



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juuso Ojala

Digitalisaation hyödyntäminen paikallavalettavien betonirakenteiden laadunvarmistuksessa työmaalla

Case: KSBR

Opinnäytetyö

Syksy 2022

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Rakennusmestari (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Juuso Ojala

Työn nimi: Digitalisaation hyödyntäminen paikallavalettavien betonirakenteiden laadunvarmistuksessa työmaalla

Ohjaajat: Olli Isopahkala (SeAMK), Senja Poutiainen (KSBR)

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 52

Liitteiden lukumäärä: 0

Opinnäytetyön tavoitteena oli uusien digitaalisten mittauslaitteita hyödyntämällä parantaa tuulivoimalaperustusten laadunvarmistusta tehokkaammaksi. Tarkoituksena oli kokeilla tuulivoimapuistotyömaalla uusia digitaalisia mittauslaitteita ja selvittää, voisiko niitä hyödyntää tulevaisuudessa uusilla työmailla ja ottaa käyttöön yrityksen laadunvarmistuksen tehostamiseen.

Työssä käytiin läpi tuulivoimalaperustuksen yleiset perusratkaisut ja niihin liittyvät toimenpiteet, kuinka perustus valitaan ja mitä pitää ottaa huomioon suunnittelussa ja toteutuksessa. Opinnäytetyössä kerrotaan myös betonirakenteiden laadunvarmistuksesta ja digitalisaation hyödyntämisestä. Opinnäytetyössä käydään läpi neljä digitaalista mittauslaitetta ja kaksi laadunvarmistusta parantavaa ohjelmaa, joita työssä käytettiin ja kerrotaan, millaisia lopputuloksia niiden avulla saavutettiin.

Lopputuloksena huomasi, että digitaalisia mittauslaitteita käyttämällä laadunvarmistus parantui huomattavasti. Työssä esiintyi kuitenkin ongelmia mittauslaitteiden toimivuuksien suhteen, minkä myötä tulevaisuudessa kyseisiin ongelmakohtiin kannattaa paneutua tarkemmin. Työssä esitetään myös yksi kehitysidea, jonka myötä laadunvarmistusta voisi kehittää vielä tehokkaammaksi.

¹ Asiasanat: digitalisaatio, laadunvarmistus, mittauslaite, tuulivoimala, perustus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Construction Site Management

Specialisation: Building Construction

Author: Juuso Ojala

Title of thesis: Utilization of digitalization in the quality assurance of cast-in-place concrete structures at the site

Supervisors: Olli Isopahkala (SeAMK), Senja Poutiainen (KSBR)

Year: 2022

Number of pages: 52

Number of appendices: 0

The aim of the thesis was to make the quality assurance of wind turbine foundations more efficient by utilizing new digital measuring devices. The purpose was to test new digital measuring devices at a wind farm site and study if they could be used in the future on new sites and introduce to enhance the company's quality assurance.

The thesis examined the general foundation solutions for wind turbine foundations and related measures, how to choose the foundation and what should be taken into account in planning and implementation. The thesis also discussed the quality assurance of concrete structures and the utilization of digitalization. The thesis also reviewed four digital measuring devices and two quality assurance improvement programs, which were used in the study and results achieved with them.

As a result, it was noted that by using digital measuring devices, quality assurance improved significantly in a more positive direction. However, there were problems in the thesis regarding the functionality of the measuring devices, meaning that in the future it would be worth focusing more on the problem areas. A development idea making quality assurance even more efficient was also presented.

¹ Keywords: digitalization, quality assurance, measuring device, wind turbine, foundation

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Yritysesittely	10
2 TUULIVOIMALAN MASSIIVISET BETONIPERUSTUKSET	12
2.1 Tuulivoimala	12
2.2 Suunniteltu käyttöikä	14
2.3 Rasitusluokat.....	14
2.4 Tuulivoimalan massiiviset betonirakenteet	19
2.4.1 Massiivisten betonirakenteiden muotti	21
2.4.2 Raudoitus.....	22
2.4.3 Betonointi.....	23
2.4.4 Jälkihoito	24
3 DIGITAALISET MITTAUSLAITTEET JA LAADUNVARMISTUS	27
3.1 Betonirakenteiden laadunvarmistus	27
3.2 Digitalisaatio	27
3.3 Korkean tarkkuuden AR-järjestelmä Sitevision	28
3.4 Etäluettava lämpötilan seurantalaitte Sigfox Connected TempGuard R3.....	31
3.5 Perustusten laserkeilaus Leica Nova MS60 MultiStation -laitteella	36
3.6 Tarkepisteiden mittaus Leica iCON gps 60 -laitteella	40
3.7 Infrakit	43
3.8 Vaisala RoadAI Map.....	45

4 YHTEENVETO	47
4.1 Laadunvarmistuksellisten mittauksien haasteet	47
4.2 Kehitysidea.....	47
4.3 Johtopäätökset.....	48
LÄHTEET	51

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Tuulivoimalan hybridimalli (KSBR, i.a.).....	13
Kuva 2. Kallioankkuriperustuksen järjestelmämuotti.....	21
Kuva 3. Gravitaatioperustuksen raudoitus.....	23
Kuva 4. Gravitaatioperustuksen betonointi (KSBR, i.a.).....	24
Kuva 5. Kallioankkuriperustus suojattu peitteellä.....	26
Kuva 6. Perustuksen sijainti Sitevisionissa.....	30
Kuva 7. Perustuksen luiska Sitevisionissa.....	30
Kuva 8. Varausputkien sijainti Sitevisionissa.....	31
Kuva 9. Connected TempGuard R3.....	32
Kuva 10. Mikrotukiasema.....	33
Kuva 11. Leica Nova MS60 MultiStation.....	37
Kuva 12. Leica iCON gps 60.....	41
Kuva 13. Korotusvaluun tehdyt merkinnät.....	43
Kuvio 1. Tuulivoimalan pääkomponentit (Motiva, 2022).....	12
Kuvio 2. Lämmönkehityskäyrä.....	34
Kuvio 3. Lämmönkehityskäyrä, syvyys 400 mm.....	35
Kuvio 4. Lämmönkehityskäyrä lähellä perustuksen pintaa.....	35
Kuvio 5. Laserkeilattu raudoitus.....	39
Kuvio 6. Laserkeilattu raudoitus ja betoni.....	39

Kuvio 7. Mitatut tarkepiisteet.....	42
Kuvio 8. Infrakit-karttanäkymä.	44
Kuvio 9. Karttanäkymä ja siihen lisätyt apumallit.	45
Kuvio 10. Vaisala RoadAI Map.	46
Taulukko 1. Betonirakenteiden rasitusluokat ja ympäristöolosuhteet (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 137–139).....	15

Käytetyt termit ja lyhenteet

3D	Kolmiulotteisuus.
AR-järjestelmä	Lisätty todellisuus eli augmented reality.
Drone	Sana ”drone” on yleinen termi miehittämättömälle ilma-alukselle (UAV) tai miehittämättömälle ilma-alusjärjestelmälle (UAS) eli ilma-alukselle, jota ohjataan joko automaattisesti, itsenäisesti tai kauko-ohjaajan toimesta.
FoxerIoT	Verkkosivu, jossa pystyy seuraamaan Connected TempGuard R3 -laitteen lähettämiä lämpötiloja.
GIS	Paikkatietojärjestelmä eli Geographic Information System.
GNSS	Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
Gravitaatioperustus	Tuulivoimalan perusratkaisu, toiminta perustuu betonin suureen massaan. Suuren massan avulla tuulivoimala pysyy pystyssä.
Jälkihoitoaine	Betonipintaan levitettävä aine, joka muodostaa tiiviin kalvon ja estää veden haihtumisen pinnasta.
Kallioankkuriperustus	Tuulivoimalan perusratkaisu, sen toiminta perustuu kallioon porattaviin punosvajereihin, jotka betonoidaan täyteen ja jännitetään hydraulista tunkkia apuna käyttäen suunniteltuun vetolujuuteen. Punosvajereiden avulla perustus kiinnittyy paikallensa.
KSBR	Keski-Suomen Betonirakenne Oy.
Laserskannaus	Laserkeilauksessa käytettävä menetelmä, jonka tehtävänä on muodostaa pistepilvi. Pistepilven avulla pystytään luomaan kolmiulotteinen kuva.

- Lämmönkehityskäyrä** Lämpötilan ja ajan muodostama käyrä. Käyrällä nähdään, mikä on lämpötila tietyllä ajanjaksolla.
- Mikrotukiasema** Sähköllä toimiva laite, jonka tehtävänä on signaalin vahvistaminen. Käytetään paikoissa, joissa yhteydet ovat heikkoja.
- Pilvipalvelu** Pilvipalvelulla tarkoitetaan internetpalveluita, joihin voi tallentaa esimerkiksi valokuvia, dokumentteja, muita tiedostoja ja videoita.
- Sauvatärytin** Betonoidessa käytettävä työväline, jonka tehtävänä on poistaa betonista ilma ja tiivistää rakenne.
- Tarkepiste** Mittamiehen mittaama piste esimerkiksi rakenteesta.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön ideana on digitalisaation tehostaminen Keski-Suomen Betonirakenne Oy:n toiminnassa. Tämä on yksi strateginen painopiste yrityksen omassa liiketoiminnassa. Digitalisaation hyödyntäminen avaa mahdollisuuksia yritykselle kehittää omaa liiketoimintaansa entistä tehokkaammaksi, joten työssä pyritään digitaalisten mittauslaitteiden kautta kehittämään laadunvarmistusta paremmaksi.

Digitalisaation jatkuva kehittyminen tuottaa rakennusalan yrityksille mahdollisuuksia ja uusia näkemyksiä käyttää digitalisaatiota paremmin hyödyksi omassa tuotannossaan. Digitalisaation tuomat edut ovat huomattavia, kun digitalisaatiota opitaan hyödyntämään ja käyttämään tehokkaammin omassa tuotannossa (Scrive, i.a.). Digitalisaation avulla yritykset pystyvät esimerkiksi tehostamaan työskentelyä ja parantamaan tiedonkulkua merkittävästi. Digitalisaation avulla pystytään myös säästämään kustannuksissa ja hyödyntämään resursseja muihin tärkeisiin asioihin.

1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on uusien digitaalisten mittauslaitteiden avulla kehittää yrityksen laadunvarmistusta tehokkaammaksi työmaalla. Uusien mittauslaitteiden käyttämisen myötä laadunvarmistuksen tulisi tehostua ja helpottua työmaaolosuhteissa. Tavoitteena on myös digitaalisten mittauslaitteiden avulla tehostaa yrityksen liiketoimintaa tehokkaammaksi.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kokeilla uusia digitaalisia mittauslaitteita ja selvittää, pystyykö niitä hyödyntämään tulevaisuudessa yrityksen tulevilla työmailla. Tarkoituksena on myös pohtia uusia kehitysideoita, jotka voisivat hyödyntää yritystä tulevaisuudessa.

Tämä opinnäytetyö tulee rajoittumaan työmaaolosuhteissa tuulivoimalan massiivisiin paikallavalettaviin betonirakenteisiin eli perustuksiin. Tuulivoimalan perustukset liittyvät

vahvasti myös infrarakentamiseen, joten opinnäytetyö tulee liittymään myös tähän aiheeseen.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyössä käydään ensimmäiseksi läpi teoriaosuudet. Ensimmäisessä teoriaosuudessa kerrotaan tuulivoimalasta, suunnittelusta, rasitusluokista ja lopulta massiivisista betonirakenteista. Toisessa teoriaosuudessa kerrotaan betonirakenteiden laadunvarmistuksesta ja digitalisaatiosta.

Tämän jälkeen opinnäytetyössä siirrytään digitaalisiin mittauslaitteisiin ja kerrotaan mihin kyseisiä mittauslaitteita käytettiin työmaalla. Samassa käydään läpi laadunvarmistusta lisääviä sovelluksia sekä niiden käyttöä työmaaolosuhteissa.

Tämän jälkeen käydään läpi laadunvarmistusmittausten haasteet, joita työssä esiintyi ja kehitysidea, kuinka laadunvarmistusta voisi kehittää vielä tehokkaammaksi. Lopuksi käydään läpi johtopäätökset tämän opinnäytetyön pohjalta.

1.4 Yritysesittely

Toimeksiantajana opinnäytetyöprojektissa toimii Keski-Suomen Betonirakenne Oy. Myöhemmin työssä käytetään lyhennettä KSBR. Keski-Suomen Betonirakenne Oy on suomalainen rakennusalan yritys, joka on perustettu vuonna 2004 (KSBR, i.a.-b). Yrityksen pääkonttori sijaitsee Pihlputaalla, mistä toiminta on saanut alkunsa. Yrityksen muut toimipaiikat sijaitsevat Oulunsalossa, Vantaalla sekä Lappeenrannassa. Vuonna 2021 liikevaihto oli noin 82 miljoonaa euroa ja työntekijöitä yrityksessä oli noin 91 henkilöä. Vuodesta 2018 alkaen yrityksen liikevaihto ja liikevoitto ovat olleet kasvavia, lisäksi yrityksen henkilöstömäärä on nousussa.

