



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)

Digitaalisten mittalaitteiden ja teknologioiden hyödyntäminen piharakentamisessa

Robert Tulonen

Opinnäytetyö, toukokuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
tammikuu 2024
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Robert Tulonen

Nimeke
Digitaalisten mittalaitteiden ja teknologioiden hyödyntäminen piharakentamisessa

Toimeksiantaja
Sulokivi Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli vertailla ja analysoida uusimpia digitaalisia mittalaitetekniikoita ja teknologioita piharakentamisessa. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi joensuulainen piharakennusyritys Sulokivi Oy. Opinnäytetyön tarkoituksena oli esitellä toimeksiantajayritykselle taulukoituja vaihtoehtoja uusimmista digitaalisista mittalaitetekniikoista ja teknologioista, jotka helpottavat yrityksen tulevia investointeja.

Teknologioiden valinta opinnäytetyöhön tehtiin yhdessä toimeksiantajayrityksen kanssa, laatimalla uusimmista digitaalisista mittalaitetekniikoista ja teknologioista taulukko, jota käytettiin opinnäytetyön analyysien pohjana. Lisäksi muodostettiin tilastollisia mittareita, joista osa laadittiin omaan ammattitaitoon perustuen ja osa toimeksiantajayrityksen kanssa.

Taulukoissa esitetyistä tuloksista voi katsoa digitaalisen tekniikan tai teknologian tarpeellisuuden ja soveltuvuuden piharakentamiseen, investoinnin prosenttiosuuden, investoinnin kannattavuus suhdeluvun, sekä investoinnin suositeltavuuden toimeksiantajayrityksen tulevaan käyttöön.

Kieli
suomi

Sivuja 30
Liitteet 1
Liitesivumäärä 1

Asiasanat
Digitaaliset mittalaiteteknologiat, piharakentaminen, 3D skannaus



THESIS
May 2024
Degree Programme in Construction Engineering
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author
Robert Tulonen

Title
Utilization of Digital Measuring Devices and Technologies in Yard Construction

Commissioned by
Sulokivi Ltd

Abstract

The topic of this thesis was to compare and analyze the latest digital measuring device techniques and technologies in yard construction. The thesis was commissioned by yard construction company Sulokivi Ltd in Joensuu. The purpose of the thesis was to present tabulated options to the client company about the latest digital measuring device techniques and technologies, which will facilitate the company's future investments.

The selection of technologies for the thesis was made together with the client company, by preparing a table of the latest digital measuring device techniques and technologies, which was used as a basis for the thesis analyses. In addition, statistical measures were created, some of which were prepared based on own expertise and some together with the client company.

From the results presented in the tables, it is possible to see the necessity and suitability of digital technique or technology for yard construction, the percentage of the investment, the profitability ratio of the investment, and the recommend ability of the investment for the future use of the commissioning company.

Language
Finnish

Pages 30
Appendices 1
Pages of Appendices 1

Keywords
digital measuring technologies, yard construction, 3d scanning

Sisältö

Käsitteet ja lyhenteet.....	5
1 Johdanto	7
1.1 Opinnäytetyön tausta ja lähtökohdat.....	7
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset.....	8
1.3 Opinnäytetyön menetelmät.....	9
2 Piharakentaminen	10
2.1 Piharakentamisen kuvaus.....	10
2.2 Piharakentamista ohjaavat lait ja sitä säätelevä ohjeistus	12
2.3 Mittaukset ja merkinnät piharakentamisessa	14
2.4 Digitaaliset mittalaiteteknologiat piharakentamisessa.....	16
3 Opinnäytetyö.....	19
3.1 Opinnäytetyön toteutus.....	19
3.2 Toteutuksen vaiheet	19
3.3 Yrityksen nykyinen mittalaiteteknologia	20
3.4 Vertailtavat mittalaitteet ja teknologiat	20
3.5 Valintakriteerit.....	23
4 Tulosten analysointi	25
4.1 Tuloksista yleisesti.....	25
4.1 Maksuttomat teknologiat.....	26
4.2 Maksulliset teknologiat.....	27
5 Pohdinta.....	30
5.1 Johtopäätökset ja jatkotutkimuksen aihe	30
5.2 Opinnäytetyön luotettavuus ja eettisyys.....	31
Lähteet.....	32

Liitteet

Liite 1 Toimeksiantaja yrityksen liiketoiminnan jako

Käsitteet ja lyhenteet

AR	Lisätty todellisuus (Augmented Reality).
BIM	Tietomallinnus (Building Information Modelling).
Drone	Miehittämätön ilma-alus (UAV), jonka ohjaus tapahtuu automaattisesti, itsenäisesti tai ohjaajan toimesta (Traficom, drone info 2023).
Fotogrammetria	Valokuvista mittaamista.
Georeferointi	Kartan tai mallin kiinnittäminen tunnettuihin koordinaattipisteihin.
GIS	Paikkatieto (Geographical Information Systems).
GNSS	Satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Navigation Satellite System).
Laserkeilaus	Mittaustapa, jossa kohteesta saadaan lasersäteiden avulla mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa.
LIDAR	Optinen mittausmenetelmä, joka toimii tutkan tapaan. Lähettäen laserpulssein mitattavaan kohteeseen. (Light detection and ranging).
MR	Fyysisen ja virtuaalisen todellisuuden yhdistelmä (Mixed Reality).
Paikkatieto	Maantieteellistä sijainti tietoa.

Pistepilvi	Laserkeilauksella, fotogrammetrialla tai muilla mittausmenetelmillä tuotettua geometriatietoa kohteesta (RT 103375, 2021).
Raw tiedosto	Pakkaamatonta kuvadataa.
RTK	Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus (Real Time Kinematic).
YIV	Yleiset inframallivaatimukset.
YTV	Yleiset tietomallivaatimukset.
VR	Tekotodellisuus (Virtual Reality).

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta ja lähtökohdat

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii joensuulainen hauta- ja rakennuskivien tuotantoon erikoistunut PK-yritys Sulokivi Oy. Nykymuodossaan se on toiminut vuodesta 2016. Yrityksen liiketoiminta jakautuu kahteen toimialaan, joita ovat hautakivien valmistus ja piharakentaminen. Yrityksen piha puolen asiakkaita ovat yksityisten pihojen rakennuttajat, sekä julkisen sektorin toimijat.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kartoittaa pihanrakennuspuolen näkökulmasta erilaisia uusimpia digitaalisia mittalaitteita ja teknologioita piharakentamisprosessin tarpeisiin. Näin saadaan konkreettista tietoa siitä, minkälaisia ovat toimeksiantajayrityksen toimintaan soveltuvat digitaaliset mittalaitteet ja teknologiat, sekä kustannuksiltaan järkevän hintaiset hankinnat.

Opinnäytetyö liittyy yrityksen pitkän aikavälin kehittämiseen, sekä pihasuunnittelun, että rakentamisen tehostamiseen ja yrityksen koko liiketoiminnan kasvattamiseen. Lisäksi tarkoitus on parantaa yrityksen piharakentamisen kannattavuutta nopeuttamalla ja parantamalla pihasuunnittelu- ja piharakennusprosessia.

Digitaalisissa mittalaitteissa ja teknologioissa on tapahtunut huomattavaa kehitystä viimeisien vuosien aikana. Tämän vuoksi on tärkeää kartoittaa uusia vaihtoehtoja yrityksen vanhojen mittalaitteiden tueksi tai niiden tilalle. Kehitystä on tapahtunut erityisesti teknologioissa, digitaalisissa mittalaitteissa, niiden ohjelmistoissa ja tekoälyn hyödyntämisessä.

Kehitystä on tapahtunut etenkin fotogrammetrisessä mittauksessa, jolla saatu mittadata on usein tarkempaa kuin esim. LIDAR-tekniikalla ja käytettävät laitteet ovat huomattavasti edullisempia, koska hintavan laserkeilaimen sijasta, mittadata hankitaan älypuhelin tai kameratekniikalla. Molempia käytetään pohjatietojen keräämiseen rakentamisen tietomallintamisessa.

Rakennusteollisuudessa tietomallinnus on ollut käytössä jo pitkään ja sitä ollaan vasta hiljalleen omaksumassa yksityisellä piharakentamis sektorilla.

Rakennettavan tontin tietomallista on hyötyä piharakentamisessa, kun lähtötilanteessa pihasta on mallinnettu vähintään kolmiulotteinen pintamalli, sisältäen merkittäviä teknisiä rajapisteitä, kuten kaivoja, kaapeleita ja katuja. Lisäksi tontilla voidaan suorittaa pohjatutkimuksia, joiden tuloksena saadaan tontista geotekninen malli, joka antaa tietoa maaperästä (YTV2012 Osa2).

