttää lisäksi ilma-aluksen käyttäjän laatimaa kirjallista:

- a) toimintakuvausta, joka sisältää tiedot toiminta-alueesta, toiminta-ajasta, käytettävistä lentokorkeuksista ja ilma-aluksista,
- b) turvallisuusarviointia, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen,
- c) toimintaohjeistusta, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa.

- 3.3.3 Kohdissa 3.1.2 ja 3.1.3 tarkoitetusta ilmoittamisesta on sovittava erikseen Liikenteen turvallisuusviraston kanssa.

- 3.3.4 Valtion ilmailun osalta voidaan sopia pitkäaikaisia pysyväisluonteisia menettelyjä tämän määräyksen kohdan 3.1.12 vaatimusten täyttämiseksi. Menettelyistä on sovittava yhdessä lennonvarmistuspalvelun tarjoajan ja Puolustusvoimien kanssa.

- 3.3.5 Valtion ilmailun osalta voidaan sopia erityisjärjestelyistä lentopaikan pitäjän kanssa tämän määräyksen kohtien 3.1.13 ja 3.1.14 vaatimusten täyttämiseksi.

4 LENNOKIN LENNÄTTÄMINEN

- 4.1 Lennätykset on suoritettava siten, että niistä aiheutuva vaara ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen sekä meluhaitta ovat mahdollisimman pienet.

- 4.2 Lennokin lennättäminen lähempänä kuin 50 m vaakasuoralla etäisyydellä ulkosalle kokoontuneesta väkijoukosta tai väkijoukon yläpuolella ei ole sallittua.
- 4.3 Lennokin lentoonlähtömassa saa olla enintään 25 kg. Lentoonlähtömassaan ei lasketa ilma-alukseen kiinnitettävää pelastuslaitetta.
- 4.4 Lentoonlähtömassaltaan enintään 3 kg lennokin lennättäminen asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella on sallittua, kun lennättäjä on tutustunut alueeseen, varmistunut laitteen teknisestä kunnosta ja arvioinut, että lennättäminen voidaan suorittaa turvallisesti. Lentoonlähtömassaltaan yli 3 kg lennokin lennättäminen asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella ei ole sallittua.
- 4.5 Lennätykset on suoritettava siten, että ne eivät vaaranna, haittaa eivätkä estä hätä-, onnettomuus-, pelastus- tai vastaavaan poikkeustilanteeseen paikalle saapuvan yksikön tai viranomaisen toimintaa.
- 4.6 Lennokista on käytävä ilmi sen käyttäjän nimi ja yhteystiedot.
- 4.7 Lennokin lennättämisen on oltava suoraan näköyhteyteen perustuvaa. Lennokin on oltava koko ajan ohjattavissa ja sitä on lennätettävä vallitsevan sään ja valoisuuden huomioon ottaen riittävän lähellä lennättäjää niin, että muu ilmailiikenne ja esteet voidaan havaita ja kyetään arvioimaan väistämistarve luotettavasti.
- 4.8 Lennättäminen videolinkin avulla (FPV) on sallittua niin, että toiminnan turvallisuuden varmistamiseksi käytetään vähintään yhtä avustajaa, joka havainnoi ympäristöä, sekä arvioi väistämistarpeen luotettavasti. Avustajan on ylläpidettävä jatkuvaa tietoisuutta lennokin sijainnista, tarkkailtava lennokkia ympäröivää ilmatilaa ilman apuvälineitä ja avustettava lennättäjää varmistamaan lennon turvallisuuden. Avustajalla ja lennättäjällä on oltava suora puheysteys ilman viestintävälineitä.
- 4.9 Lennätyskorkeuden on oltava alle 150 metriä maan tai veden pinnasta pois lukien erikseen määritellyt, ilmailutiedotusjärjestelmässä julkaistut lennokkien lennätyspaikat. Korkeusrajoitus ei koske kiinteän esteen läheisyydessä tapahtuvaa lennättämistä kohteen omistajan luvalla.
- 4.10 Lennokin lennättäminen lähialueella (CTR, Control Zone), lentopaikan lentotiedotusvyöhykkeellä (FIZ, Flight Information Zone) tai radiovyöhykkeellä (RMZ, Radio Mandatory Zone) on sallittu:
- kiinteän esteen läheisyydessä, kun vaakasuora etäisyys lentoaseman kiitotien reunoista on yli 1 kilometri mutta alle 3 kilometriä. Lennättäminen lähempänä kuin 1 kilometrin etäisyydellä lentoaseman kiitotien reunoista tai kiinteän esteen yläpuolella ei ole sallittua; ja
 - enintään 50 metrin korkeudella maan tai veden pinnasta, kun vaakasuora etäisyys lentoaseman kiitotien reunoista on yli 3 kilometriä.
 - Jyväskylän (EFJY) ja Utin (EFUT) lentoasemien lähialueella lennättämisestä on kuitenkin kaikissa tapauksissa sovittava erikseen ilmailiikennepalvelun tarjoajan kanssa.
 - Kohtien a) ja b) korkeusrajat voidaan ylittää 15 metrillä esteen läheisyydessä, mikäli lento suoritetaan esteen omistajan luvalla.