Tuulivoimalat ovat yrityksen tärkein ja menestynein toimiala, jonka myötä KSBR on nousut tuulivoimainfran markkinajohtajaksi Suomessa (KSBR, i.a.-a). Tämän myötä KSBR on toteuttanut tuulipuistojen infraa eri puolilla Suomea. Tällä hetkellä käynnissä on

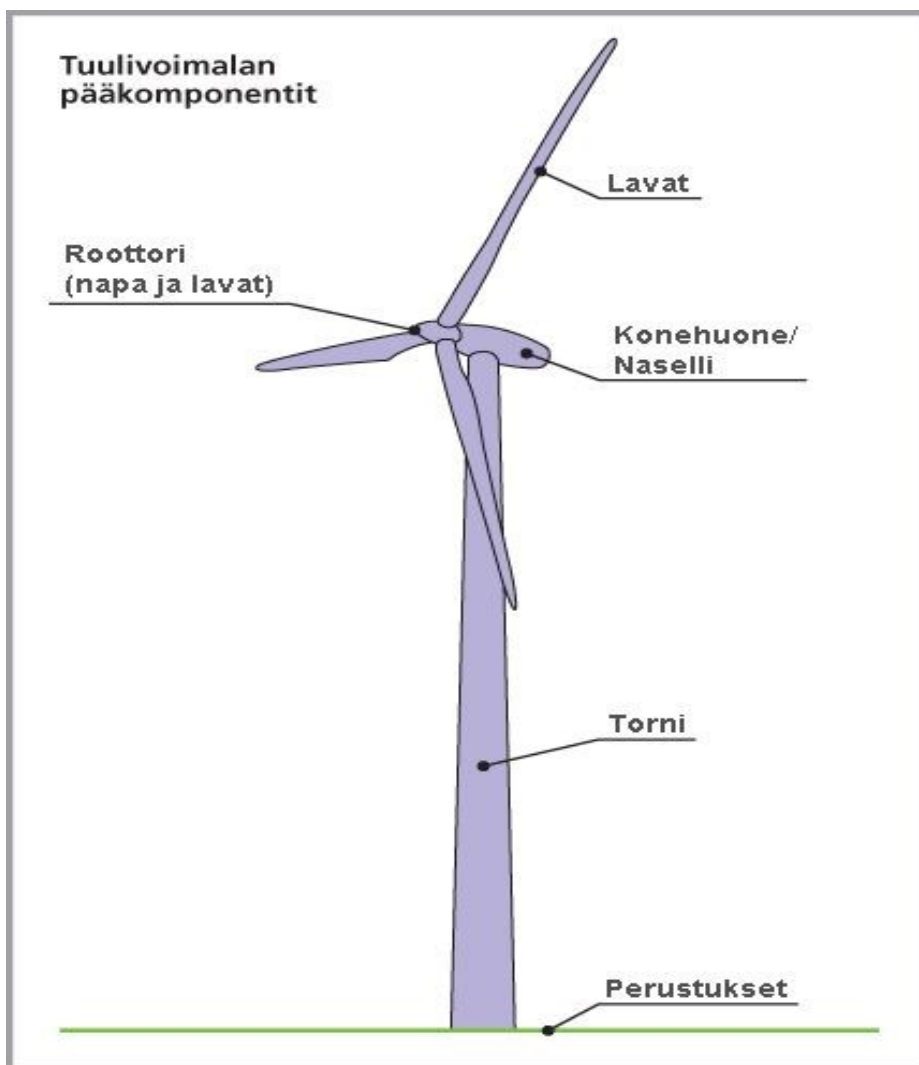
esimerkiksi Suomen suurimman tuulivoimapuiston rakentaminen Lestijärvelle, mihin on tulossa 69 tuulivoimalaa.

Muita toimialoja, joita KSBR-yhtiöllä on, ovat erikoisrakentaminen, teollisuuskohteet ja pysäköintilaitokset (KSBR, i.a.-b). Yrityksellä on selkeä päämäärä kasvaa entisestään. Lähi-tulevaisuudessa yritys tähtää myös kansainvälisille markkinoille.

2 TUULIVOIMALAN MASSIIVISET BETONIPERUSTUKSET

2.1 Tuulivoimala

Tuulivoimalalla tarkoitetaan yleisesti kokonaista tuulivoimalalaitosta, jonka pääosia ovat perustus, torni, siivet, roottori sekä konehuone (Motiva, 2022). Tuulen liike-energian avulla pystytään mahdollistamaan sähkön tuotanto tuulivoimalan siipien avulla. Tällöin liike-energia siirtyy voimalan akseliin ja se muutetaan generaattorilla sähköksi, joka lopulta päätyy sähköverkkostoon. Kuviossa 1 on esitetty tuulivoimalan pääkomponentit.



Kuvio 1. Tuulivoimalan pääkomponentit (Motiva, 2022).

Uusi tuulivoimala on yleensä kolmisiipinen ja vaaka-akselinen kokonaisuus, jonka nimellisteho on 4–6 MW ja napakorkeus on noin 140 metriä (2022). Tuulivoimala voi olla myös huomattavasti korkeampi. Nykyisin korkeimmat tuulivoimalat voivat ulottua jopa yli 300 metriin saakka. Motiva-yhtiö korostaa myös nykyisten tuulivoimaloiden äänettömyyttä ja toimintavarmuutta, ne ovat kehittyneet huomattavasti paremmaksi ajansaatossa.

Tuulivoimaloiden torni on yleensä valmistettu teräksestä tai betonista (Suomen Hyötytuuli, i.a.). Kolmas vaihtoehto on hybridimalli, jonka alaosa on valmistettu betonista ja yläosa teräksestä (Suomen tuulivoimayhdistys, 2022). Kuvassa 1 näkyy tuulivoimalan hybridimalli.



Kuva 1. Tuulivoimalan hybridimalli (KSBR, i.a.).

2.2 Suunniteltu käyttöikä

Ennen kuin betonirakenteita rakennetaan, täytyy rakenteelle määrittää suunniteltu käyttöikä. Betonirakenteiden käyttöikä määräytyy siitä mihin käyttöön betonirakenteet on suunniteltu (Betoniteollisuus ry, i.a.-a). Tavanomaisen betonirakenteen suunnittelukäyttöikäksi valitaan yleensä 50 vuotta. Tuulivoimalaperustukset eivät ole tavanomaisia betonirakenteita, joten suunnittelukäyttöikäksi valitaan yleensä 20–40 vuotta, koska perustuksille syntyy erityisiä kuormitusrasituksia, esimerkiksi väsymiskuormituksia, mikä vaikuttaa huomattavasti betonirakenteiden käyttöikään. Betonin käyttöikään vaikuttaa monet muutkin asiat, jotka on lueteltu seuraavassa.

Betonin käyttöikään vaikuttavat tekijät (Betoniteollisuus ry, i.a.-a) ovat:

- vesi-sideainesuhde
- sementin määrä ja tyyppi
- betonin lisäaineet
- raudoituksen tyyppi
- raudoituksen betonipeitteen paksuus
- ulkoinen rasitus
- lujuusluokka.

2.3 Rasitusluokat

Betonirakenteiden rasitusluokkien tulee olla soveltuvia ympäristön vallitseviin olosuhteisiin ja rasitukseen (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 137). Rasitusluokkien valinnassa on myös huomioitava, että jos rakenteen rasitusluokka ylimitoitetaan, kustannukset nousevat. Tämä voi aiheuttaa muiden ominaisuuksien heikentymistä ja sen myötä huonontaa rakentamisen laatua. Esimerkkinä edellisestä on liian ankara kloridirasitus (XD tai XS), minkä seurauksena betonipeitteen määrä kasvaa tarpeettoman paljon ja halkeiluriski kasvaa. Myös tarpeettoman alhainen vesi-sementtisuhteavaatimus voi tehdä esimerkiksi betonin valamisesta ja siirrosta hankalaa. Tämä vaikuttaa huomattavasti kustannusten nousuun ja heikentää betonipeitteen laatua.

Rakenteelle on mahdollista laatia myös rasitusluokkayhdistelmiä, mikä tarkoittaa sitä, että suunnittelijan tulee käydä kaikki rasitusluokat läpi ja miettiä rakenteen kokonaisuutta tarkasti. Taulukossa 1 on esitetty tyypillisiä rasitusluokkia ja ympäristöolosuhteet.

Taulukko 1. Betonirakenteiden rasitusluokat ja ympäristöolosuhteet (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 137–139).

RASITUSLUOKKA		YMPÄRISTÖN KUVAUS JA ESIMERKKEJÄ KÄYTTÖALUEISTA
X0	Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä	<p>Betonit, joissa ympäristöolosuhteet eivät mitenkään rajoita rakenteen käyttöikää. Tällaisia rakenteita ovat tyypillisesti raudoittamattomat tai raudoitetut hyvin kuivissa olosuhteissa, ei-pakkasrasitukselle alttiina olevat rakenteet. Esimerkiksi kuiviin sisätiloihin tulevat rakenteet.</p> <p>Betonin lujuusluokkavaatimus on C12/15, vesi-sementtisuhteelle ei ole vaatimusta. Koska kyseisessä rasitusluokassa betonille ei ole vauriomekanismeja, varsinaista käyttöikäsuunnittelua ei myöskään voida tehdä. Rakenteen käyttöiksi voidaan valita 50, 100 tai 200 vuotta.</p>
Karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva korroosio		
XC1	<p>Karbonatisoitumisen aiheuttama teräskorroosio.</p> <p><i>Kuiva tai jatkuvasti märkä.</i></p>	<p>Rakenteet, joissa mahdollisesta nopeasta karbonatisoitumisesta huolimatta terästen ruostuminen on hyvin hidasta, kuten kohtuullisen kuivat sisätilat, sekä rakenteet, joissa karbonatisoituminen on kosteusolosuhteitten takia hyvin hidasta, esimerkiksi vedenalaiset rakenteet.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat kuivissa sisätiloissa olevat rakenteet tai jatkuvasti vedenpinnan alla olevat rakenteet, sekä kerroksellisen seinärakenteen sisäkuori. Koska kyseisessä rasitusluokassa betonille ei ole vauriomekanismeja, myöskään varsinaista käyttöikäsuunnittelua ei voida tehdä. Rakenteen käyttöiksi voidaan valita 50, 100 tai 200 vuotta.</p>
XC2	Karbonatisoitumisen aiheuttama teräskorroosio.	Pitkiä aikoja veden kanssa kosketuksissa olevat rakenteet. Rakenteet poikkeavat XC1:n kosteista rakenteista siinä, että

	<i>Kosteaa, harvoin märkä.</i>	XC2:ssa rakenteet voivat aika-ajoin myös kuivua. Karbonatisoituminen on hidasta näissäkin olosuhteissa. Tyypillisiä rakenteita ovat useimmat perustukset, siltojen perustukset ja siirtymäläät.
XC3	Karbonatisoitumisen aiheuttama teräskorroosio. <i>Kohtalaisen kostea.</i>	Rakenteet, jotka ovat kosteassa ympäristössä, mutta eivät kuitenkaan kyllästy vedellä. Olosuhteet ovat karbonatisoitumisen kannalta pahimmat mahdolliset. Luokka poikkeaa XC4-luokasta siinä, että rakenteen mahdollinen jäätyminen ja sulaminen eivät alhaisesta vedelläkyllästymisasteesta johtuen aiheuta betoniin pakkasrasitusta. Tyypillisiä rakenteita ovat sateelta suojatut julkisivut, muut pystysuorat ulkona olevat, sateelta suojattujen rakenteiden tai vaakasuorien alapinnat: uimahallit, jatkuvasti käytössä olevat saunat, suurkeittiöt, monet teollisuusrakennukset; siltojen sateelta suojatut päällysrakenteen osat, kuten kansilaatan alapinnat ja palkit, sateelta suojatut pilarit, tukimuurit sekä maa- ja välituet.
XC4	Karbonatisoitumisen aiheuttama teräskorroosio. <i>Jaksollinen kastuminen ja kuivuminen.</i>	Rakenteet, jotka ovat kosketuksissa veden kanssa, mutta eivät kuulu ympäristöluokkaan XC2. Karbonatisoitumisen kannalta teräkset ovat paremmassa suojassa betonin sisällä kuin edellä esitetyssä luokassa XC3. Ero XC3 ja XC4-luokkien välillä syntyy siitä, että Suomessa kyseiset rakenteet joutuvat väistämättä myös pakkasrasitukselle alttiiksi. Pakkasrasituksen vaikutus tulee huomioida huokostamalla betoni. Tyypillisiä rakenteita ovat parvekelaatat, sateelle alttiit julkisivut ja sokkelit sekä siltojen sateelle alttiit osat, kuten reunapalkit, maatikien sivupinnat, tukimuurit ja pilarit.
Muista lähteistä kuin merivedestä peräisin olevien kloridien aiheuttama teräskorroosio		