Infrarakentamisessa on tietomallintamisen lisäksi käytössä MR- AR- ja VR- tekniikkaa ja 3D-malleja, jotka ovat olleet helpottamassa ja tukemassa infrarakentamisen suunnittelua, rakentamista ja valvontaa vuosia. Näitä tekniikoita hyväksi käyttämällä pystytään nopeuttamaan ja helpottamaan rakentamisen suunnittelua, rakentamista ja valvontaa, kun todelliseen ympäristöön pystytään lisäämään, siellä olemattomia rakenteita.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa piharakentamiseen uusimpia digitaalisia mittalaitetekniikoita ja -teknologioita kaikissa piharakentamisen osa-alueissa, kuten työmaa-alueen mittauksessa, kuvaamisessa ja maastoon merkinnässä. Tarkoitus on myös selvittää uusimpia teknologioita digitaalisten pihasuunnitelmien toteuttamiseen ja asiakkaalle esittelyyn.

Lisäksi työn tavoitteena on reaaliaikainen ja parantunut informaation välitys, parempi asiakaskokemus, edistyksellisyys, kannattavuus ja kaikkien näiden yhdessä tuoma kilpailuetu, joka mahdollistaa pitkällä aikajänteellä yrityksen toiminnan laajenemisen valtakunnalliselle tasolle. Samalla pyrkii etsimään rakentamisen aikaisen tiedonkeruun, dokumentoinnin sekä työmaan edistymisen seurantaan mahdollisesti paremmin soveltuvia menetelmiä.

Kun käytettävissä olevat nykyiset teknologiat ja teknologiset kehitysmahdollisuudet on kartoitettu, näistä valitaan ja esitetään käyttöön

otettavaksi edistyksellisen ja kannattavan piharakentamisen sekä yrityksen mahdollisen tulevan laajentumisen mahdollistavat teknologiat.

Opinnäytetyössä keskitytään pihasuunnitteluun ja piharakentamiseen, sekä näillä toimialoilla käytettäviin uusimpiin digitaalisiin mittalaitteisiin ja teknologioihin, sekä niiden käyttämiin tieto-ohjelmistoihin. Pihasuunnitteluohjelmistot rajataan opinnäytetyön ulkopuolelle.

1.3 Opinnäytetyön menetelmät

Tämä opinnäytetyö toteutetaan toiminnallisena. Se muodostuu kolmesta toisiaan täydentävästä osasta: tietoperustasta, opinnäytetyön toteutuksen kuvauksesta ja tuloksista.

Tietoperusta sisältää opinnäytetyön teoriaosuuden, jossa kuvataan piharakentamis prosessin vaiheita, sitä ohjaavaa lainsäädäntöä ja rakentamista säätelevää ohjeistusta, mittauksia ja merkintöjä piharakentamisessa sekä siihen liittyviä digitaalisia mittalaitteita ja mittausteknologiaa.

Opinnäytetyön toteutuksen kuvaus pitää sisällään toiminnallisen osuuden, jossa käydään läpi yrityksen nykyinen mittalaiteteknologia. Lisäksi siinä vertaillaan taulukkomuotoon kerättyä aineistoa ennakkoon valituilla mittareilla ja kartoitetaan uusimmasta mittalaitte- tekniikasta sekä teknologiasta yritykselle sen mahdollisia tulevia investointeja helpottavia vaihtoehtoja. Pohjana käytetään taulukkoa 1, johon on koottu digitaalisia mittaustekniikoita ja -teknologioita.

Opinnäytetyön tulos koostuu uusimpien digitaalisten mittalaitetekniikoiden ja -teknologioiden vertailusta, sekä näistä toimeksiantajayritykselle sopivimmista vaihtoehtoista. Vertailtavien mittalaitteiden ja teknologioiden kartoitus tehdään tietoperustan pohjaksi laaditusta taulukosta, johon on koottu erilaisia mittaustekniikoita ja -teknologioita.

Taulukoidut mittalaitteet ja -teknologiat luetteloidaan tarpeellisuuden, soveltuvuuden, laitteen tai tekniikan hinnan prosenttiosuuden liikevaihdosta, investoinnin kannattavuussuhdeluvun ja investoinnin suositeltavuuden mukaan kolmeen eri kategoriaan. Tämän määrittelyn jälkeen toimeksiantajayritykselle voidaan esittää potentiaaliset mittaustekniikat ja -teknologiat, tuleviin investointeihin. Lopputuloksena toimeksiantajayritys pystyy opinnäytetyön tuloksien perusteella valitsemaan sille parhaimmat investointi vaihtoehdot.

2 Piharakentaminen

2.1 Piharakentamisen kuvaus

Piha määritellään kiinteistöön kuuluvaksi yksityiseksi viheralueeksi. Piharakentaminen on rakentamista, johon kuuluu rakennusten piha-alueet, sekä pihan maarakennus- ja pohjatyöt, sekä päällyste-, rakenne- ja viimeistelytyöt. Lisäksi piharakentamiseen kuuluu kasvualustojen teot, kasvillisuuksien istutukset (Viherympäristöliitto ry 2016).

Viherhankkeen prosessi jaetaan neljään päävaiheeseen kuva 1 alla, jotka koostuvat työn tilaamisesta, suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta. Prosessi etenee yleensä janaumaisesti. Paitsi suunnittelun ja rakentamisen välillä joudutaan usein palaamaan rakentamisesta suunnitteluun, joko suunnitelman sisältämistä ongelmista tai asiakkaan halusta muuttaa suunnitelmaa, kesken rakentamisen (Viherympäristöliitto ry 2016).



Kuva 1. Viherhankkeen kehämäinen prosessikaavio (VYL 2016. Kestävän viherhankkeen prosessi).

Tilaamisvaihe alkaa tarpeen- syntymisestä ja selvityksestä. Suunnittelu- ja tarjousvaihe sisältävät asiakkaan toiveiden dokumentoimisen pihasuunnitelman pohjaksi, käynnin asiakkaan pihalla ja siellä tehdyt mittaukset, sekä muiden oleellisten tietojen keräämisen pihasuunnitelman pohjalle. Tarjous- ja sopimusvaihe sisältää piharakentamisen tarjouslaskennan (Viherympäristöliitto ry 2016).

Suunnittelun aloitusvaiheessa ja suunnittelutyövaiheessa asiakkaan toiveista ja pihalla tehdyistä mittauksista tehdään pihasuunnitelma. Suunnittelun tarkastusvaiheessa varmistetaan, että kaikki tiedot kohteesta on varmasti tallennettu ja oikein. Lisäksi kartoitetaan materiaali valinnat ja niiden saatavuus (Viherympäristöliitto ry 2016).

Rakentamisvaiheen aloitusvaihe koostuu aikataulujen ja resurssien sovittamisesta, materiaalien tilauksesta ja aloitusvaiheesta. Rakennustyövaihe alkaa alustavilla töillä mm. mittaus ja merkintä ja maanrakennustöillä. Rakentamisvaiheen aikana tärkeää on työajanseuranta ja rakentamisen etenemisen seuranta, sekä asiakkaan pitäminen rakentamisessa ajan tasalla. Ennen rakentamisen loppuselvitysvaihetta, luovutetaan piha itselle ja pidetään lopputarkastus asiakkaan kanssa (Viherympäristöliitto ry 2016).

Piharakentamisessa ylläpitovaihe koostuu lähinnä päällystealueiden- ja kasvialueiden ylläpitämisestä, sekä puhtaanapidosta. Kasvialueiden ylläpitäminen sisältää mm. rikkaruohojen kitkemistä istutusalueilla tai kuorikatteen lisäämistä vuosittain (Viherympäristöliitto ry 2016).

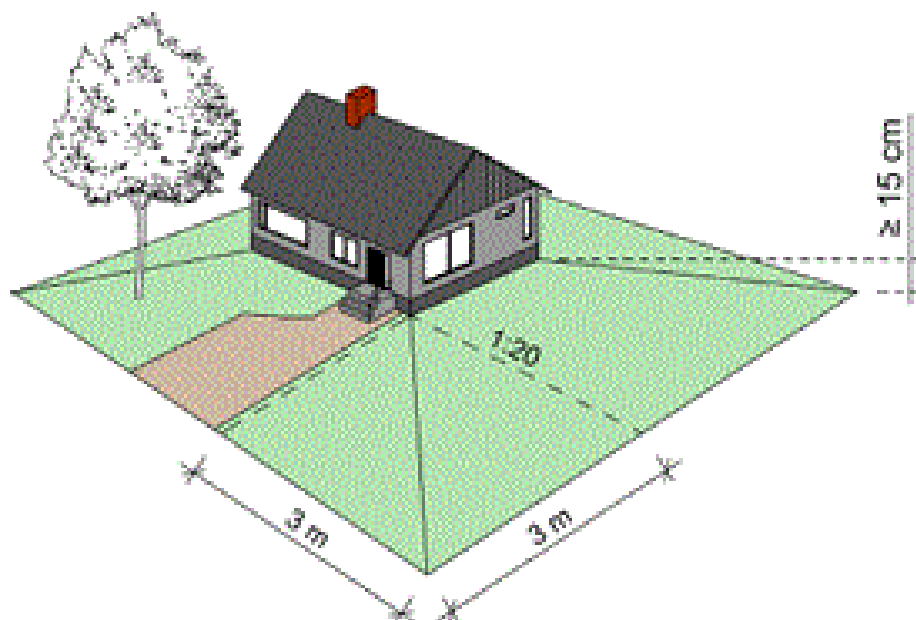
2.2 Piharakentamista ohjaavat lait ja sitä säätelevä ohjeistus

Piharakentamista säätelevät samat lait ja asetukset kuin infrarakentamista. Näistä tärkeimpänä Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999, MRL) sekä -asetus (895/1999 MRA), joka ohjaa rakentamisen suunnittelua, toteutusta ja valvontaa. Maankäyttö- ja rakennuslaki on ollut voimassa vuodesta 1999, koska rakentaminen on muuttunut suuresti tällä vuosikymmenellä, on lakia lähdetty päivittämään, jotta se olisi ajan tasalla muuttuvassa toimintaympäristössä (Ym.fi, viitattu 2024).