- e) Mikäli halutaan lennättää muutoin kuin kohdissa a), b) tai c) on esitetty, tulee asiasta sopia erikseen ilmailiikennepalvelun tarjoajan kanssa.
- 4.11 Lennokin lennättämisessä on kiinnitettävä erityistä huomiota valvomattomien lentopaikkojen läheisyydessä tapahtuvaan ilmailiikenteeseen ja lennokkien lennätyspaikoilla harjoitettavaan ilmailuun sekä soveltuvin osin noudatettava paikallisia ohjeita. Lennättäminen on kiellettyä lähempänä kuin 1 kilometrin vaakasuoralla etäisyydellä valvomattoman lentopaikan kiitoteistä, ellei
- a) alueelle ole julkaistu lennättämiseen ohjeita, joita noudattamalla lennättäminen on sallittua, tai
- b) lennätöksistä ole erikseen sovittu valvomattoman lentopaikan pitäjän kanssa.
- 4.12 Lennokin lennättäminen on kielletty lähempänä kuin 600 metrin vaakasuoralla etäisyydellä helikopterilentopaikasta, jollei lennätuksesta ole sovittu erikseen helikopterilentopaikan pitäjän kanssa.
- 4.13 Lennokin on väistettävä kaikkia ilma-aluksia.
- 4.14 Kohtia 4.7, 4.9 ja 4.13 ei sovelleta vapaasti lentäviin lennokkeihin.

5 POIKKEUSLUPA

- 5.1 Liikenteen turvallisuusvirasto voi hakemuksesta myöntää luvan poiketa tämän määräyksen kohtien 3.1.11 a), 3.1.11 d), 3.1.16 a), 3.1.17 a), 3.1.17 b), 3.1.17 d), 4.2, 4.3, 4.4, ja 4.9 vaatimuksista toiminnallisten tarpeiden vuoksi, jos ne eivät vaaranna turvallisuutta.
- 5.2 Liikenteen turvallisuusvirasto voi hakemuksesta myöntää luvan poiketa tämän määräyksen vaatimuksista tilapäisesti testaus- ja tutkimustoimintaan, jos haetut poikkeukset eivät vaaranna turvallisuutta.
- 5.3 Hakijan on lupaa hakiessaan esitettävä kirjallinen:
- a) toimintakuvaus, joka sisältää tiedot toiminta-alueesta, toiminta-ajasta, käytettävistä lentokorkeuksista ja ilma-aluksista;
- b) turvallisuusarviointi, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen; ja
- c) toimintaohjeistus, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa.

Pekka Henttu
 ilmailujohtaja

Päivi Metsävainio
 yksikönpäällikkö