XD1	<p>Kloridien aiheuttama teräskorroosio. Kloridit muualta kuin merivedestä.</p> <p><i>Kohtalaisen kostea.</i></p>	<p>Rakenteet, joissa betonia rasittavat ilmavirran mukana tulevat kloridipitoiset aineet.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat meluseinät tien vieressä tai uimahallien sisätilat.</p>
XD2	<p>Kloridien aiheuttama teräskorroosio. Kloridit muualta kuin merivedestä.</p> <p><i>Kostea, harvoin kuiva.</i></p>	<p>Rakenteet, jotka ovat suorassa kosketuksessa klorideja sisältävän nesteen kanssa.</p> <p>Esimerkiksi rakenne, jota rasittavat klorideja sisältävät teollisuusvedet, tai uima-altaat. Tyypillisiä rakenteita ovat myös pysäköintitalot ja lämmitetyt autotallit.</p>
XD3	<p>Kloridien aiheuttama teräskorroosio. Kloridit muualta kuin merivedestä</p> <p><i>Kostea ja kuiva vaihtelevat.</i></p>	<p>Suolaroiskeille alttiit rakenteet, jotka ovat osan aikaa märkänä, mutta pääsevät aina välillä kuivumaan. Tällainen kuivan ja kostean olotilan vaihtelu on suolojen kerääntymisen kannalta pahin mahdollinen tilanne.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat siltojen tiesuoloille alttiit osat, kuten reunapalkit, siirtymälaatat, betonikaiteet, suolasumulle alttiit siltapilarit sekä väli- ja maatuet.</p>
Meriveden kloridien aiheuttama teräskorroosio		
XS1	<p>Tuulen mukana merestä tulevien kloridien aiheuttama teräskorroosio.</p> <p><i>Ei suoraa kosketusta veteen.</i></p>	<p>Avomeren rannalla olevat rakenteet. Maasto-olosuhteitten mukaan maksimietäisyys merestä voi olla 200 m. Mikäli rakenteen ja merialueen välillä on esteitä, voi tätä etäisyyttä lähempänäkin oleva rakenne olla kuulumatta kyseiseen rasitusluokkaan.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat avomeren äärellä sijaitsevat satamarakennukset.</p>
XS2	<p>Meriveden kloridien aiheuttama teräskorroosio.</p> <p><i>Meriveden alla.</i></p>	<p>Kloridipitoisen veden kanssa jatkuvassa kosketuksessa olevat rakenteet.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat siltojen ja laituiden merivedenalaiset osat.</p>

XS3	<p>Meriveden kloridien aiheuttama teräskorroosio.</p> <p><i>Meriveden vesirajassa ja roiskevyöhykkeellä.</i></p>	<p>Merirakenteiden ja siltojen merenpinnan vaihtelun ja roiskeen vaikutuksille alttiit osat, kuten siltojen välituet.</p>
<p>Jäätymis-sulamisrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä</p>		
XF1	<p>Jäätymis-sulamisrasitus.</p> <p><i>Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita.</i></p>	<p>Jäätymiselle alttiit rakenteet, jotka kastuttuaan myös kuivuvat kohtuullisen nopeasti. Tällaisia ovat tyypillisesti sateelle alttiit pystysuorat betonipinnat.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat julkisivut ja sokkelit sekä suolaamattomien teiden siltojen osat, kuten kansilaatat, palkit, maa- ja välituet.</p>
XF2	<p>Jäätymis-sulamisrasitus.</p> <p><i>Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet.</i></p>	<p>Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alttiina ilman kuljettamille jäänsulatusaineille.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat meluseinät ja sokkelit tien vieressä sekä suolattavien teiden siltojen osat, kuten päällysrakenteen palkit ja kansilaatat sekä maa- ja välituet.</p>
XF3	<p>Jäätymis-sulamisrasitus.</p> <p><i>Suuri vedellä kylästyminen ilman jäänsulatusaineita.</i></p>	<p>Rakenteet, joiden vedellä kyllästyminen saattaa jäättyessään olla korkea. Tällaisia ovat tyypillisesti sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat. Ulkona olevat vaakasuorien rakenteiden alapinnat saattavat myös kuulua tähän luokkaan.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat parvekkeet, silta-pilarit ja muut rakenteet sisävesien vesirajassa, patorakenteet, makean veden altaat. Samoin suolaamattomien teiden siltojen osat, kuten reunapalkit, siirtymälaatat, pilarimaiset välituet, rengaskehäsiltojen peruslaatat ja vesistösiltojen suojaamattomat vedenvaihtelualueen rakenteet.</p>
XF4	<p>Jäätymis-sulamisrasitus.</p> <p><i>Suuri vedellä kylästyminen ja jäänsulatusaineet.</i></p>	<p>Kosteusolosuhteiltaan XF3:a vastaavat rakenteet, mutta lisäksi betonia rasittavat suorat jäänsulatusaineroiskeet.</p> <p>Tyypillisiä rakenteita ovat jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat ja jäänsulatusaineille alttiit teiden siltojen kannet.</p>

Kemiallinen rasitus		
XA1	Kemiallinen rasitus. <i>Kemiallisesti heikosti aggressiivinen ympäristö.</i>	Betoniin kohdistuu luonnon maaperästä ja pohjavedestä aiheutuva kemiallinen rasitus. Tyypillisiä rakenteita ovat osa maatalousrakenteista.
XA2	Kemiallinen rasitus. <i>Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen ympäristö.</i>	Betoniin kohdistuu luonnon maaperästä ja pohjavedestä aiheutuva kemiallinen rasitus. Tyypillisiä rakenteita ovat puukuivaamojen rakenteet sekä savupiippujen yläosat.
XA3	Kemiallinen rasitus. <i>Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen ympäristö.</i>	Betoniin kohdistuu luonnon maaperästä ja pohjavedestä aiheutuva kemiallinen rasitus. Tyypillisiä rakenteita ovat maatalousrakenteet, jotka ovat alttiina urealle.

2.4 Tuulivoimalan massiiviset betonirakenteet

Tuulivoimalaperustuksen yleisimmät perustamistavat ovat gravitaatioperustus ja kallioankkuriperustus (Tuulivoimalahti, 2019). Perustamistavan valinta riippuu lähtökohtaisesti ympäristön vallitsevista pohjaolosuhteista. Opinnäytetyöntekijä on huomannut, että samaan tuulivoimapuistoon voidaan käyttää useampaa perustamistapaa, esimerkiksi gravitaatioperustusta ja kallioankkuriperustusta.

Yleisin perustamistapa on gravitaatioperustus, jonka muoto muistuttaa katkaistua kartiota. Burtonin ym. (2011, s. 467) mukaan gravitaatioperustuksia käytetään tyypillisesti paikoissa, missä maaperä on tarpeeksi kantava enintään muutaman metrin syvyydessä maanpinnasta. He toteavat maanperän kantavuuden olevan tärkeässä roolissa, koska perustuksille kohdistuu erilaisia rasituksia, jotka sen täytyy kestää. Näitä rasituksia ovat esimerkiksi väsymisrasitus ja dynaaminen rasitus.

Toinen perustamistapa on kallioankkuriperustus (Tuulivoimalahti, 2019). Kallioankkuriperustuksia käytetään tyypillisesti paikoissa, missä kallio on niin lähellä maanpintaa, että sitä voidaan hyödyntää. Kallioankkuriperustuksen avulla pystytään vähentämään perustuksen

betonimäärää ja raudoituksen määrää, minkä myötä se on kustannustehokkaampi perustusmuoto (CTE WIND, i.a.). Kallioankkuriperustuksen toiminta perustuu kallioon porattaviin punosvajereihin, jotka sitten juotetaan juotosmassalla täyteen, ja jännitetään hydraulista tunkkia apuna käyttäen suunniteltuun, tarvittavaan tai vaadittuun vetolujuuteen. Tällä tavoin perustus kiinnittyy kallioon tiukasti ja perustukseen syntyvät voimat siirtyvät punosvajereita pitkin kallioperään.

Tuulivoimalaperustukset valmistetaan harjateräksistä ja teräsbetonista. Betonin hyvät ominaisuudet ovat syy, miksi betonia käytetään rakennusmateriaalina. Betoni rakennusmateriaalina on selitetty seuraavassa.

Betoni on maailman eniten käytetty rakennusmateriaali (Kivifaktaa, i.a.). Sitä valmistetaan vuosittain noin 13 miljardia kuutiometriä, eli noin 2 kuutiometriä maailman jokaista asukasta kohti. Betonin suosiota selittävät sen useat hyvät ominaisuudet kuten edullisuus, saatavuus ja monipuoliset käyttömahdollisuudet.

Infrarakentamisessa betonia käytetään esimerkiksi silloissa, tunneleissa, satamarakenteissa ja energialaitoksissa (Betoniteollisuus ry, i.a.-b). Tuulivoimalaperustukset ovat paikallavalettavia erikoisrakenteita. Työ alkaa raudoituksen teosta ja tämän jälkeen tuulivoimalaperustus betonoidaan suunnitellulla betonilla valmiiksi.

Betoni sopii rakennusmateriaalina infrarakentamiseen varsin mainiosti, koska betonilla on luontaisesti korkea kyky kestää esimerkiksi mekaanista kulutusta, korkeita lämpötiloja, kosteusrasitusta ja säärasitusta (Betoniteollisuus ry, i.a.-b). Tuulivoimalaperustukset joutuvat kestäämään kovia olosuhteita, joten betoni on teknisesti järkevin vaihtoehto, varsinkin maaperästä tulevien kosteusrasitusten vuoksi. Perustusten pinnat, jotka jäävät näkyviin, vaativat myös kovaa rasituksenkestoa, varsinkin talvella tippuvan putoavan jään takia. Betonin monipuolisuudesta on kerrottu seuraavassa.

Betoni on rakennusaine, jota käyttämällä voidaan valaa haluttuja rakenteita muottien avulla (Rakentaja.fi, 2018). Monimuotoisuutensa vuoksi lähes kaikenlaiset rakenteet ovat toteutettavissa betonilla. Suuri rakenteellinen lujuus, kosteudenkestävyys ja pitkäikäisyys ovat betonin etuja verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin.

2.4.1 Massiivisten betonirakenteiden muotti

Kun valmistetaan tuulivoimalan massiivisia betonirakenteita, täytyy ennen betonointia rakentaa muotti raudoituksen ympärille. Tuulivoimalan perustuksissa käytetään yleensä kahta erilaista muottiratkaisua, jotka ovat järjestelmämuotti ja reunamuotti.

Järjestelmämuotteja käytetään selkeissä suorissa pystyrakenteissa sekä monimuotoisissa rakenteissa (Kestävä kivitalo, i.a.). Muotteja voidaan käyttää joko kohdekohtaisina elementteinä tai suurina yksikköinä. Tuulivoimalaperustukset ovat massiivisia monimuotoisia rakenteita, minkä takia muottikaluston täytyy olla kyseiselle perustustyypille sopiva. Kallioankkurointiperustukset toteutetaan yleensä järjestelmämuotteja käyttämällä. Kuvassa 2 on esitetty kallioankkuriperustuksen järjestelmämuottikokonaisuus.



Kuva 2. Kallioankkuriperustuksen järjestelmämuotti.

Gravitaatioperustuksessa reunoilla käytetään tavallisesti reunamuottia, joka on valmistettu pellistä, teräsmuotista tai vanerista. Muotit kiinnitetään raudoitusvälikkeitä vasten, jotka

varmistavat sen, että betonipeitepaksuus tulee riittävän suureksi. Gravitaatioperustuksen päälle tulee kauluksen muotti, joka kiinnitetään myös raudoitusvälikkeitä vasten. Kuvassa 4 nähdään gravitaatioperustuksen lopullinen muottikokonaisuus.

2.4.2 Raudoitus

Tuulivoimalaperustuksen raudoitus on monimutkainen ja laaja kokonaisuus. Raudoituksen tarkoituksena on betonirakenteiden vahvistaminen muodonmuutoksia ja rasituksia vastaan (Nord Raudoitus, i.a.). Raudoitus vahvistaa huomattavasti betonin rakennetta ja lisää sen vetomurtumalujuutta, mikä betonilla on luontaisesti heikko. Raudoituksella on huomattava hyöty myös vaakasuoraan lujuuteen, koska se ehkäisee huomattavasti betonin kutistumis- halkeilua.