Uusi versio Maankäyttö- ja rakennuslaista astuu voimaan 1.1.2025. Lain nimi vaihtuu Rakentamislaki ja se jakautuu alueidenkäyttölaiksi, joka pitää sisällään rakentamisen osuuden ja Rakentamislaki. Päivitetyin lain on tarkoitus vähentää turhaa byrokratiaa, edistää kestävästä rakentamisesta ja tukea rakentamisen digitalisaatiokehitystä (Ym.fi, viitattu 2024).

Hulevesien hallinnasta ja johtamisesta tontilla ohjaa ja säätää MRL 132/1999 103 § ja Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista 1047/2017 7 luku 35–36 § ja rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 4 luku 16 §. Lisäksi niistä ohjeistetaan mm. rakennustietokortissa (RT

89–11196, 2015). Rakennusta ympäröivä maanpinta muotoillaan riittävästi talosta poispäin kaatavaksi. Jos pihalla on sadevesikaivo, hulevesien kulku ohjataan siihen.



Kuva 2. Maanpinnan muotoilu rakennuksen ympärillä (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta, viitattu 2024)

Pihojen päällysrakenteiden rakentamista ohjeistetaan rakennustietokortissa (RT 89-11002, 2010), joka kertoo eri päällysten valintaan ja rakennekerroksiin asetettuja vaatimuksia. RT-kortti myös määrittelee päällysrakenteiden vähimmäiskaltevuudet. Lisäksi päällysrakenteiden rakentamisesta voidaan erikseen säätää kaava- ja rakennusmääräyksissä.

Rakentamisen tietomallintamista ohjaavat Yleiset tietomallivaatimukset. Joissa määritetään mm. tontin mallintamista varten tehtävien mittauksen vaatimukset, koordinaatisto ja mittayksiköt. Koordinaatiston määrittely suositellaan tehtäväksi positiiviseen koordinaatistoon, origon sijaitessa lähellä rakennusta. Mittausvaatimukset taas määrittelevät mittauksissa käytettävät laitteet ja käytettävän mittauksen tarkkuuden (YTV2012 Osa2).

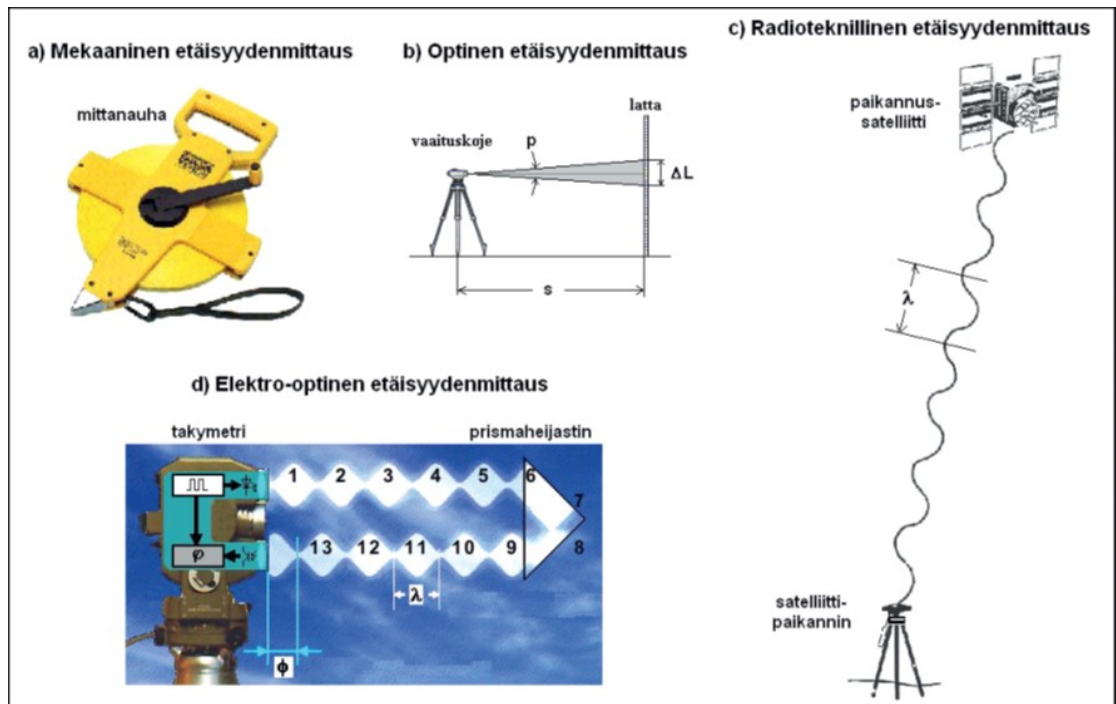
Yleiset inframallivaatimukset toimivat yleisinä ohjeina ja vaatimuksina inframallintamiseen, sekä määrittävät InfraBim-nimikkeistön, tallennusmuodon ja tiedonmallinnusvaatimukset. Ohjeet on päivitetty 4.10.2021 ja tarjoavat suunnittelulle, sekä maarakentamiselle tarkkoja teknisiä vaatimuksia ja ohjeistuksia. Lisäksi niistä on hyötyä kustannustehokkuudella, resurssien hallinnalla ja aikataulutuksella (YIV2012 Ohjeteksti).

2.3 Mittaukset ja merkinnät piharakentamisessa

Piharakentamisessa tarvittavat mittaukset ja merkinnät tehdään samoin kuin missä tahansa rakennuskohteessa. Mittaamisen voi karkeasti jakaa etäisyys-, sijainti- ja korkeudenmittaukseen. Monet nykyiset digitaaliset mittalaitteet yhdistelevät näitä mittaustekniikoita (Laurila 2012, 7–8).

Lisäksi mittauksissa voidaan käyttää todennettavaa mittausmenetelmää, joka on yhdistelmä laserkeilausta, ilmakuvausta ja fotogrammetrista mittausta. Todennettavat mittausmenetelmät tarjoavat luotettavaa, tarkkaa ja standardoitua mittaustietoa (Tietoa.fi, viitattu 2024).

Etäisyydenmittauksessa käytettävät mittauskojeet voidaan ryhmitellä toimintaperiaatteensa perusteella mekaanisiin, optisiin, radioteknillisiin ja elektro-optisiin mittausvälineisiin kuva3 alla (Laurila 2012, 180).



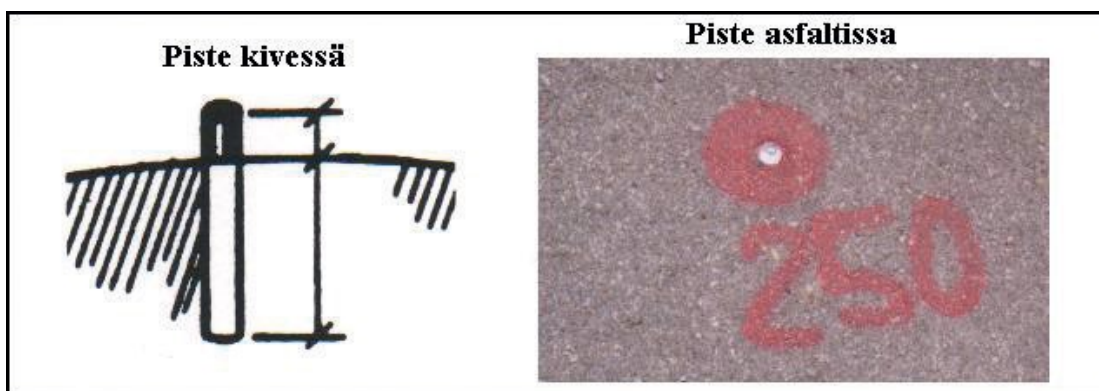
Kuva 3 Etäisyydenmittaustavat (Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet).