Raudoituksella on merkittävä vaikutus koko betonirakenteiden toimivuuden kannalta, joten sen toteuttaminen on äärimmäisen tärkeä asia (Nord Raudoitus, i.a.). Pakollista on myös, että tarvittavat raudoitustarkastukset suoritetaan raudoitukselle ennen betonin valua, koska se lisää huomattavasti laadunvarmistusta. Raudoituksessa esiintyneet virheet saadaan korjatuksi ennen betonointia. Kuvassa 3 on valmis gravitaatioperustuksen raudoitus.



Kuva 3. Gravitaatioperustuksen raudoitus.

2.4.3 Betonointi

Ennen kuin betonointi aloitetaan, on syytä öljytä muottipinnat huolellisesti (Palolahti, 2011, s. 25). Betonin pudotuskorkeus on tärkeää huomioida betonoidessa, jotta vesi ja kiviainesrakeet eivät erottuisi massasta perustuksia betonoidessa. Massan pudotuskorkeus saa olla enintään 1,5 metriä. Tämän takia on tärkeää, että perustuksille tehdään raudoituksen aikana valuuaukkoja, joista päästään betonoimaan perustus laadullisesti oikein. Tyypillisen valuuaukon koko on noin 150–170 millimetriä, riippuen pumppuauton letkun koosta. Betonoidessa on erittäin tärkeää, että se suoritetaan laadullisesti oikein (Palolahti, 2011, s. 25). Esimerkiksi massaa ei saa valuttaa muottiseinämaa pitkin, eikä seinämaa sitä vasten. Kuvassa 4 suoritetaan gravitaatioperustuksen betonointia.



Kuva 4. Gravitaatioperustuksen betonointi (KSBR, i.a.).

Betonin tiivistämisen tarkoituksena on poistaa massasta ylimääräinen ilma, saada runkoainerakeet hakeutumaan lähemmäksi toisiaan, saada terästen ympärille betonia sekä saada muotti täytettyä kokonaisuudessaan betonilla (Palolahti, 2011, s. 25). Sauvatäryttimen oikeanlaisen käytön merkitys korostuu, kun betonimassaa tiivistetään. Sauvatäryttimen täytyy antaa painua omalla painollaan betonimassaan, noin 100–150 mm edelliseen valukerrokseen asti, eikä sitä saa nostaa nopeasti takaisin ylös, että sauvatäryttimen tekemä kolo ehtii täyttyä umpeen asti.

Raudoitusta ei saa täryttää, koska on tärkeää, että raudoituksen asema ei pääsisi muuttumaan kesken tiivistysprosessin (Palolahti, 2011, s. 25). Tämän takia raudoituksen päällä ylimääräistä kävelyä tulee myös välttää. On myös tärkeää huomioida raudoituksen huolellinen ja riittävä kiinnitys, ettei betonista tuleva paine pääse irrottamaan raudoituksia toisistaan. Opinnäytetyöntekijä on huomannut, että varsinkin riittävä kiinnitys on tärkeässä asemassa, että rauditus onnistuu laadullisesti oikein.

2.4.4 Jälkihoito

Jotta betonoinnista saadaan aikaan laadukas lopputulos, jälkihoidolla on suuri merkitys laadukkaan tuotteen aikaansaamiseksi. Jälkihoidolla tarkoitetaan betonin suojaamista

suunniteltujen ominaisuuksien saavuttamisen varmistamiseksi (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 341). Jokainen jälkihoito on erilainen, koska betonirakenteet ovat erityyppisiä ja tarvitsevat omanlaisensa toimenpiteet jälkihoidon osalta. Massiivisissa betonirakenteissa, eli tuulivoimalaperustuksissa jälkihoidolla pyritään esimerkiksi rajoittamaan suuria lämpötilaeroja valetun rakenteen poikkileikkauksessa (mts. 341).

Jälkihoidolla pyritään saavuttamaan olosuhteet, missä valettu betonirakenne pääsee moitteettomasti kovettumaan, minkä myötä saavutetaan suunniteltu loppulujuus ja muut tavoitteet, jotka betonirakenteelle on määritelty (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 342). Jälkihoitoon kuuluu betonoidun rakenteen suojaaminen luonnossa syntyviltä olosuhteita vastaan. Näitä olosuhteita ovat esimerkiksi auringonpaiste, sade, tuuli ja virtaava vesi.

Suojaaminen estää ulkoiset hättävähäikutukset sekä myös betonirakenteen liian nopean veden haihtumisen. Suojaamiseen voidaan käyttää esimerkiksi muovikalvoa, peitteitä, ruiskutettavaa jälkihoitoainetta sekä muottia (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 343). Opinnäytetyöntekijä on huomannut, että tuulivoimalan perustuksissa käytetään yleensä suojaamiseen peitteitä ja ruiskutettavaa jälkihoitoainetta. Kuvassa 5 on käytetty kallioankkuriperustuksen suojaamiseen peitettä ja ruiskutettavaa jälkihoitoainetta.



Kuva 5. Kallioankkuriperustus suojattu peitteellä.

3 DIGITAALISET MITTAUSLAITTEET JA LAADUNVARMISTUS

3.1 Betonirakenteiden laadunvarmistus

Betonirakentamisessa laadunvarmistus on tärkeässä roolissa, kun tavoitteena on valmistaa laadullisesti korkealuokkaisia rakenteita. Laadunvarmistus on erilaisten toimenpiteiden muodostama prosessi, jonka tarkoituksena on saada aikaan, että tuote tai palvelu täyttää sille asetetut laatuvaatimukset (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 177). Laadunvarmistuksen tavoitteena on myös löytää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa poikkeamat, ettei niitä pääsisi syntymään, ja ehkäistä niitä. Laadunvarmistuksen tavoitteena on myös varmistaa, että informaatio ja laatuvaatimukset kulkevat eri osapuolten välillä systemaattisesti ja moitteettomasti. Laadunvarmistukseen liittyy myös laaduntarkastus, mikä tarkoittaa laadun vertaamista ja mittaamista sovitettuihin tai asetettuihin vaatimuksiin ja suunnitelmiin.

Laadunvalvonta on yksi merkittävä osa laadunvarmistusta, koska sen avulla on mahdollista saada laadunvarmistusta paremmaksi. Laadunvalvonta on yhteisnimitys erilaisille laaduntarkastustoimenpiteille, joiden tarkoituksena on pyrkiä havaitsemaan esimerkiksi tuotteissa esiintyvät laatupoikkeamat, sekä poistamaan toleranssit ylittävät tuotteet valmistuksesta (Suomen Betoniyhdistys, 2018, s. 178). Laadunvalvonta on tärkeässä asemassa paikallavalettavien betonirakenteiden laadunvarmistuksessa, ettei mahdollisesti huonolaatuiset tuotteet päätyisi tilaajalle asti. Tässä opinnäytetyöprojektissä tuotteena toimii tuulivoimaloiden perustukset.

3.2 Digitalisaatio

Digitalisaation avulla pystyy yritys Joensuu-Salon (2019, s. 20) mukaan huomattavasti parantamaan omaa laatuaan ja parantamaan prosessejaan omassa toiminnassaan. Hän korostaa, että pitkällä aikavälillä yritykset, jotka ovat panostaneet digitalisaation hyödyntämiseen, ovat huomanneet positiivisia vaikutuksia yrityksen maineeseen ja imagoon. Tämä on tuonut yritykselle myös uusia asiakkaita ja projekteja. Hänen mukaansa yritykset, jotka eivät osaa hyödyntää digitalisaatiota omassa toiminnassaan, saattavat näyttäytyä asiakkaiden silmissä paikalleen jääneiltä ja tämän myötä saattaa merkittävät asiakassuhteet jäädä saavuttamatta.

Opinnäytetyön tekijän mielestä digitalisaation hyödyntäminen on yksi keskeisimmistä tavoitteista, joihin yritysten kannattaisi panostaa omassa toiminnassaan, kun otetaan huomioon, mitä hyötyä siitä on yrityksille. Yrityksen menestymisen kannalta on tärkeää, että asiakkaat pystyvät luottamaan yritykseen. Yritys, johon asiakkaat eivät pysty luottamaan, ei ole kovin kestävällä pohjalla ja merkittävät asiakassuhteet voivat jäädä kokonaan pois.

Digitalisaatiota pystytään Ilmarisen ja Koskelan (2015, s. 31–32) mukaan hyödyntämään yrityksen kasvunäkymien parantamiseksi. Heidän mukaansa yritykset pystyvät digitalisaation avulla esimerkiksi kasvattamaan kannattavuuttaan sekä myös parantamaan yrityksen tehokkuutta. Aineistojen vertaileminen osoittaa, että digitalisaatio on yrityksille tärkeässä roolissa, kun tavoitellaan kannattavuudella mitattuna yrityksen toiminnan eteenpäin viemistä ja kehittämistä entisestään paremmaksi.

Digitalisaatio tarjoaa pienille ja keskisuurille yrityksille suuren mahdollisuuden rakentaa omaa kilpailuetua verrattuna muihin kilpailijoihin (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2014, s. 18). Digitalisaation avulla pystytään tiedon hyödyntämiseen ja jalostamiseen uusin tavoin. Digitalisaation avulla yritykset pystyvät monipuolisesti kilpailemaan kansainvälisillä markkinoilla, kun digitalisaatio ja siihen liittyvät teknologiat mahdollistavat tämän sijainnista riippumatta. Digitalisaation merkitys on nykyisin valtava nykypäivänä, koska se lisää mahdollisuuksia kehittää yritystä paremmaksi ja tunnetummaksi kotimaassa, sekä ulkomailla.

3.3 Korkean tarkkuuden AR-järjestelmä Sitevision

Sitevision on erittäin tarkka AR-järjestelmä ulkokäyttöön (Trimble® SiteVision™, 2020, s. 1). Laitteen avulla on mahdollista tarkastella tehtyjä tietomalliaineistoja todellisessa maailmassa. Laitteen avulla voidaan myös visualisoida ja mitata sijainteja käyttäen GNSS-järjestelmää tai lasermittausmenetelmää. Laitteen avulla myös esimerkiksi suunnittelu, valvonta, projektin johto ja urakoitsija hyötyvät laitteen monipuolisuuden tarjoamista eduista. Laitteen avulla työkohteen havainnollisuus paranee ja lisää tuottavuutta.

Sitevisionia on mahdollista käyttää monenlaisissa erilaisissa tilanteissa ja kohteissa. Laadunvarmistuksen tasoa pystytään nostamaan Sitevisionin avulla korkeammalle ja

sujuvoittaa projektia huomattavasti positiivisempaan suuntaan. Seuraavassa on kerrottu mahdollisia Sitevisionin käyttökohteita.

Esimerkkejä Sitevisionin käyttökohteista (Trimble® SiteVision™, 2020, s. 2) ovat:

- alustavien suunnitelmien tarkastaminen valmiissa oikeassa ympäristössä
- pystytään tutkimaan mitä on esimerkiksi maapinnan alla
- suunnitelmien ja piirrosten kommunikointi
- rakennusvirheiden ja turvallisuuteen liittyvien vaaratilanteiden minimointi
- 3D-visualisoinnin hyödyntäminen
- reaaliajassa kommunikointi
- muistiinpanojen luonti ja tehtävien määrittäminen esimerkiksi suunnittelutiimille.

Opinnäytetyöprojektissa kokeiltiin Sitevisionia perustuksen tarkastamiseen. Tavoitteena oli digitaalisen mittauslaitteen avulla tarkistaa, mihin tulevan voimalan paikka asettuu, minne suuntaan kaapeliputket sijoittuvat, sekä mihin paikkaan kaivannon luiska asettuu. Samalla selvitettiin, oliko Infrakit-malleissa ollut virheitä, joiden myötä esimerkiksi kaivuutyö ei olisi onnistunut täydellisesti. Sitevisionin avulla on mahdollista huomata virheitä, jos niitä työn aikana on tullut. Tämän myötä laadunvarmistus kehittyy paremmaksi.

Ensimmäisenä selvitettiin perustuksen sijainti suhteessa Sitevisionin malliin. Kuvassa 6 nähdään, että perustus on hyvin sijoittunut suunnitelmien mukaan maastoon, eikä ongelmia ole tulossa perustuksen sijainnin takia. Kaivuutyö oli onnistunut laadullisesti hienosti.



Kuva 6. Perustuksen sijainti Sitevisionissa.

Seuraavana tarkastettiin perustuksen luiskan paikka suhteessa Sitevisionissa olleeseen malliin. Kuvassa 7 nähdään luiskan olevan suhteellisen oikeassa paikassa, mutta hiukan leveämpänä mitä mallissa oli määritetty. Tämän havainnon perusteella kaivinkoneenkuljettaja sai työtehtäväksi korjata luiskaa kapeammaksi samalla tavalla kuin se oli Sitevisionissa määritetty.



Kuva 7. Perustuksen luiska Sitevisionissa.