Mekaaninen mitta esim. rullamitta, mittanauha tai -pyörä määrittää mitattavan etäisyyden omalla pituudellaan. Optisessa etäisyydenmittauksessa etäisyyden määrittää kahden säteen välinen kulma ja kulmassa näkyvä kanta kuva3 b) yllä. Radioteknillinen etäisyyden mittaus käyttää radioaaltoja hyväksi. Elektro-optisiin mittausvälineisiin kuuluu mm. takymetri, joka sijoittaa mittaussignaalin kanta-aallon sähkömetrisen spektrin optiselle alueelle kuva 3d yllä (Laurila 2012, 180–181).

Sijaintimittauksilla määritetään halutun mittauspäikän koordinaatit eli taso- ja korkeussijainti. Niiden määrittely onnistuu kiintopisteiden avulla, jotka määrittävät halutun mittauskohdan koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään. Kiintopisteet ovat nimensä mukaisesti kiinteitä ja liikkumattomia esim. rakennuksen nurkka tai iso kivi. Lisäksi niiden sijainti tulee olla hyvin näkyvä (Laurila 2012, 7).

Kiintopisteiden pitää sijaita näkyvällä paikalla, jotta niiden käyttö on mahdollisimman tehokasta. Koska ne ovat tarkoitettu pitkäaikaiseen käyttöön, ne mahdollisuuksien mukaan rakennetaan liikkumattomiksi esim. kallioon,

rakennusten ja teiden rakenteisiin. Kiintopisteet luokitellaan taso-, korkeus- ja yhdistettyihin kiintopisteisiin. Tasokiintopisteellä on tunnetut X ja Y koordinaatit kuva 4 alla. Korkeuskiintopisteellä taas on tunnettu korkeus h ja yhdistetyllä kiintopisteellä molemmat koordinaatit ja korkeus ovat tiedossa (Laurila 2012, 8–9).



Kuva 4 Tasokiintopisteitä (Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet).

Korkeudenmittaus määritetään välillisesti mittaamalla korkeuseroja. Mitattavan kohteen korkeus on sen kohtisuora etäisyys ennalta sovitusta vertailutasosta. Käyttämällä mittausalueella olevia korkeuslähtöpisteitä, saadaan muiden pisteiden korkeudet lisäämällä mitatut korkeuserot tunnettuihin korkeuksiin (Laurila 2012, 204).

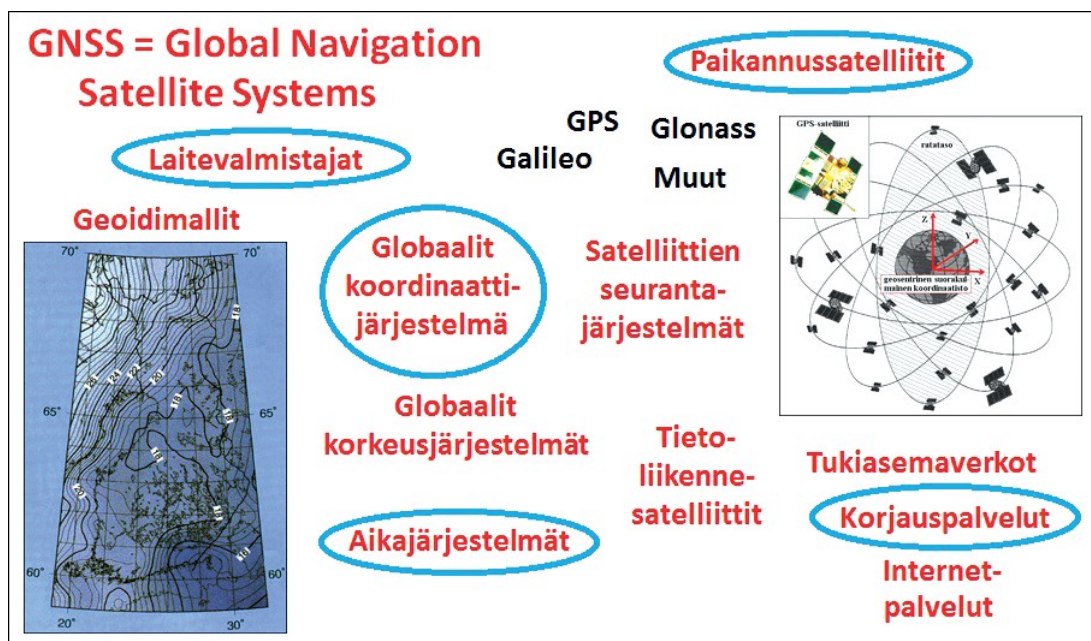
Merkintämittauksilla yhdistetään rakennussuunnitelmien esim. asemapiirroksen mukaiset rakenteiden paikat, jotka merkitään rakennuspaikalle. Työmaalla tehtävistä mittauksista merkintämittaukset ovat tärkeimpiä ja vaativimpia, niissä tehdyt virheet voivat aiheuttaa isoja taloudellisia vahinkoja. Huolellinen merkintämittaus helpottaa työmaan aikatauluissa pysymistä, rakentamisen tehokkuutta ja laadunvarmistuksen valvomista (Laurila 2012, 266–267).

2.4 Digitaaliset mittalaiteteknologiat piharakentamisessa

Satelliittipaikannusjärjestelmä GNSS voi määrittää halutun pisteen tarkkuuden kahden-viiden metrin tarkkuudella. GNSS-järjestelmä käyttää hyväkseen neljää

eri maiden satelliittipaikannusjärjestelmää (GPS, Glonass, Galileo, Beidou). Mittaukseen valitun pisteen tarkkuus x- y- ja z- akselilla on valmistaja kohtainen (Maanmittauslaitos 2023, viitattu 2023).

GNSS-järjestelmään kuuluvat laitevalmistajat, paikannussatelliitit, sekä niiden seurantajärjestelmät, globaalit koordinaatti järjestelmät, tukiasemaverkot ja niiden korjauspalvelut. Sen voidaan käsittävää sisältävän kaikki paikannukseen liittyvät järjestelmät, sekä toimijat (Laurila 2012, 282–289).



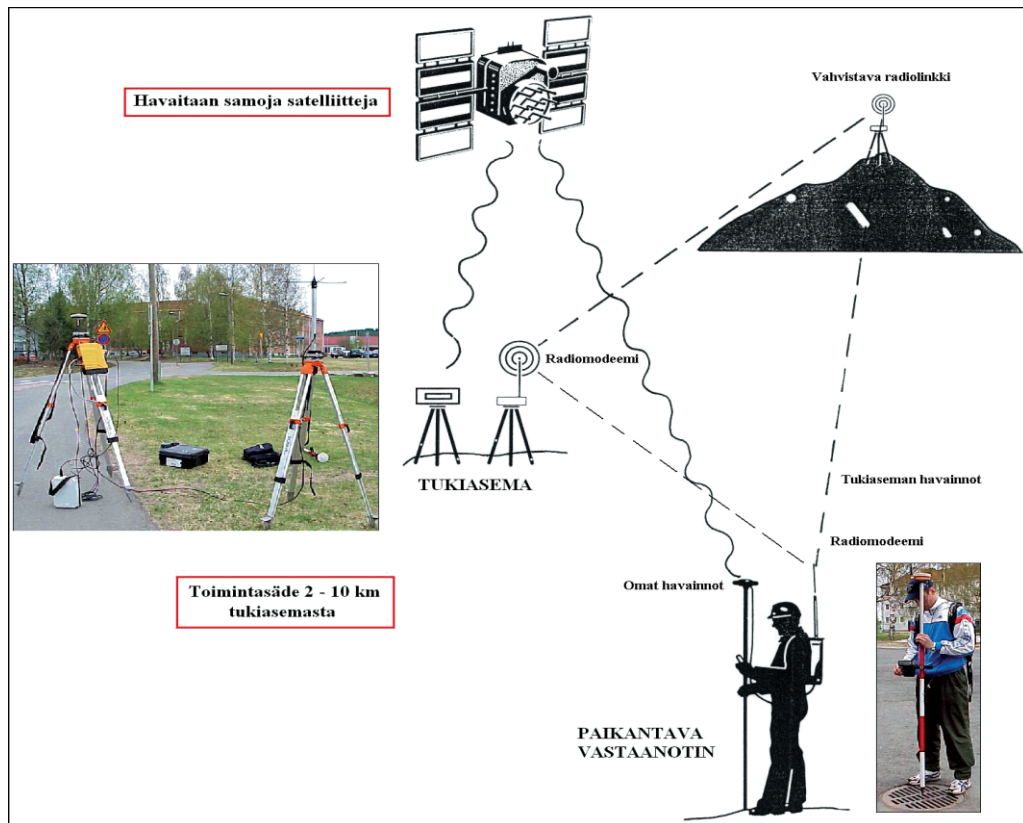
Kuva 5 GNSS ja paikannus infrastruktuuri (Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet).