Viimeisenä tarkastettiin varausputkien paikka suhteessa malliin. Kuvassa 8 nähdään, että kolme isoa pääputkea sijoittuivat oikein kahden punaisen viivan keskelle, mikä tarkoittaa sitä, että putket olivat oikeassa paikassa ja putkiin laitettavat sähkövedot tulevat onnistumaan laadullisesti oikein.



Kuva 8. Varausputkien sijainti Sitevisionissa.

Putkien sijainnilla on suuri merkitys myös perustuksen päällä. Sähkökaapelit vedetään tarkasti merkittyihin paikkoihin voimalan sisällä sijaitsevaan kojeistoon. Sitevisionin avulla on mahdollista huomata myös tällaiset mahdolliset poikkeamat ja virheet saadaan korjatuksi ennen betonointia.

3.4 Etäluettava lämpötilan seurantalaitte Sigfox Connected TempGuard R3

Connected TempGuard on Sigfox-verkkoyhteydellä varustettu lämpömittari, jossa on kaksi kappaletta ulkoista lämpötila-anturia, sekä yksi sisäinen anturi (Connected Finland, i.a.). Se on tarkoitettu vaativimpiin ympäristöolosuhteisiin. Connected TempGuard R3 anturien ansioista niillä voidaan mitata esimerkiksi betonin lämpötilaa, jonka myötä on mahdollista toteuttaa betonin lämmönkehityskäyrä, jonka avulla voidaan arvioida betonin lujuudenkehitystä. Laitte mittaa myös ilman lämpötilaa.

TempGuard on helppo asentaa, koska se ei vaadi erillistä internetyhteyttä tai verkkovirtaa lainkaan (Connected Finland, i.a.). Maailmanlaajuisen Sigfox-verkkoteknologian ansiosta laitteella on erittäin halvat käyttökustannukset ja se on huoltovapaa ratkaisu. Kuvassa 9 on Connected TempGuard R3.



Kuva 9. Connected TempGuard R3.

Projektissa toteutettiin lämpötilanseurantamittaus gravitaatioperustukselle ja kallioankkuri-perustukselle. Tarkoituksena oli saada selville, kuinka perustuksen lämpötilankehitys oli lähtenyt kohoamaan ja että lämpötila pysyy kontrollissa. Lämpötilanseurannan myötä saavutettujen lämpötila-arvojen avulla pystyttiin toteuttamaan lämpötilankehityskäyrä, jolla saatiin selvyyttä, oliko perustus laadullisesti onnistunut ja olivatko lämpötilat normaalien arvojen sisällä.

Laadunhallinnan kannalta oli tärkeää tietää, kuinka yrityksen itse valmistettujen perustusten lujuudenkehitys oli alkanut vahvistumaan, joten sen varmistamiseksi ja todentamiseksi mittauksia suoritettiin perustuksille.

Ensimmäinen mittaus toteutettiin gravitaatioperustukselle. Mittausajankohta oli 22.6.2022–23.6.2022 ja mittausajanjakso oli noin 21 tuntia. Perustukseen asennettiin lämpötila-anturit kahteen eri syvyyteen. Toinen antureista tuli lähelle betonipintaa ja toinen anturi noin 400 millimetriä syvemmälle perustuksen sisälle. Kyseinen mittalaitteisto vaati toimiakseen myös mikrotukiaseman, koska yhteydet lähimpiin mastoihin olivat monia kymmeniä kilometrejä ja yhteydet olivat heikkoja. Mikrotukiasema vahvisti signaalin voimakkuutta huomattavasti paremmaksi ja mittaus pystyttiin toteuttamaan. Mikrotukiasema näkyy kuvassa 10.



Kuva 10. Mikrotukiasema.

Lämpötila oli mittauksen aloitushetkellä noin 22–23 astetta. Lämmönkehitys lähti nousemaan rauhalliseen tahtiin ylöspäin saavuttaen noin 0,8 astetta tunnissa. Puolessa välin mittausta, eli noin 10 tuntia mittauksen aloituksesta, lämpötila oli saavuttanut noin 31–32

astetta. Mittaus lopetettiin noin 21 tunnin päästä aloituksesta, ja lämpötila oli kohonnut 38–39 asteeseen. Kuviossa 2 nähdään lämmönkehityskäyrä.

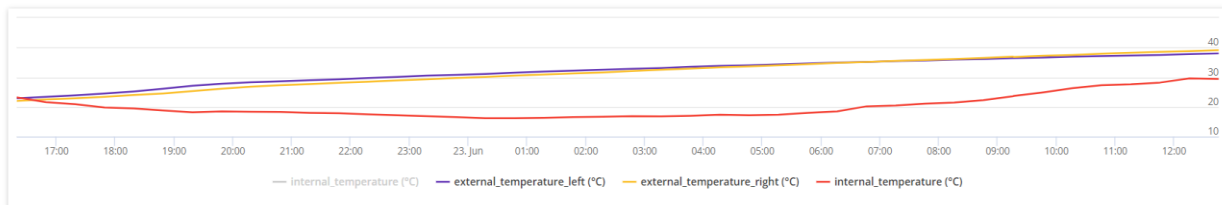
00BE7C35 Louhukangas T10

MUOKKAA MITTARIPOHJAA VIE DATA HÄLYTYKSET TAG

VIIM. KUUKAUSI VIIM. VIIKKO VIIM. 24H

Alkuaika: 2022-06-22

Loppuaika: 2022-06-25



Viimeisimmät observaatiot

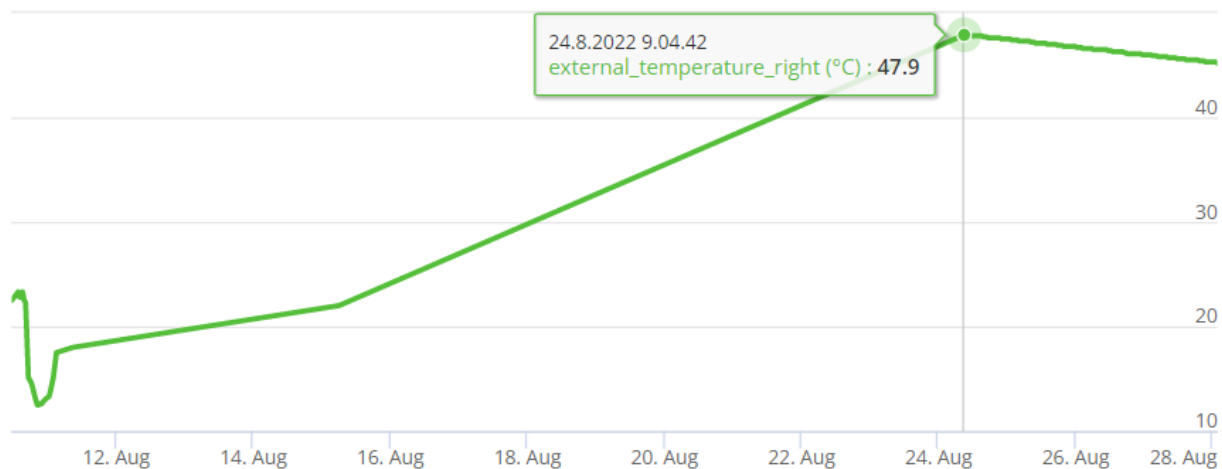
Tyyppi	Viimeisin arvo	Aikaleima
external_temperature_left	38,000 °C	23.6.2022 klo 12.45.30
external_temperature_right	39,100 °C	23.6.2022 klo 12.45.30
internal_temperature	29,400 °C	23.6.2022 klo 12.45.30

Kuvio 2. Lämmönkehityskäyrä.

Toinen lämpötilamittaus toteutettiin kallioankkuriperustukselle. Mittausajankohta oli 10.8.2022–28.8.2022 eli yhdeksäntoista vuorokautta. Oikeanpuoleinen lämpötila-anturi asetettiin 400 millimetriä syväälle sisään perustuksen yläpinnasta mitattuna. Kuviossa 3 nähdään oikeanpuoleisen lämpötila-anturin lämmönkehityskäyrä. Kuviossa nähdään, että lämpötila oli lähtenyt betonoinnin jälkeen rauhallisesti kehittymään ja lämpöhuippu 47,9 astetta oli saavutettu 24.8.2022, jonka jälkeen lämpötila oli alkanut tasaisesti laskemaan perustuksessa.

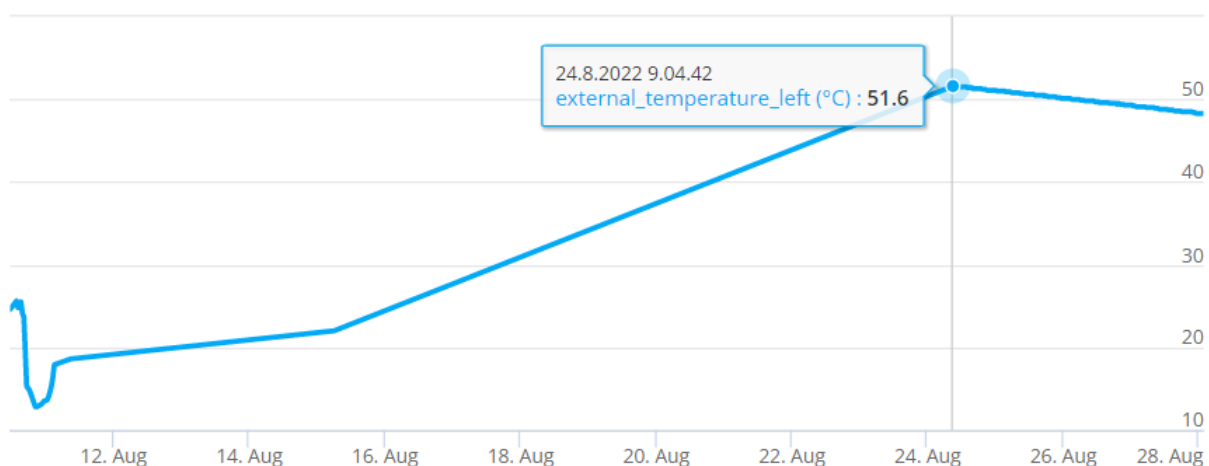
Vasemmanpuoleinen lämpötila-anturi asetettiin lähelle perustuksen yläpintaa. Kuviossa 4 nähdään lämmönkehityskäyrä vasemmanpuoleisessa lämpötila-anturissa. Kuvioista pystytään näkemään, että perustuksen lämmönkehitys oli tasaisesti noussut betonoinnin jälkeen saavuttaen lämpötilahuipun 24.8.2022, jonka jälkeen lämpötila oli alkanut tasaantumaan rauhallisesti.

MSY10 00BEE065 - external_temperature_right



Kuvio 3. Lämmönkehityskäyrä, syvyys 400 mm.

MSY10 00BEE065 - external_temperature_left



Kuvio 4. Lämmönkehityskäyrä lähellä perustuksen pintaa.

Lämpötilan seurantalaitteen avulla pystyttiin mittaamaan perustusten lämpötiloja laadukkaasti. Mittauslaitteen käytännöllisyys huomattiin mittausprojektin aikana verrattuna perinteisiin loggereihin. Etäluettavan mittauslaitteen avulla perustusten lämpötilat tallentuivat suoraan järjestelmään talteen, kun taas perinteisimmillä loggereilla ei saada varmuutta edes siihen, toimivatko kyseiset mittauslaitteet ollenkaan. Connected TempGuard R3 -

laitteen avulla oli mahdollista nopeammin reagoida perustuksen lämpötilan vaihteluihin, koska tulokset olivat luettavissa suoraan FoverloT-sivulta.

FoverloT-alustan avulla mittaustuloksia pystyi helposti lukemaan ja samaan aikaan vertailemaan muitakin mittauspisteitä. FoverloT näkymässä oli esimerkiksi mahdollista jakaa mittaustuloksia omiin ryhmiinsä tai voimalapaikkojen mukaan. Alustan kautta oli myös mahdollista asettaa seurantalaitteisiin hälytyksiä, jotka varoittivat lämpötilan liian suuresta kohoamisesta.

3.5 Perustusten laserkeilaus Leica Nova MS60 MultiStation -laitteella

Leica Nova MS60 MultiStation on maailman ensimmäinen itseoppiva MultiStation, jossa yhdistyvät takymetritoiminnot, 3D-laserskannaus, GNSS-yhteys ja digitaalinen kuvaus (Leica Geosystems, i.a.). Kuvassa 11 on Leica Nova MS60 MultiStation.



Kuva 11. Leica Nova MS60 MultiStation.

Leica Nova MS60 on monipuolinen laite, jota pystytään käyttämään erilaisissa tilanteissa työmailla (Leica Geosystems, i.a.). Laitteella on mahdollista lisätä laadunvarmistusta paremmaksi, koska laite on erittäin monipuolinen ja sillä on lukuisia käyttömahdollisuuksia. Seuraavassa on kerrottu mahdollisia käyttökohteita.