Paikkatieto-järjestelmä on luotu maantieteellisen datan varastointiin, sen hallintaan, esittämiseen ja analysointiin. Painetut kartat kuuluvat paikkatieto-järjestelmien tuotteisiin, sekä sähköiset kartat esim. Google Maps ja Earth, niiden tietoverkkosovellukset, reitityspalvelut, hakupalvelut ym. (Vanha Karelia 2023).

Maanmittauslaitoksen sivuilta löytyvät maastotiedot, jotka ovat maksuttomia avoimen tietoa-aineiston aineistoja. Niistä löytyy Suomen alueelta mm. tiet, rakennukset, maaston kuviot, korkeussuhteet ja hallintorajat. Tiedot on

koostettu ilmakuvauksella ja laserkeilauksella (MML maastotiedot ja niiden hankinta 2023).

RTK- järjestelmä on maastonmallinnuksessa käytettävä mittaus- ja kartoitusteknologia, jonka muodostaa kaksi pääkomponenttia tukiasema ja liikkuva vastaanotin. Yhdessä ne parantavat GNSS paikannuksen tarkkuutta. (Laurila 2012, 319).



Kuva 6 RTK-mittaus teknologia laitteisto (Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet).

Laserkeilaus on digitaalinen etäisyydenmittaustapa, jonka toiminta perustuu lasertykin lähettämään laserpulssiin, joka osuu kohteeseen ja ilmaisinosan tekemään laskentatoimitukseen etäisyydestä. Keilattu aineisto muodostaa pistepilven, joka toimii lähtöaineistona tietomallintamisessa. Tiedettäessä lasertykin sijainti voidaan myös mitattavalle pisteelle saada koordinaatit. Laserkeilauksen saadaan sopimaan maastokartoitukseen tarkkuutta säätämällä (Tietoa.fi, viitattu 2024).

Valokuviiin perustuvaa mittausta kutsutaan fotogrammetriaksi. Mitattavasta kohteesta otetaan tuhansia valokuvia eri kulmista, joiden avulla mitattava kohde muuttuu kolmiulotteiseksi mitta-aineistoksi. Kerätty aineisto muodostaa myös pistepilven (Tietoa.fi, viitattu 2023).

3 Opinnäytetyö

3.1 Opinnäytetyön toteutus

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan uusimpia digitaalisia mittalaitetekniikoita ja -teknologioita. Vertailua varten on tiedot kerätty taulukkomuotoon, muodostamalla niille laadulliset mittarit. Valintaa varten muodostetuista mittareista selviää vaihtoehtojen tarpeellisuus, soveltuvuus ja investoinnin suositeltavuus toimeksiantajayrityksen tulevaan käyttöön.

3.2 Toteutuksen vaiheet

Toimeksiantajan kanssa kartoitettiin palaverissa talvella 2022 yrityksen sen hetkiset mittalaitteistot ja pohdittiin minkälaista teknologiaa jatkossa, voitaisiin tarvita. Todettiin että tarve on nykyaikaisemmalle mittalaiteteknologialle. Lisäksi pidettiin Teams-palaveri kolmen digitaalisia mittalaitteita maahantuovan yrityksen kanssa. Palavereissa saatiin tietoa sen hetkisistä digitaalisista mittalaitteistoista, jotka mahdollisesti voisivat soveltua toimeksiantajayrityksen käyttöön.

Talvella 2024 toimeksiantajayrityksen kanssa koottiin taulukkomuotoon yrityksen käyttöön mahdollisesti soveltuvia teknologioita, digitaalisia mittauslaitetekniikoita, sekä mittalaitteita, jotka toimivat pohjana opinnäytetyön tuloksen kartoituksessa. Nämä teknologiat asetettiin toimeksiantajayrityksen kanssa laadituilla mittareilla järjestykseen tarpeellisuuden, soveltuvuuden,

osuus- liikevaihdosta, investoinnin kannattavuussuhdeluvun ja Investoinnin suositeltavuuden mukaan.

Taulukoiduista digitaalisista mittalaitetekniikoista ja -teknologioista tehtiin Excel- taulukko, johon syötettiin palvelun tai tekniikan hinta ja valmiiksi muodostetuilla kaavoilla saatiin tarvittaviin mittareihin numeeriset arvot, sekä lopuksi investoinnin suositeltavuus toimeksiantajayritykselle.

3.3 Yrityksen nykyinen mittalaiteteknologia

Yrityksellä on tällä hetkellä digitaalisia mittalaitteita käytössä laseretäisyysmittari ja muutama tasolaser, sekä linjalaser. Näillä pystytään mittaamaan ja merkitsemään työmaan tarvitsemat merkinnät pihasuunnitelman pohjalta, sekä tarkistamaan jo tehty työ.

3.4 Vertailtavat mittalaitteet ja teknologiat

Opinnäytetyön tuloksien pohjana on alla oleva taulukko¹, joka toimii tekniikoiden ja teknologioiden arvioinnin perustana. Lisäksi taulukko toimii pohjana valintakriteereissä määritellyille mittareille. Taulukkoon on koottu piharakentamista lähellä olevia mittaus- tekniikoita ja teknologioita. Yläotsikko esittää yleisesti teknologian tai mittalaitteen ja alle on koottu siihen kuuluvia tekniikoita ja mittalaitteita.

Tekniikat	Satelliittipaikannus GNSS	Verkkopalvelut	RTK - mittaus	Laser keilaus/ 3 D skannaus	Tietoteknologia ja laajennettu todellisuus	Fotogrammetria	Mittalaitteet
Tekniikat - Laitteet	Satelliitit - GPS - GLONASS - Galileo - BeiDou Ajoneuvo seuranta - Kuljetus - Kuormaus Älypuhelin Navigointi laitteisto - GPS paikannin - Kulkuneuvojen omat laitteet	Karttapalvelut - Maanmittauslaitos - Google Maps - Karttapaikka - Maastokartta - Paikkatietoikkuna Sää tiedot - Ilmatieteenlaitos - Foreca Pilvipalvelut - Google drive - iCloud Työajan seuranta - Duunissa.fi	GNSS-vastaanotin - Trimble R2 - Leica GS 18 T (paketti) - KQGEO tech. GeolGNSS	Maakeilaus - Leica BLK360 (paketti) Liikuteltavat skannerit - Leica BLK2GO (paketti) 3 D Skannaus laitteisto - Leica RTC360 (paketti)	Tabletti - Lenovo M11 - Apple iPad Älypuhelin - Android - iOS Älypuhelin sovellukset - Polygon AR/VR-lasit - Trimble XR10 Hololens 2 Tietomallintaminen - SketchUp 3D	Kuvausdrone - DJI Mini 4 Pro Fly More Combo Älypuhelin - iOS Kuvantava GNSS vastaanotin - Leica GS 18 I (paketti)	Laserkeilaus - Rakennus laser Spectra HV302 - Takymetri Leica Nova MS60 - Tasolaser Spectra LL300NN - Laser etäisyysmittari Trotec TD120 - Ristilinjalaser Trotec BD5A Maatutka - Fisher Gemini 3 Lämpökamera - Pyrometri TP10

Taulukko1. Opinnäytetyössä vertailtavat digitaaliset mittalaitte tekniikat ja -teknologiat.

Kaikkia olemassa olevia mittalaitte tekniikoita ja teknologioita ei vertailuun ole mahdollista ottaa, koska niitä on lukemattomia. Esimerkiksi Geotrimmin Trimnet VRS verkko, joka toimii virtuaalisena verkkona mittausdatan tarkennuksen apuna, on jätetty pois vertailusta.

Satelliittipaikannus GNSS sisältää satelliitit, puhelimessa käytettävän paikannuksen, GNSS vastaanottimet, ajoneuvoihin integroidut ja satelliittipaikannus järjestelmät, jotka kertovat käyttäjälle sijainnin satelliiteista saaduilla signaaleilla. Lisäksi on olemassa esimerkiksi GPS paikantimia, jotka satelliitti signaaleja hyväksi käyttämällä paikantavat laitteen sijainnin. Nykyisessä maailmantilanteessa GPS järjestelmä, on osoittautunut epäluotettavaksi, lähinnä häirintäsignaalien takia.

Verkkopalvelut ovat verkossa sijaitsevaa palvelua esimerkiksi sää tiedot, jotka vaikuttavat erityisesti piharakentamiseen oleellisesti. Satelliitti ja verkkopalvelut ovat yleensä maksuttomia paitsi osa pilvipalveluista. Työmaan sijaintitieto on erittäin tärkeä työmaan toteutuksen kannalta. Lisäksi karttapalveluista saa suunnitelmien pohjaksi tietoa tontista ja sinne vievistä kulkuväylistä. Nykyään jokaisella työntekijällä on älypuhelin, johon on helppo ladata esim. duunissa.fi, joka on digitaalinen työajanseuranta sovellus. Sovellukseen on helppo ladata etukäteen työmaita ja urakan valmistuttua käytetyt tuntimäärät saadaan helposti loppulaskentaan.