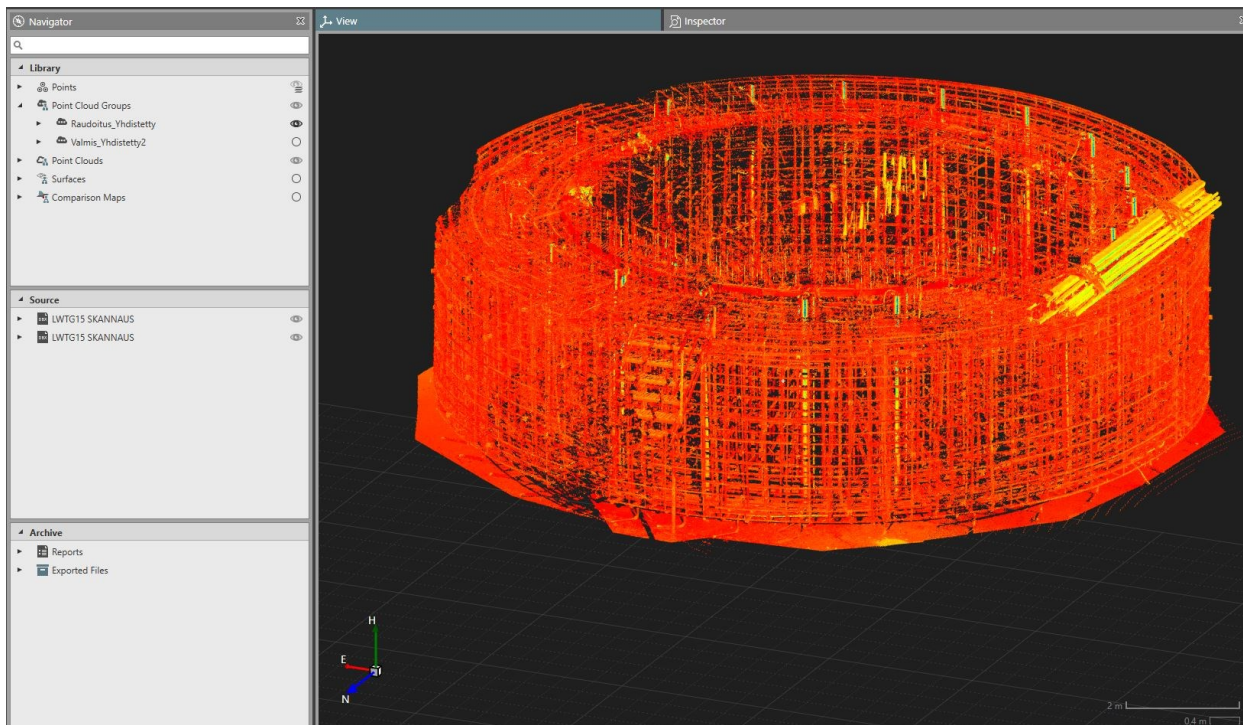
Leica Nova MS60 MultiStation sopii esimerkiksi seuraaviin kohteisiin (Leica Geosystems, i.a.):

- pinnat ja tilavuudet
- monimutkaisten rakenteiden ja kohteiden analyysit
- rakennusten ja rakenteiden mittaukset
- julkisivut, korotukset ja kulttuuriperinnöt
- perinteiset topografiset mittaukset
- maan pintojen ja rakenteiden muodonmuutosvalvonta.

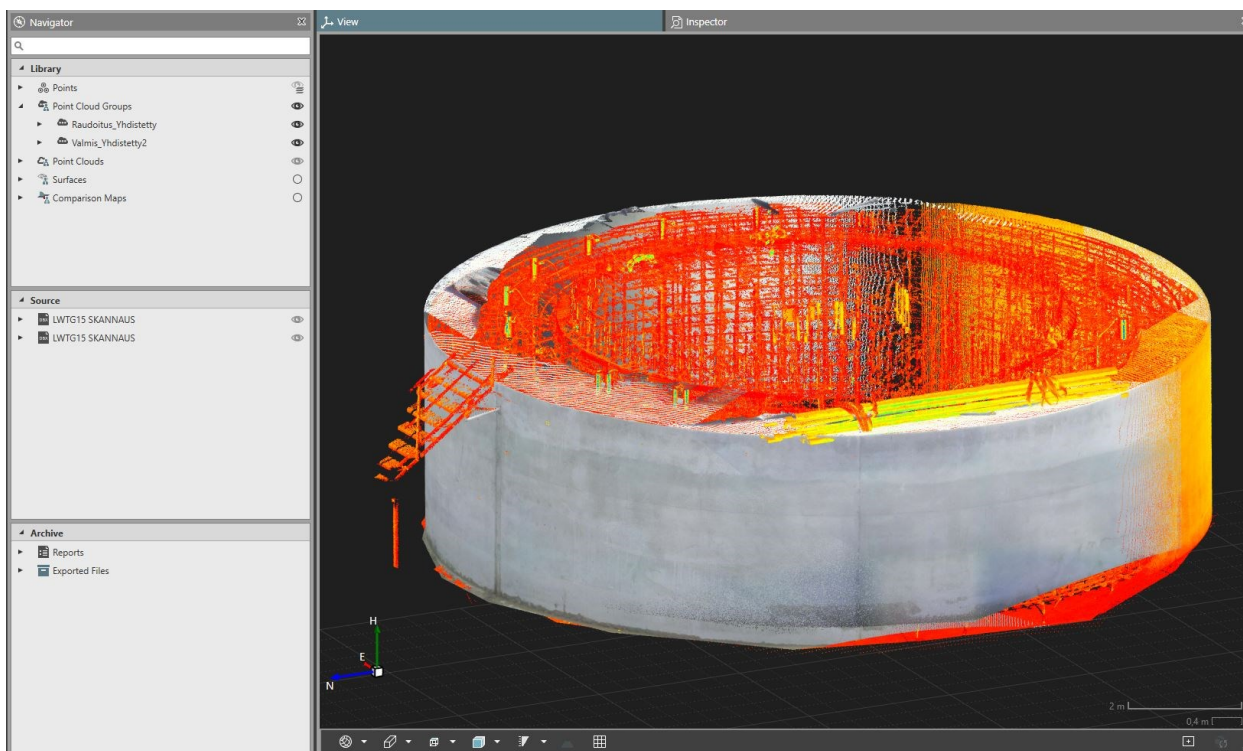
Uutena innovaationa KSBR halusi toteuttaa raudoituksille laserkeilauksen, mikä mahdollisesti parantaa varsinkin laadunvarmistuksen näkökulmasta asioita entisestään. Tavoitteena oli testata, miten laserkeilaus tulee käytännössä toimimaan, jos raudoituksia tarkastetaan uuden menetelmän avulla. Samalla oli mahdollista kokeilla laitetta käytännössä ja nähdään, sopiiko laite käytännön mittauksiin.

Laserkeilaus suoritettiin kallioankkuriperustukselle. Mittaus suoritettiin neljästä eri paikasta ympäribetonoidusta perustuksesta. Laserskannaus suoritettiin perustukselle hyvässä säässä, ja ilman lämpötila oli +10 astetta. Perustuksesta mitattu pistemäärä oli yhteensä noin 2,8 miljoonaa, millä saatiin luotua suhteellisen selvä kuva. Yhden laserskannauksen pistemäärä oli noin 700000. Mittaus suoritettiin 4 millimetrin ruudukolla, ja laserkeilauksessa kului aikaa noin 80 minuuttia. Pääsääntöisesti voidaan todeta, että mitä pienemmällä ruudukolla mitataan, sitä tarkempi ja aikaavievämpi mittaus on.

Kuviossa 5 ja 6 näkyy valmis laserkeilattu kuva eri tasoissa. Kuva tuotiin Leica Infinity -ohjelmaan. Ohjelman avulla kuvia pystyi esimerkiksi liikuttelemaan ja suorittamaan mittauksia. Ohjelmassa pystyi määrittämään tasoja, eli pystyttiin esimerkiksi laittamaan pelkästään näkyviin betonipinta tai raudoitus. Seuraavissa kuvissa erottuu myös perustuksen päällä oleva lankkunippu sekä perustukselta lähtevät portaat.



Kuvio 5. Laserkeilattu raudoitus.



Kuvio 6. Laserkeilattu raudoitus ja betoni.

Laserkeilauksen avulla pystytään tulevaisuudessa tarkistamaan tarvittaessa myöhemmin raudoitusta sekä myös betonipintaa. Mittauslaitteen avulla pystytään myöhemmin osoittamaan esimerkiksi betonipinnan paksuus, mikä on erittäin tärkeä asia betonirakentamisessa. Laadunvarmistuksen taso parani huomattavasti paremmaksi. Raudoituksen tarkastaminen myöhemmin olisi erittäin haastavaa, kun perustus on betonoitu, mutta Leica Nova MS60 MultiStationin avulla se onnistui nyt huomattavasti helpommin, kuin ennen ilman mittauslaitetta.

3.6 Tarkepisteiden mittaus Leica iCON gps 60 -laitteella

Leica iCON gps 60-vastaanotin yhdessä Leica iCON -kenttäratkaisun kanssa on laite, jolla pystyy tekemään asemointitehtäviä rakennustyömaalla (Leica Geosystems, i.a.). GNSS-tekniikan avulla laite on erittäin tarkka ja sillä pystyy suorittamaan luotettavia paikannustehtäviä paikan päällä nopeammin. Laite on suunniteltu myös hankaliin olosuhteisiin, joten se on erittäin kestävä. Kuvassa 12 näkyy Leica iCON gps 60.



Kuva 12. Leica iCON gps 60.

Tässä opinnäytetyöprojektissä tavoitteena oli kokeilla, pystyykö Leica iCON gps 60 -laitteen avulla tekemään tulevalle perustukselle mittauksia ja merkkauksia, mikä nopeuttaisi työntekoa ja parantaisi laadunvarmistusta. Opinnäytetyössä suoritettiin kaksi erilaista mitausta.

Ensimmäisenä mitattiin tulevan kallioankkuriperustuksen tarkepisteet. Mittauksen avulla voidaan myöhemmin esimerkiksi tarkastaa, kuinka paljon betonia oli mennyt työlaatan betonointiin, kun valmiista betonipinnasta otetaan myöhemmin uudet tarkepisteet.



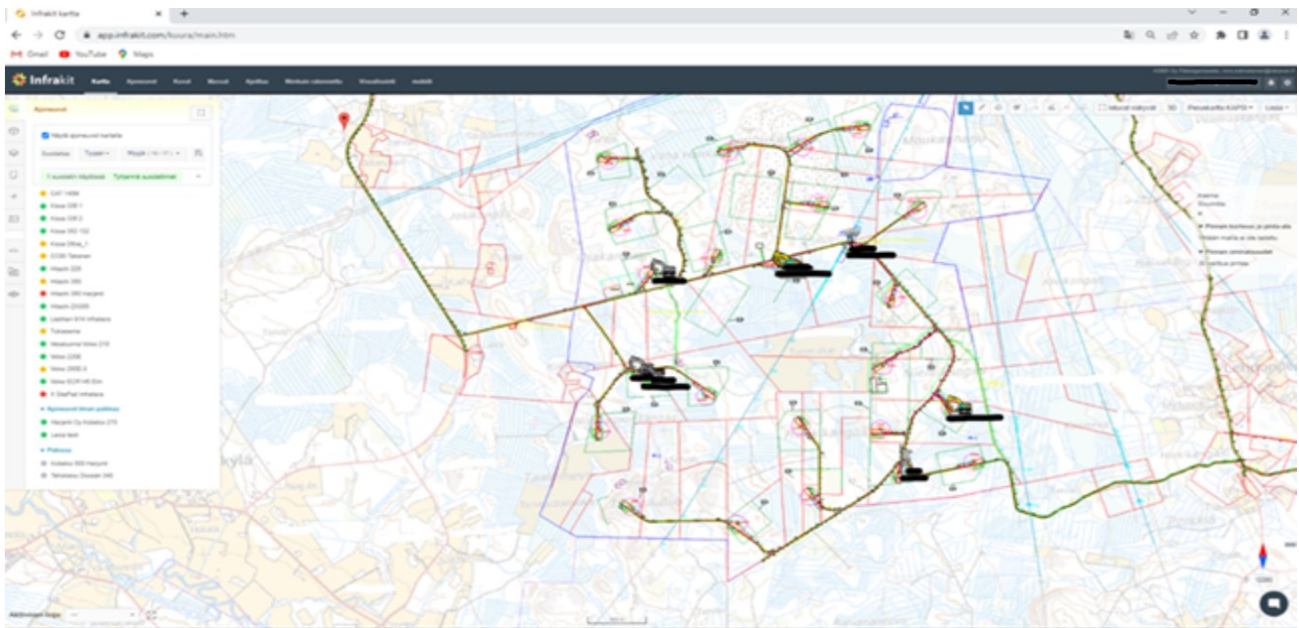
Kuva 13. Korotusvaluun tehdyt merkinnät.