RTK- mittaus sisältää eri valmistajien RTK tarkennettuja GNSS-mittalaitteita. Näistä on hyötyä piharakentamisessa, kun tarvitaan tarkkaa georeferoitua paikka tietoa. Lähes kaikissa sauvoissa on kallistuksen korjaus eli mittasauvaa ei tarvitse pitää pystysuorassa vaan se tunnistaa itse missä kohtaa sauvan kärki, jolla mittaukset tehdään, sijaitsee.

Laser keilaus jakautuu maa- ja käsikeilaukseen. 3D-skannaus ja 3D-keilaus toimivat samalla toiminta periaatteella kuin laserkeilaus, siksi ne on otettu samaan kategoriaan. Kohteen mallintamisessa suunnitelman pohjalle laser pohjainen skanneri on yleisesti käytetty keino.

Tietoteknologia ja laajennettu todellisuus pitävät sisällään teko- ja laajennetun todellisuuden. Näihin kuuluu esim. älypuhelin, josta löytyy erittäin paljon hyödyllisiä sovelluksia; kartta, säätiedot, kuvaus- ja videointi mahdollisuus, sekä viesti palvelut. Näistä on apua piharakentamisen suunnittelussa, rakentamisen seuraamisessa.

Fotogrammetrinen mittaus vaatii kuvia ottavan laitteen, fotogrammetria työkalun, ohjelman 3D- mallin luomiseen ja pihasuunnittelu ohjelman pihasuunnitelman tekemiseen. Fotogrammetrisessa mittauksessa on selkeä kahtia jako maasta tai ilmasta käsin tehtävillä mittauksilla. Fotogrammetrinen mittausaineisto muodostaa pistepilven, kuten laserskannauksellakin laadittu aineisto. Fotogrammetrinen mittadata toimii työmaan suunnittelun, työmaan seurannan ja lopputarkastuksen apuna (RT 103132, 2019).

Mittalaitteet sisältävät digitaalisia mittalaitteita, joita voi hyödyntää piharakentamisessa. Eniten käytetty digitaalinen mittalaite piharakennustyömaalla on tasolaser, jolla pihan korkoja ja kallistuksia voi tarkastella nopeasti. Lisäksi digitaalinen etäisyysmittari on nopea keino tarkistaa etäisyys haluttuun kohteeseen.

3.5 Valintakriteerit

Mittarit on muodostettu toimeksiantajayritykselle soveltuvimpien mittalaitteiden vertailua varten. Mittareita ovat; tarpeellisuus, soveltuvuus, osuus-liikevaihdosta, investoinnin kannattavuussuhdeluku ja investoinnin suositeltavuus.

Tarpeellisuus määritellään omaan piharakentamisalan kokemukseen ja toimeksiantajayrityksen toiminnan tuntemiseen perustuen. Tarpeellisuus toimeksiantajayrityksen näkökulmasta määritellään numeroasteikolla, jossa; 1= täysin tarpeeton, 2 = jokseenkin tarpeeton, 3 = melko tarpeellinen ja 4 = erittäin tarpeellinen.

Soveltuvuus-mittariin lasketaan mukaan piharakentamisen neljä vaihetta; tilaaminen, suunnittelu, rakentaminen ja ylläpito. Soveltuvuus arvioidaan numeroasteikolla, jossa; 1= täysin soveltumaton, 2 = jokseenkin soveltuva, 3 = melko soveltuva ja 4 = erittäin soveltuva. Jos laite tai tekniikka on käytettävissä vain yhdessä piharakentamisen vaiheista, saa se numeroarvon 1. Laitteen tai tekniikan soveltuvuus kahdessa vaiheessa antaa numeroarvon 2, soveltuvuus kolmessa vaiheessa numeroarvon 3 ja kaikissa neljässä vaiheessa numeroarvon 4.

Kolmas mittari: osuus liikevaihdosta määrittelee laitteen, tekniikan, teknologian tai palvelun investoinnin kannattavuuden näkökulmasta prosenttiosuutena. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltavat teknologiat vaikuttavat suoraan toimeksiantajayrityksen tekemiin työntekijä- ja konetöihin ja vain välillisesti tai ei lainkaan muihin liikevaihdon osa-alueisiin. Työntekijä- ja konetöiden osuus koko liikevaihdosta (2021) on 315 000 € (erittely liikevaihdosta Liite1). Tulevat piharakennus investoinnit kohdentuvat piharakentamiseen, joten luontevaa on käyttää työntekijä- ja konetöiden osuutta liikevaihdosta vertailuun.

Osuus liikevaihdosta-mittari on asetettu seuraavasti: Investointi € / toimeksiantajayrityksen tekemät työntekijä- ja konetyöt € * 100 %. Investoinnilla

käsitetään laitteen, tekniikan ja palvelun hankintakulua tai palvelun vuosimaksua. Osuus liikevaihdosta mittari esittää prosentteina investoinnin osuuden työntekijä- ja konetöiden liikevaihdosta.

Esimerkiksi:

Fotogrammetria:	Kuvausdrone:
$1\,169\text{ €} / 315\,000\text{ €} * 100\% = 0,37\%$	Työntekijä- ja konetöiden liikevaihdosta

Fotogrammetria:	Älypuhelin iPhone:
$1\,299\text{ €} / 315\,000\text{ €} * 100\% = 0,41\%$	Työntekijä- ja konetöiden liikevaihdosta

Fotogrammetria:	Kuvantava GNSS-vastaanotin:
$20\,000\text{ €} / 315\,000\text{ €} * 100\% = 6,35\%$	Työntekijä- ja konetöiden liikevaihdosta

Muodostettujen mittareiden avulla saadaan investoinnin kannattavuudelle vertailuarvo: investointi prosenttiosuus liikevaihdosta / (tarpeellisuus + soveltuvuus). Mitä pienempi suhdeluku prosentteina on, sitä kannattavampi on investointi yritykselle. Tämän perusteella investoinnit on jaettu kolmeen kategoriaan: melko suositeltava, suositeltava ja erittäin suositeltava.

Esimerkiksi (investoinnin kannattavuusjärjestykseen lajiteltuna):

Fotogrammetria:	Kuvantava GNSS-vastaanotin:
$6,35 / (1 + 1) = 3,175\%$	Melko suositeltava

Fotogrammetria:	Kuvausdrone:
$0,37 / (1 + 1) = 0,093\%$	Suosittelava

Fotogrammetria:	Älypuhelin iPhone:
$0,41 / (3 + 3) = 0,069\%$	Erittäin suositeltava

Toimeksiantajayrityksen kanssa määriteltiin raja-arvot investoinnin suositeltavuus mittarille. Erittäin suositeltava teknologia tai laite saa numeerisen arvon $\leq 0,070$. Suositeltava arvon $0,071 - 1,000$ ja melko suositeltava arvon $1,001 \leq$.

Osa teknologioista on ilmaisia kuten säätiedot ja pilvipalvelut. Näille teknologioille tehdään oma taulukko, koska ne eivät vaadi yritykseltä rahallisia investointeja, mutta ovat silti tärkeitä. Tuloksiin on poimittu vain yrityksen mahdollisten tulevien investointien kannalta suositeltavimpia teknologioita, eikä kaikkia vertailtavia teknologioita. Tuotteiden tai palveluiden hinnat ovat vuoden 2024 päivittäishintoja ja ne sisältävät arvonlisäveron.

Kaikkien taulukoiden pohjana toimii Excel-tilukko, johon on koottu kaikki digitaaliset mittalaitetekniikat ja -teknologiat. Excel taulukkoon on laadittu tarpeelliset kaavat laskemaan mittareiden saamat arvot. Excel taulukkoon on myöhemmin helppo päivittää mm. hintatietoja tai lisätä arvonlisäveron vaikutus.

4 Tulosten analysointi

4.1 Tuloksista yleisesti

Varsinaiset tulokset on luetteloitu neljälle eri taulukolle, jotka on jaettu kahteen kappaleeseen maksuttomiin ja maksullisiin. Yhteenvetona taulukoista voi nopeasti katsoa laitteen tai teknologian tarpeellisuuden ja soveltuvuuden piharakentamisessa, sekä suoraan nähdä teknologian investoinnin kannattavuussuhdeluvun ja investoinnin suositeltavuuden.

Nämä taulukot helpottavat yritystä tulevissa investoinneissa ja koska ne ovat sidottuja liikevaihtoon voi taulukkoa päivittää helposti vuosittain, päivittämällä laitteiden hintoja ja halutun liikevaihdon. Lisäksi taulukkoon voi tulevaisuudessa lisätä uusia digitaalisia- mittalaitetekniikoita ja teknologioita.

4.1 Maksuttomat teknologiat

Suurin osa satelliittipaikannuksesta ja verkkopalveluista on ilmaisteknologiaa. Siksi niitä on tuloksissa vertailtu pelkästään opinnäytetyöhön muodostetuilla tarpeellisuus ja soveltuvuus mittareilla, jotka on laskettu yhteen. Maksuttomien teknologioiden vertailu on esitetty taulukossa 2 alla.