Mittaukset onnistuivat hienosti ja laadunvarmistuksen kannalta päästiin huomattavasti eteenpäin. Leica iCON gps 60 -laitteen avulla esimerkiksi raudoitustyöt nopeutuvat tulevaisuudessa, koska tarpeellisten merkintöjen merkitsemiseen ei mene enää niin paljon aikaa, kuin ennen. Mittauslaitteella pystyttiin myös laadukkaammin mittaamaan pisteet oikeisiin kohtiin ja näin laadunvarmistuksemme kehittyi huomattavasti paremmaksi.

3.7 Infrakit

Infrakit on helppokäyttöinen tiedonhallintaratkaisu, jonka ansiosta informaatio on infraprojektin kaikkien toimijoiden käytössä helposti ja nopeasti (Infrakit, i.a.). Nopeaa tiedonkulkua tilaajan, suunnittelijoiden ja rakentajien välillä vauhdittavat avoimet tiedonsiirtoformaatit ja pilviteknologia.

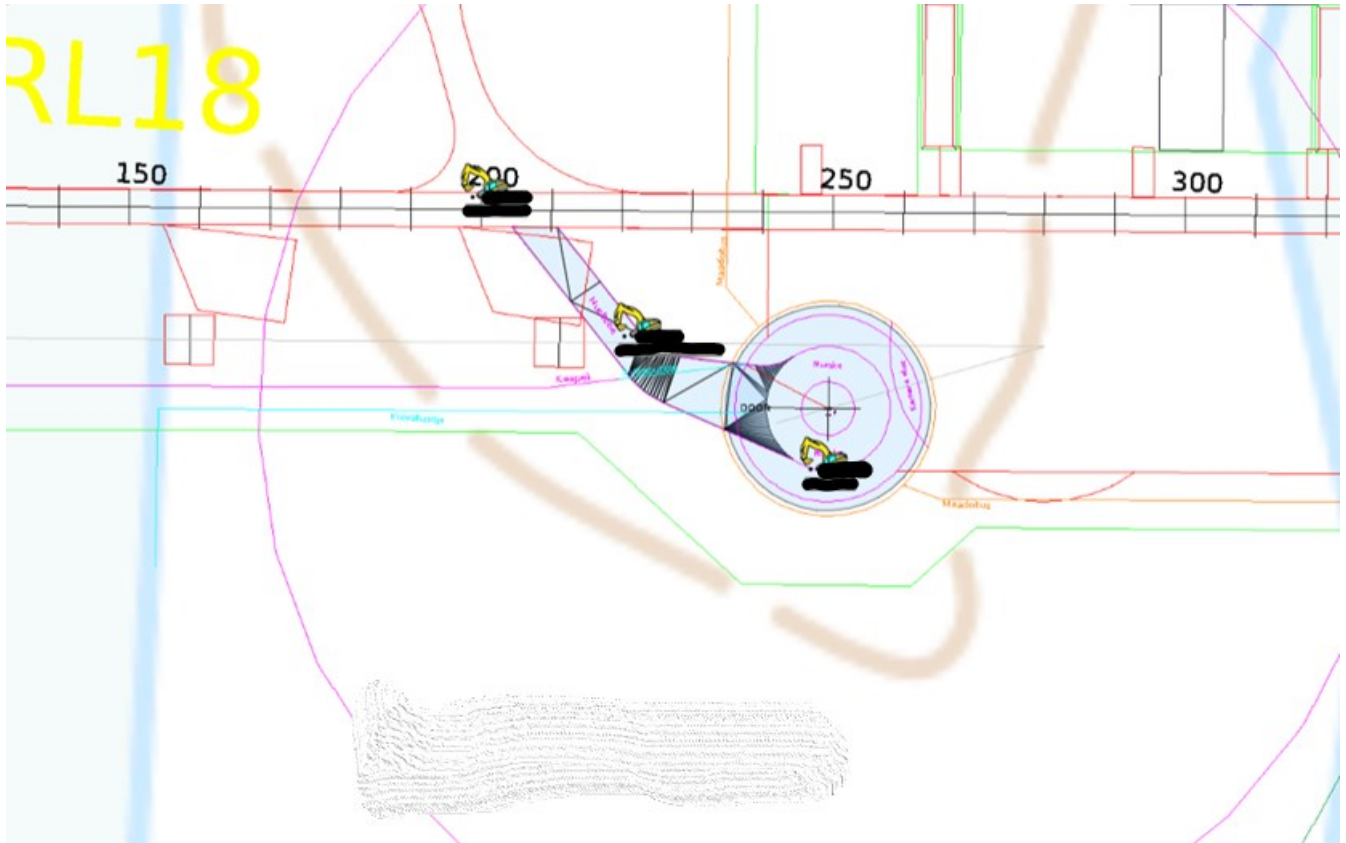
Infrakit-ohjelmiston avulla pystyttiin seuraamaan tehokkaasti, missä esimerkiksi työkoneet sijaitsivat työmaalla. Se helpotti yleiskuvan hahmottamista merkittävästi, koska koneita oli paljon käytössä samaan aikaan työmaalla. Projektista sai tarkan tilannekuvan määritettyä, koska kaikki projektin tiedot olivat 3D-näkymässä ja kartalla. Ohjelmistoon oli mahdollista myös lisätä käyttäjien ottamia valokuvia, joiden avulla pystyttiin paremmin perillä työmaalla tapahtuvista asioista. Tämä lisäsi huomattavasti laadunvarmistusta. Kuviossa 8 on Infrakit-karttanäkymä.



Kuvio 8. Infrakit-karttanäkymä.

Infrakit-ohjelmiston avulla pystyttiin näkemään myös koneisiin liittyviä tietoja. Esimerkiksi voitiin selvittää, mitä reittejä kone oli ajanut, paljonko kilometrejä oli tullut mittariin, koneen työskentelyaika, sekä mitä työtä koneenkuljettaja oli tehnyt.

Infrakit-ohjelmistoon oli mahdollista lisätä myös käyttäjien luomia malleja. Esimerkkejä ovat pintamallit, kulutusmalli, huoltotiemalli ja kaivuumalli. Kuviossa 9 on karttanäkymä ja apumallit. Ohjelmiston avulla olisi mahdollista luoda myös leikkauskuvia esimerkiksi perustuskuopasta ja lisätä siihen mittamiehen mittaamat tarkepisteet.



Kuvio 9. Karttanäkymä ja siihen lisätyt apumallit.

3.8 Vaisala RoadAI Map

Vaisala RoadAI-tiedonkeruusovellus on osa RoadAI-alustaa, joka tarjoaa ratkaisuja vaikeimpiin organisaatioiden kohtaamiin haasteisiin, jotka liittyvät infrastruktuurin hallintaan, toiminnan tehokkuuteen sekä tienkunnon parantamiseen ja ylläpitämiseen. (Vaisala RoadAI, 2022).

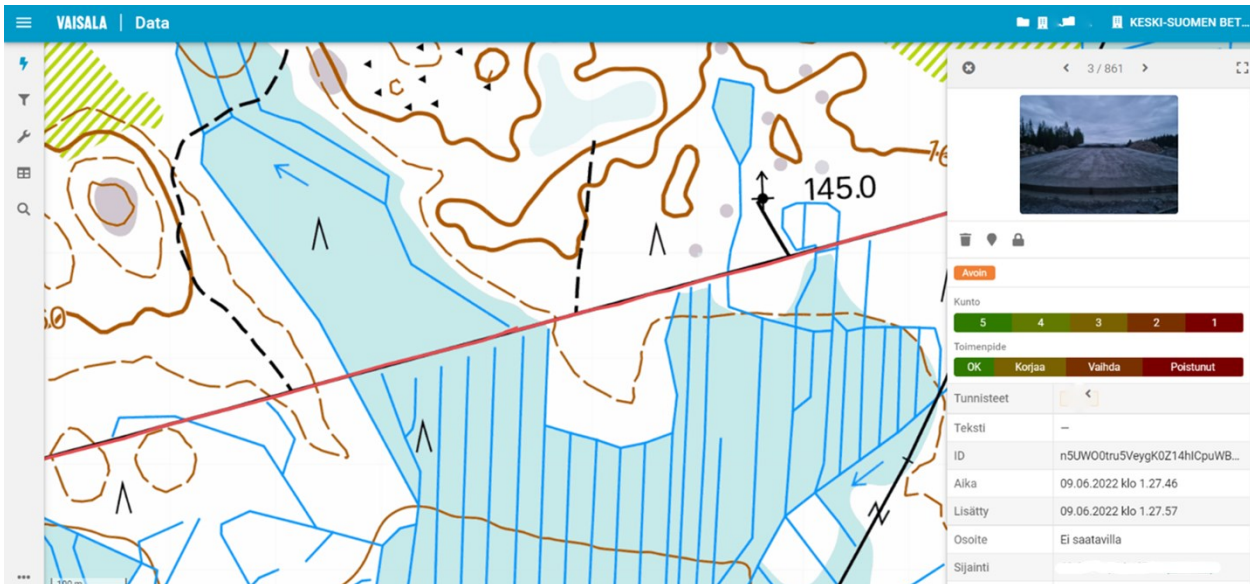
RoadAI tarjoaa yksinkertaisen ja kustannustehokkaan ratkaisun ajantasaisen laadukkaan GIS-tiedon hankkimiseksi tieverkkojen suunnittelun ja ylläpidon tukemiseksi sekä tien vikojen, omaisuuden ja olosuhteiden ennaltaehkäisevän hoidon arvioimiseksi ja koordinoimiseksi (Vaisala RoadAI, 2022).

Tässä opinnäytetyössä käytettiin Vaisala RoadAI Map -ohjelmaa laadunvarmistuksen kehittämiseen. Vaisala RoadAI Map -ohjelman avulla pystyttiin esimerkiksi kuvaamaan tietöä ja työvaiheita. Kuvien avulla nähtiin mitä työmaalla tapahtui milloinkin. Työmaalla

otettavat kuvat ja videot siirtyivät automaattisesti Vaisalan pilvipalveluun, mistä niitä pystyttiin katsomaan verkkoselaimella ja mobiiliversiossa. Kuvien ja videoiden yhteyteen pystyttiin määrittämään esimerkiksi paikka ja aika.

Vaisala RoadAI Map -ohjelmaa pystyttiin hyödyntämään laadunvarmistuksen näkökulmasta katsottuna, sekä myös kustannusten säästymisen näkökulmasta. Vaisala RoadAI Map kasvatti työmaaolosuhteissa laadunvarmistusta, koska digitalisaation avulla pystyttiin tallentamaan kuvia pilvipalveluun ja tarkastelemaan niitä myöhemmin tarvittaessa. Kustannusten säästymisen näkökulmasta Vaisala RoadAI Map -ohjelman avulla pystyttiin esimerkiksi katsomaan, mitä työmaalla oli tapahtunut kuvan tai videon ottamisen hetkellä eikä asiaa tarvinnut mennä katsomaan paikan päälle. Työmaa-ajoa saatiin näin optimoitua, säästöä polttoainekustannuksiin ja ympäristöpäästöt saatiin minimoitua.

Vaisala RoadAI Map -ohjelmassa oli myös karttapalvelu, josta oli mahdollista katsoa mistä esimerkiksi kuvat ja videot oli otettu. Se määritti myös automaattisesti tarkat koordinaatit sekä päivämäärät ja kellonajat. Kuviossa 10 on Vaisala RoadAI Map -karttanäkymä.



Kuvio 10. Vaisala RoadAI Map.

4 YHTEENVETO

4.1 Laadunvarmistuksellisten mittauksien haasteet

Opinnäytetyöprojektissa käytettiin monia mittalaitteita työmaaolosuhteissa. Pääsääntöisesti mittaukset sujuivat lopulta hyvin ja tuloksia pystyttiin keräämään ja hyödyntämään laadunvarmistuksen parantamiseksi. Muutamassa mittauslaitteessa oli kuitenkin haasteita, mikä vei turhaa aikaa monilta henkilöiltä, jotka ovat olleet mittauksissa mukana. Toivon, että tämän työn pohjalta tulevaisuudessa osattaisiin paremmin kiinnittää huomioita näihin kyseisiin ongelma-kohtiin ja tehtäisiin tarvittavia korjaustoimenpiteitä.

Ensimmäinen mittauslaite oli Sitevision. Haasteena kyseisessä mittauslaitteessa oli saada laitteen asetukset kohdilleen. Yhtenä ongelmana oli esimerkiksi saada kyseisen mittauslaitteen koordinaatit kohdilleen. Monta kertaa laite näytti omaksi sijainniksikseen muun paikan, kun missä se sillä hetkellä sijaitti. Toisena ongelmana oli saada laite oikeaan kookoon. Esimerkiksi laite näytti, että olet maanpinnan sisällä, vaikka olit kyseisellä mittaushetkellä maanpinnan päällä. Lopulta, kun asetukset saatiin kohdilleen tukiverkoston avulla, mittaukset sujuivat hienosti.

Toinen mittauslaite oli lämpötilan seurantalaitte Sigfox Connected TempGuard R3. Haasteena kyseisessä mittauslaitteessa oli saada se toimimaan alueella, jossa yhteydet olivat heikkoja. Opinnäytetyöntekijällä meni paljon turhaa aikaa löytää perustus, missä kyseinen mittauslaite saatiin toimimaan. Hyvin monia kertoja, kun mittauslaite vietiin perustukselle mittaamaan, tuloksia ei tullut järjestelmään ollenkaan. Ongelmaa yritettiin ratkaista mikrotukiasemaa käyttämällä, mutta senkään avulla ei joka paikasta tuloksia saatu. Täytyy myös ottaa huomioon, että mikrotukiasema vaatii toimiakseen sähköä. Kun sähköä ei ollut tarjolla, jouduttiin hankkimaan aggregaatti, jotta mikrotukiasema saatiin toimimaan. Lopulta, kun löydettiin muutama perustus, mistä mittaustuloksia saatiin, laite toimi hienosti.

4.2 Kehitysidea

Tässä opinnäytetyöprojektissa kokeiltiin neljää erilaista mittauslaitetta. Tulokset olivat erittäin lupaavia ja laadunvarmistus parantui merkittävästi. Itse jäin kuitenkin kaipaamaan

laitetta, joka voisi mahdollisesti esimerkiksi ottaa perustuksesta valokuvia ja videoita, sekä mahdollisesti korvata jonkun toisen mittauslaitteen kokonaan.

Normaalisti ensimmäisenä tulisi mieleen perinteinen videokamera tai puhelin, mutta tuuli-voimalan perustukset ovat isoja kokonaisuuksia, joten kuvien ottaminen maanpinnalla olisi haasteellista. Sitten tuli mieleen drone, jonka myötä kuvien ja videoiden ottaminen olisi kätevää yläilmoista käsin. Nykyään dronen kuva- ja videolaatu on hyvää tasoa, joten ongelmaa ei sen suhteenkaan synny.

Nykyisin markkinoilla on käytössä myös kartoitusjärjestelmiä, jotka voidaan kytkeä esimerkiksi droneen tai ajoneuvoihin. Kyseisen laitteen avulla voidaan skannata pistepilvi, jonka myötä voidaan luoda komiulotteinen kuva. Lyhyesti sanottuna kyseinen laite voisi olla laserkeilaimen ja dronen yhdistelmä.

Tämän kartoitusjärjestelmän avulla olisi mahdollista korvata Leica Nova MS60 MultiStation kokonaan ja mukaan saataisiin kuva ja videokuvauksen laadunvarmistusta parantamaan entisestään.

4.3 Johtopäätökset

Opinnäytetyöprojektissa kokeiltiin, pystyykö digitaalisia mittauslaitteita hyödyntämällä kehittämään laadunvarmistusta paremmaksi. Tulosten perusteella laadunvarmistus kehittyi huomattavasti positiivisempaan suuntaan, ja tämän myötä suosittelen yritystä ottamaan käyttöön kyseisiä mittauslaitteita.

Sitevisionista saatujen tulosten perusteella kyseinen mittauslaite oli erittäin monipuolinen laite työmaaolosuhteissa. Laitteen avulla oli mahdollista tarkastella tehtyjä työvaiheita ja puuttua virheisiin, jos niitä oli sattunut työskennellessä tulemaan. Esimerkiksi opinnäytetyössä perustuksen luiska oli kaivettu liian leveäksi ja tämä virhe huomattiin Sitevisionin avulla, minkä myötä virhe saatiin korjattua ajoissa.

Sitevisionissa huonona puolena oli asetusten saaminen kohdalleen, mutta jos siihen pystytään tulevaisuudessa varautumaan, laite on erittäin hyvä lisä laadunvarmistuksen kehittämisessä.

Connected TempGuard R3 -laitteesta saatujen tulosten myötä kyseinen mittauslaite on suositeltavaa jatkossa laittaa jokaiseen perustukseen työmaalla. Mittauslaitteen avulla nähtiin tarkasti, kuinka perustusten lämpötila oli alkanut kehittymään. Tällöin olisi ollut mahdollista tehdä tarvittavia korjaustoimenpiteitä, jos nähdään esimerkiksi, että perustuksen lämpötila olisi noussut liian korkeaksi.

Connected TempGuard R3 -laitteen huonona puolena oli, että se ei toiminut läheskään joka paikassa, missä perustuksia sijaitti, vaikka käytössä oli apuna mikrotukiasema. Tämän perusteella olen hieman mielteliäs sen suhteen, pitäisikö mahdollisesti jopa vaihtaa mittauslaitetta toiseen merkkiin, koska tämä mittauslaite ei toimi parhaalla mahdollisella tavalla.

Leica Nova MS60 MultiStationin avulla luotujen kolmiulotteisten kuvien myötä suosittelen erittäin lämpimästi laitteen käyttöönottamista ja jokaisen perustuksen laserkeilaamista. Laserkeilausten avulla perustusta pystyy tutkimaan raudoituksen osalta myöhemmin, vaikka perustus olisikin betonoitu. Laserkeilausta voitaisiin myös mahdollisesti käyttää muissa tehtävissä työmailla. Laserkeilausta voisi käyttää esimerkiksi, jos halutaan selvittää, paljonko on tietyn sorakasan tilavuus.

Leica Nova MS60 MultiStationin huonona puolena voidaan pitää mittauksen hitautta. Opin näytetyössä kesti yhden perustuksen laserkeilaus 80 minuuttia, toki tähän vaikuttaa kuinka isolla ruudukolla mittaus suoritetaan. Lähtökohtaisesti kuitenkin kuvan täytyy olla selvä, joten käytännössä perustukset täytyy mitata tällä tarkkuudella. Aikaa menee tämän verran yhden perustuksen mittaamisessa. Vaikka mittauksessa meneekin aikaa, koen tämän mittauksen sen verran tärkeäksi, että tähän kannattaa varata aikaa.

Leica iCON gps 60 -laitteella merkittyjen pisteiden avulla voitiin laadukkaasti merkitä perustuksen ulkoreunan sijainti, kallioankkuriputkien paikat ja oven sijainti. Näiden merkintöjen myötä raudoitustyö helpottui ja nopeutui, koska raudoittajien ei tarvinnut käyttää aikaa mittalinjojen merkitsemiseen ja lukemiseen. Tulevaisuudessa laitetta voisi hyödyntää

enemmän esimerkiksi perustuksen täyttöjen tarkasteluun. Säästöä voisi syntyä sitä kautta, kun ei menisi turhaan ylimääräistä täyttötavaraa perustuksen pohjalle.

Leica iCON gps 60 -laitteen huonona puolena voidaan pitää sitä, että laitetta on vaikeaa korjata itse. Opinnäytetyöntekijä huomasi, että jos kyseiseen laitteeseen tulee jokin ongelma, niin sitä on käytännössä erittäin vaikea saada itse toimimaan. Käytännössä laite joutuu huoltoon, eikä sitä pysty käyttämään hetkeen. Tämä huollossa menevä aika pitää ottaa huomioon työmaalla, ettei sen myötä tule ongelmia aikataulun kanssa.

Laadunvarmistusta parantavat ohjelmat Infrakit ja Sitevision olivat erittäin hyödyllisiä ohjelmia laadunvarmistuksen kehittämiseen. Ohjelmia tulisi jatkossakin hyödyntää tulevilla työmailla ja mahdollisesti jopa kehittää uusia ideoita, kuinka laadunvarmistusta saataisiin parannettua niiden avulla entistä tehokkaammaksi.

LÄHTEET

- Betoniteollisuus ry. (i.a.-a). *Betonin käyttöikä: Betonirakenteita suunniteltu jopa 1000 vuoden käyttöiälle*. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-kayttoika/>
- Betoniteollisuus ry. (i.a.-b). *Betonin käyttö: Käyttö infrarakentamisessa*. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/kaytto-infrarakentamisessa/>
- Burton, T., Bossanyi, E., Jenkins, N., & Sharpe, D. (2011). *Wind Energy Handbook*, 2nd Edition. Wiley.
- Connected Finland. (i.a.). *Connected TempGuard*. <https://www.connectedfinland.fi/products/connected-tempguard/>
- Cozzens T. (2020). *New Leica Nova MS60 enables surveying with one instrument*. GPS World. <https://www.gpsworld.com/new-leica-nova-ms60-enables-surveying-with-one-instrument/>
- CTE WIND. (i.a.). *Rock anchor foundation: The Rock Anchor Solution*. <https://www.cte-wind.com/solution/rock-anchor-foundation/>
- Ilmarinen, V., & Koskela, K. (2015). *Digitalisaatio: Yritysjohdon käsikirja*. Talentum.
- Infrakit. (i.a.). *Cloud for infra projects*. <https://www.infrakit.com/fi/tuote/>
- Joensuu-Salo, S. (2019). *Digitalisaatio mahdollistaa yritysten kasvun*. Etelä-Pohjanmaan kauppakamari. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/266964/Joensuu_Salo_Digitalisaatio_mahdollistaa_yritysten_kasvun.pdf?sequence=1
- Kestävä kivitalo. (i.a.). *Muottijärjestelmät: Pystyrakenteiden muotit*. <https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/muottijarjestelmat/>
- Kivifaktaa. (i.a.). *Valmisbetoni*. <https://kivifaktaa.fi/suomea-rakentamassa/valmisbetoni/>
- KSBR. (i.a.). *Gravitaatioperustuksen valu*. [Valokuva]. Mastokangas. <https://ksbr.fi/wp-content/uploads/MAstokangas-7.jpeg>
- KSBR. (i.a.-a). *Toimialat: Tuulivoimalat*. <https://ksbr.fi/toimialat/tuulivoimalat/>
- KSBR. (i.a.-b). *Yritys*. <https://ksbr.fi/yritys/>

- Leica Geosystems. (i.a.). *Leica iCON gps 60 – haastaviin olosuhteisiin suunniteltu: Kaikkiin tarkoituksiin sopiva GNSS-ratkaisu.* <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/construction-tps-and-gnss/smart-antennas/leica-icon-gps-60>
- Leica Geosystems. (i.a.). *Leica Nova MS60 MultiStation – Kaikkiin mittaustehtäviin.* <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/total-stations/multistation/leica-nova-ms60>
- Liikenne- ja viestintäministeriö. (2014). *Digitalisaatio keskisuurissa yrityksissä.* https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/77886/Julkaisu_14-2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Motiva. (2022). *Tuulivoimateknologia: Voimalan osat.* <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva-energia/tuulivoima/tuulivoima-suomessa/tuulivoimateknologia>
- Nord Raudoitus. (i.a.). *Raudoituspalvelut vankalla kokemuksella vaativiin raudoituskohteisiin.* <https://www.nordraudoitus.fi/palvelut/>
- Palolahti. T. (2011). *Pienrakentajan betoniopas.* Betoniteollisuus ry. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/11/Pienrakentajan-betoniopas-netti-1.pdf>
- Rakentaja.fi. (2018). *Betonikoulu: Mitä betoni on?* <https://www.rakentaja.fi/artikkelit/8989/mita-betoni-on.htm>
- Scrive. (i.a.). *Digitalisaation syyt – miksi digitalisaatio on tärkeää.* <https://www.scrive.com/fi/digitalisaatio/>
- Suomen Betoniyhdistys. (2018). *Betonitekniikan oppikirja by 201.* BY-koulutus Oy.
- Suomen Hyötytuuli. (i.a.). *Tuulivoima: Tuulivoimala ja puisto.* <https://hyotytuuli.fi/fi/tuulivoima/tuulivoimala-ja-puisto/>
- Suomen tuulivoimayhdistys. (i.a.). *Tuulivoimaloiden rakenne: Voimalatyypit.* <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne>
- Trimble® SiteVision™. (2020). *Tutustumiskampanja 2020.* https://civilpoint.fi/wp-content/uploads/2020/05/SiteVision_tutustumiskampanja_2020.pdf
- Tuulivoimalehti. (2019). *Aiheet: Osa 32. Tuulivoimalan perustus.* <https://www.tuulivoimalehti.fi/aiheet/osa-32.-tuulivoimalan-perustus.html>
- Vaisala. (2022). *Vaisala RoadAI pavement inventory.* <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-GT-ProductSpotlight-Road-AI-B212160EN-B.pdf>