Verkkopalveluista digitaalinen työajanseuranta sovellus on erittäin tarpeellinen ja erittäin soveltuva. Myös säätiedot ovat erittäin tarpeellisia ja melko soveltuvia. Karttapalvelut ovat melko tarpeellisia ja melko soveltuvia, kuten pilvipalvelut. Satelliittipaikannus GNSS satelliitein on melko tarpeellista ja melko soveltuvaa kuten taulukko 2 alla näyttää.

Teknologia	Tekniikat - Laitteet	Tarpeellisuus	Soveltuvuus	Pisteet Yhteensä
Satelliittipaikannus GNSS	Satelliitit - GPS - GLONASS - Galileo - BeiDou	3	3	6
	Ajoneuvo seuranta - Kuljetus - Kuormaus	1	2	3
	Navigointi laitteisto - Kulkuneuvojen omat laitteet	1	1	2
Verkkopalvelut	Karttapalvelut - Maanmittauslaitos - Google Maps - Karttapaikka - Maastokartta - Paikkatietoikkuna	3	3	6
	Säätiedot - Ilmatieteenlaitos - Foreca	4	3	7
	Pilvipalvelut - Google drive - iCloud	3	3	6
	Työajanseuranta - Duunissa.fi	4	4	8

Taulukko 2. Vertailtavat ilmaisteknologiat.

4.2 Maksulliset teknologiat

Maksulliset teknologiat on jaoteltu investoinnin suositeltavuuden mukaan kolmeen kategoriaan. Maksullisissa teknologioissa on myös mukana tarpeellisuus ja soveltuvuus mittari. Taulukkoja tulisikin lukea tarpeellisuus ja soveltuvuus mielessä, eikä vain investoinnin suositeltavuuden mukaan, joka on sidottu työntekijä- ja konetöiden liikevaihtoon. Halpa teknologia tai laite voi olla suositeltava investointi, juuri halpuutensa takia, vaikkei olisi tarpeellinen tai soveltuva piharakennusalalle.

RTK-mittausta satelliittipaikannuksen lisäksi käytävä GNSS- vastaanotin KGCEO techin on suositeltava investointi ja melko tarpeellinen, sekä jokseenkin soveltuva. Leican GNSS-vastaanotin taas on melko suositeltava investointi taulukko 3 alla. Leican GNSS-vastaanotin sisältää koko mittaamiseen tarvittavan järjestelmän lisäosien kanssa mm. maastotietokoneen ja maastotabletin.

Teknologia	Tekniikat - Laitteet	Tarpeellisuus	Soveltuvuus	Pisteet Yhteensä	Hinta Euroina (sis. Alv)	Osuus-liikevaihdosta	Investoinnin kannattavuus -suhdeluku prosenttia	Investoinnin suositeltavuus
RTK - mittaus	GNSS-vastaanotin - Trimble R2	3	3	6	4 868 €	1,545 %	0,258 %	Suosittelava
	GNSS-vastaanotin - Leica GS 18 T (paketti)	3	2	5	20 102 €	6,382 %	1,276 %	Melko suositeltava
	- KQCEO tech. GeolGNSS	3	2	5	5 580 €	1,771 %	0,354 %	Suosittelava
Laser keilaus/ 3 D skannaus	Maakeilaus - Leica BLK360 (paketti)	2	2	4	25 000 €	7,937 %	1,984 %	Melko suositeltava
	Liikuteltavat skannerit - Leica BLK2GO (paketti)	2	2	4	50 000 €	15,873 %	3,968 %	Melko suositeltava
	3 D Skannaus laitteisto - Leica RTC360 (paketti)	2	2	4	60 000 €	19,048 %	4,762 %	Melko suositeltava

Taulukko 3. Vertailtavat maksulliset teknologiat; RTK-mittaus ja laser keilaus/ 3D skannaus.

Tärkeimpänä uutena asiana tuloksissa on Applen iPhone pro mallit 13 sarjasta eteenpäin, jotka hyödyntävät monipisteistä lidar tutkaa fotogrammetrisen mittauksen yhteydessä. Tätä kehitystä voidaan käyttää yksityisellä piharakennussektorilla hyödyksi. Ne ovat erittäin suositeltava investointi ja erittäin tarpeellisia, sekä erittäin soveltuvia taulukko 4 alla. Piharakentamisessa

eniten hyötyä on iPhone 13+ versiosta, joka tarjoaa monipuolisemman älypuhelimien kuin vastaava Android älypuhelin, koska siinä on parempi fotogrammetrinen mittaus mahdollisuus.

Applen iPhone 13 pro vuonna 2022 oli ensimmäinen älypuhelin, joka käytti lidaria apuna valokuvauksessa. Tämä mahdollisti huomattavasti tarkemman ympäristön kartoituksen iPhone puhelin apeilla. Applen lidar tekniikka eroaa Androidin vastaavasta lähettämällä monipisteisen ruudukon Androidin yhden pisteen lidar tekniikkaan (iPhone 13 Pro LiDAR vs. Survey Total Station Accuracy -YouTube 2022)

Nyt markkinoille (2023) tulleet uudet iPhone pro 14 ja 15 tarjoavat mahdollisuuden skannata ympäristöä fotogrammetrisesti lidar tukena muodostaen laajan pistepilven. Lisäksi ne antavat puhelimeen asennetuilla lisäsovelluksilla mahdollisuuden tutkia skannattua aineistoa. Raw tiedostona tallennettuja älypuhelimien kuvia voi tuoda pistepilvenä 3 D pohjaisiin tietokone ohjelmiin, joilla aineistoa voi katsella ja muokata (iPhone 15 Pro LiDAR and Camera vs. Survey Total Station Accuracy -YouTube 2024)

Tietoteknologia ja laajennettu todellisuus; tietomallintaminen SketchUp 3D mallintamisohjelmalla, on erittäin suositeltava investointi melko tarpeellinen ja melko soveltuva. Älypuhelin on erittäin suositeltava investointi, melko tarpeellinen ja melko soveltuva. Tabletti tietokoneet ovat erittäin suositeltavia investointeja, mutta jokseenkin tarpeettomia ja melko soveltuvia.

Fotogrammetrisista mittalaitteista kuvausdrone on suositeltava investointi, melko tarpeellinen, jokseenkin soveltuva. Sitä voidaan käyttää pihasuunnitelmien pohjana otettuihin mittauksiin ja kuviin. Työnaikaisen etenemisen seurantaan ja asiakkaalle voidaan työn valmistuttua esittää kuvia uudesta pihasta.

Teknologia	Tekniikat - Laitteet	Tarpeellisuus	Soveltuvuus	Pisteet Yhteensä	Hinta Euroina (sis. Alv)	%-liikevaihdosta	Investoinnin kannattavuus- suhdeluku	Investoinnin suositeltavuus
Tietoteknologia ja laajennettu todellisuus	Tabletti - Lenovo M11	2	3	5	179 €	0,057 %	0,019 %	Erittäin suositeltava
	- Apple iPad	2	3	5	419 €	0,133 %	0,044 %	Erittäin suositeltava
	Älypuhelin - Android (Samsung Galaxy Xcover 5)	3	3	6	359 €	0,114 %	0,019 %	Erittäin suositeltava
	- iOs (iPhone 15 pro 256GT)	3	3	6	1 299 €	0,412 %	0,082 %	Suosittelava
	AR/VR-lasit - Trimble XR10 Hololens 2	1	2	3	4 464 €	1,417 %	0,472 %	Suosittelava
	Tietomallintaminen - SketchUp 3D	3	2	5	102 €	0,032 %	0,005 %	Erittäin suositeltava
Fotogrammetria	Kuvausdrone - DJI Mini 4 Pro Fly More Combo	3	2	4	1 169 €	0,371 %	0,074 %	Suosittelava
	Älypuhelin - iOs (iPhone 15 pro 256GT)	4	4	8	1 299 €	0,412 %	0,052 %	Erittäin suositeltava
	Kuvantava GNSS vastaanotin - Leica GS 18 I (paketti)	2	3	4	20 000 €	6,349 %	1,270 %	Melko suositeltava

Taulukko 4. Vertailtavat maksulliset teknologiat; tietoteknologia ja laajennettu todellisuus, sekä fotogrammetria.

Mittalaitteista tasolaser on erittäin suositeltava investointi, erittäin tarpeellinen ja melko soveltuva. Myös laseretäisyysmittari on erittäin suositeltava investointi, melko tarpeellinen ja jokseenkin soveltuva.

Teknologia	Tekniikat - Laitteet	Tarpeellisuus	Soveltuvuus	Pisteet Yhteensä	Hinta Euroina (sis. Alv)	%-liikevaihdosta	Investoinnin kannattavuus- suhdeluku	Investoinnin suositeltavuus
Mittalaitteet	- Rakennus laser Spectra HV302	2	2	4	1 250 €	0,397 %	0,132 %	Suosittelava
	- Takymetri Leica Nova MS60 (paketti)	2	2	4	30 000 €	9,524 %	2,381 %	Melko suositeltava
	- Tasolaser Spectra LL300NN	4	3	7	785 €	0,249 %	0,052 %	Erittäin suositeltava
	- Laser etäisyysmittari Trotec TD120	3	2	5	50 €	0,016 %	0,003 %	Erittäin suositeltava
	- Ristilinjalaser Trotec BD5A	2	1	3	30 €	0,010 %	0,003 %	Erittäin suositeltava

Taulukko 5. Vertailtavat maksulliset teknologiat; mittalaitteet.

5 Pohdinta

5.1 Johtopäätökset ja jatkotutkimuksen aihe

Opinnäytetyötä aloittaessa 2022 ja valmistajien laitteistoja kartoittaessa, viimeisenä kahtena vuotena on teknologioiden kehitys ollut nopeaa. Tästä syystä suurin osa alkuperäistä tutkittavaksi kerättyä aineistoa on jo vanhentunut. Kehityksen jatkuessa samankaltaisena seuraava uusi iso asia mittausteknologiassa tulee luultavasti olemaan tekoälyn käyttö mittausten apuna.

Viime vuosina uusin kehitys on ollut sen suuntaista, että ohjelmistot eriytyvät laitekannasta. Esimerkiksi GNSS järjestelmissä sovellukset olivat alun alkaen laite- ja valmistajakohtaisia. Yksittäisten järjestelmien myyntihinta nousi kovaksi, sillä laitevalmistajat joutuivat sisällyttämään sovelluspuolen kehityskustannukset laitteiden myyntiin.

Sittemmin tarjolle on tullut esimerkiksi fotogrammetriaan perustuvia, laitteista riippumattomia mittaussovelluksia, joita pystytään käyttämään yhdistämällä esimerkiksi kuvauskopteri eli drone, kamera tai älypuhelin. Näin on tullut mahdolliseksi etsiä teknologiakokonaisuuksia, joilla päästään kustannus- tehokkaasti vastaavanlaisiin 3D-pistepilvituloksiin kuin aiemmin kuvantavilla ja tavallisilla GNSS-mittalaitteilla.

Piharakentamisessa tietomallintamisesta on hyötyä erityisesti isoissa julkisissa kohteissa, joissa kaikki suunnitelmat mallinnetaan. Todennäköistä on että, mallintaminen myös yksityispihoilla tulee yleistymään. Asiakas hyötyy 3D mallista sen helpomman tulkittavuuden takia, Piha suunnitelmaa on helppo esitellä näytöltä ja tehdä muutoksia asiakkaan näin halutessa.

Tekoäly tulee muuttamaan varmasti myös mittausteknologiaa. Se on nyt jo parantanut monien mittalaitteiden tarkkuutta, kuten Applen iPhone. Tekoäly parantaa lidar-skannauksella otettujen kuvien tarkkuutta, näin se helpottaa

fotogrammetrisen mittauksen tarkkuutta. Tulevaisuudessa tekoäly tulee varmasti mukaan rakentamisen suunnitteluun ja valvontaan.

Jatkotutkimusaihe tälle tutkimukselle voisi olla toiminnallinen tutkimus, jossa taulukoissa vertailtuja mittalaitteita käytetään piharakentamisessa. Empiirinen tutkimus voisi vahvistaa tämän opinnäytetyön tuloksia ja tuottaa samalla lisätietoa. Lisäksi taulukoidut mittalaitteet kehittyvät ja jatkotutkimuksessa voisi myös tutkia, miten niiden tarpeellisuus tai soveltuvuus muuttuu.

5.2 Opinnäytetyön luotettavuus ja eettisyys

Koska tähän toiminnalliseen opinnäytetyöhön sisältyy myös laadullista tutkimusta, on luotettavuuden arviointia pyritty tekemään koko tutkimuksen ajan. Opinnäytetyössä on pyritty kuvaamaan ja perustelemaan tehdyt valinnat ja se miten lopulliseen lopputulokseen on lopulta päästy. (Vilkkä 2021, 156, Juuti & Puusa 2020, 168) Sen vuoksi tutkimusprosessi on kuvattu mahdollisimman yksityiskohtaisesti ja opinnäytetyössä käytettyjen tutkimusmenetelmien avulla on toisen tutkijan mahdollista päästä samaan lopputulokseen. (Vilkkä 2021, 157, Hirsjärvi ym. 2003, 213). Tutkimuksen edetessä on käyty jatkuvaa vuoropuhelua opinnäytetyön tilaajatahon kanssa siitä, minkälaisia tarpeita yrityksessä on laitteistojen suhteen ja minkälaisia kriteereitä niille tulee asettaa.

Tutkimustyön eettisiä periaatteita on pyritty noudattamaan koko opinnäytetyöprosessin ajan, siten ettei siitä ole ollut eikä siitä synny haittaa kenellekään tutkimuksen osapuolelle. (Juuti ym. 2020, 169) ja opinnäytetyössä on tarkoituksellisesti vältetty epärehellisyyttä kaikissa sen vaiheissa (Hirsjärvi 2003, 27–28). Käytännössä tämä on tarkoittanut sitä, että opinnäytetyön tilaajatahon kanssa on yhteisesti sovittu siitä, mitä yritykseen, sen toimintaan ja talouteen liittyviä tietoja voidaan julkaista. Lisäksi sovittiin, ettei opinnäytetyöstä makseta sen tekijälle rahallista korvausta eikä hän siitä hyödy muutenkaan taloudellisesti.

Lähteet

- Drone info. Traficom, 2023. Viitattu 28.11.2023.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. ja Sajavaara, P. 2003. Tutki ja kirjoita. Tekijät ja Kirjayhtymä Oy 1997. 6.–9. painos. 2003.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.
- Maanmittauslaitos 2023
- Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. uudistettu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemi
- Juuti, P & Puusa, A. 2020. Laadullisen tutkimuksen luotettavuus. Teoksessa: Puusa, A. & Juuti, P (toim.) 2020. Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät.
- Paikkatietojärjestelmä. Vanha.karelia.fi.
- RT 103132. 2019. Fotogrammetrian käyttö rakennushankkeessa. Rakennustieto.
- RT 103375. 2021. Pistepilviaineisto suunnittelun lähtötietona ja inventointimallintaminen. Rakennustieto.
- RT 89-11002. 2010. Pihojen pohja- ja päällysrakenteet. Rakennustieto.
- RT 89-11196. 2015. Hulevesien hallinta. Rakennustieto.
- Tamimi Rami. 2022. iPhone 13 Pro LiDAR vs. Survey Total Station Accuracy. YouTube-video. <https://www.youtube.com/watch?v=R9IGi4wMdQQ>. 24.2.2024
- Tamimi Rami. 2024. iPhone 15 Pro LiDAR and Camera vs Survey Total Station Accuracy. YouTube-video. <https://www.youtube.com/watch?v=WNLuHsBXyCw&t=6s>. 24.2.2024.
- Tietoa.fi, viitattu 28.03.2024.
- Ympäristöministeriön asetus, rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoista (1047/2017) 7 luku 35–36 §, viitattu 20.3.2024.
- Ympäristöministeriön ohje, rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017) 16 § Hulevesien poisjohtaminen, viitattu 21.4.2024.
- Ympäristöministeriö, rakentamislaki, viitattu 20.3.2024.
- YIV2021 Osa1, Ohjeteksti, viitattu 20.3.2024.
- YTV2012 Osa2. Lähtötilanteen mallinnus. Buildingsmart.fi.
- Viherympäristöliitto ry 2016. Kestävän viherhankkeen prosessi.
- Vilka, H. 2021. Tutki ja Kehitä. Tekijä ja PS-kustannus. 5. päivitetty painos.

Toimeksiantajayrityksen liiketoiminnan jako:

Sulokiven liiketoiminta jakautuu kolmeen osaan:

Pihasuunnittelu ja -rakentaminen	(noin 60 % liikevaihdosta)
Hauta- ja rakennuskivituotanto Joensuun tuotantotiloissa	(noin 30 % liikevaihdosta)
Viinijärven liuskekilouhoksen tuotanto	(noin 10 % liikevaihdosta)

Sulokiven liikevaihdosta noin 50 % kohdistuu suoraan piharakentamiseen, eli vuonna 2021 noin 525 000 €. Piharakentamisen liikevaihto voidaan puolestaan jakaa viiteen osaan:

Osio	%	€ liikevaihdosta
Sulokiven tekemät työntekijä- ja konetyöt	60	315 000 €
Sulokiven tuottamien materiaalien myynti	10	52 500 €
Ulkopuolisten materiaalien välitysmyynti	20	105 000 €
Ulkopuoliset palvelut	5	26 500 €
<u>Läpilaskutettavat erät</u>	<u>5</u>	<u>26 500 €</u>
yht.	100 %	525 000 €

