

TUULIVOIMALAN PERUSTUKSEN BETONOINNIN LAADUNVAHVONTA

Bankowski Jan

Opinnäytetyö

Insinöörikoulutus
Rakennusinsinööri (AMK)

2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jan Bankowski	Vuosi	2022
Ohjaaja(t)	Matti Moilanen		
Toimeksiantaja	Puhuri Oy		
Työn nimi	Tuulivoimalan perustuksen betonoinnin laadunvalvonta		
Sivu- ja liitesivumäärä	27		

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin tuulivoimalan perustusten rakentamisen valvontaa tilaajan/rakennuttajan asemasta katsottuna. Työn tavoitteena oli luoda ohje tilaajaorganisaatiolle perustusten teon valvonnan vaatimuksista.

Työssä esiteltiin lyhyesti kaksi yleisimmin käytettyä perustustyyppiä, käydään läpi betonille asetettuja vaatimuksia, sekä tarkastellaan työmenetelmiä ja niiden valvontaa.

Opinnäytetyön tekijällä on omakohtaista kokemusta Oma-, rivi- ja kerrostalojen perustusten teosta työmaalla, sekä lyöntipaalujen ja parveke-elementtien valmistuksesta elementtitehtaassa. Lisäksi tekijä on toiminut työnjohtajana laiturielementtien liukuvaluissa ja tilaajan edustajana tuulipuisto työmailla.

Tietolähteinä opinnäytetyössä käytettiin Puhuri Oy:n organisaatioita, Suomalaisen Rakennustieto Oy:n RT-kortisto tietokokoelmaa, Suomen Betoniyhdistyksen by65 betoninormit julkaisua, Infrasektor Oy:n valvonta konsultteja ja Ramboll Oy:n rakennesuunnittelijoita sekä betonityönjohtajia.

Avainsanat Betonointi, tuulivoimalat, valvonta, rakennuttaja

Muita tietoja Työhön liittyy toimeksiantajalle toimitettu perustusten betonoinnin laadunvalvontaohje

Study Programme in Civil
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Jan Bankowski	Year	2022
Supervisor	Matti Moilanen		
Commissioned by	Puhuri Oy		
Subject of thesis	Quality Control of Concreting Wind Farm Foundation		
Number of pages	27		

The aim of this thesis study was to examine the construction of the foundations of a wind turbine in order to create a guide for the client organization for supervising the construction of the foundations.

Work methods and the supervision of the work were reviewed. The information sources used in the study were the RT card data collection of Suomalainen Rakennustieto Oy, the by65 betoninormit publication of Suomen Betoniyhdistys, Infracor Oy's supervision consultants, and Ramboll Oy's structural designers and Skarta's concrete foremen.

The thesis briefly introduces the wind turbine. It presents the two most used foundation types, goes through the concrete masses and steels used.

Key words Concreting, wind turbine, supervision, constructor

Special remarks the thesis includes a guide for quality control of concreting wind farm foundations submitted to the commissioner

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TUULIPUISTON RAKENNUUTTAMINEN.....	7
3 PERUSTUKSET	10
3.1 Gravitaatioperustus.....	11
3.2 Kallioankkuriperustus.....	12
4 LAADUNVALVONTA	16
4.1 Perustuksen raudoitus	17
4.2 Betonin laatuvaatimukset.....	20
4.3 Betonointi.....	22
4.4 Jälkihoito.....	22
5 POHDINTA	25
LÄHTEET	26

ALKUSANAT

Tahdon kiittää kaikkia työhöni myötävaikuttaneita tahoja. Erityiskiitokset Puhuri Oy:n suunnittelupäällikkö Raimo Vikstedille, Infrasektor Oy:n Jani Siurualle, Ramboll Oy:n Juha Tiikkaiselle ja Mika Vehmakselle.

Isoimmat kiitokset menevät omalle perheelle, jotka kannustivat ja tukivat työn loppuun saattamiseksi.

Haapajärvellä 24.11.2022

1 JOHDANTO

Venäjä aloitti hyökkäyssodan Ukrainaa vastaan 24.2.2022. Sota on aiheuttanut Euroopassa energiakriisin, Venäjän katkaistua kaasun toimitukset Eurooppaan. Sodan seurauksena energiantuotannon omavaraisuuteen pyrkiminen on lisääntynyt ympäri Eurooppaa.

Suomessa tämä varautuminen näkyy kiihtyvänä tuulivoima ja aurinkovoima rakentamisena sekä kelluvien LNG-terminaalien tulemisena. Myös vetylaitosten investointien uskotaan kasvavan voimakkaasti seuraavan vuosikymmenen aikana.

Tuulivoimaa rakennetaan kirjoitushetkellä ennätys tahtiin. 1.6. – 30.6.2022 Suomeen nousi 154 uutta tuulivoimalaa. (STY ry 2022.)

Tämän seurauksena alalle tulee lisää toimijoita joka osa-alueelle, minkä takia alalla on kova kilpailu ammattitaitoisesta työvoimasta.

Lisämausteen tuulivoiman rakentamiseen tuo CO₂ päästöjen vähentäminen. Eri-tyisesti vähähiilisen betonin käyttö perustuksissa tulee lisääntymään. Onneksi betonitoimittajat pystyvät tarjoamaan hyviä ratkaisuja hyödyntämällä terästeollisuuden sivuvirtoja ja kiertotaloutta.

Rakennuttajan silmissä uusien toimijoiden tulo urakointipuolelle on kaksiteräinen miekka. Kasvava tarjonta pitää hintoja osittain kurissa, toisaalta rakennuttajalla on oltava keinot varmistua urakoitsijan osaamisesta ja tarkka ohjeistus rakentamisen laadunvalvonnasta.

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä tuulivoimaloiden perustusten rakentamiseen laadunvalvontaan ja laatia sen myötä laadunvalvontaohje tilaaja organisaatiolle.

2 TUULIPUISTON RAKENNUUTTAMINEN

Ennen kuin tuulipuisto pääsee varsinaisen rakentamisen vaiheeseen tilaajan/rakennuttajan hankekehitystiimi on tehnyt töitä maanvuokrauksen, kaavoituksen ja lupa-asioiden parissa.

Kun edellä mainitut asiat ovat kunnossa tilaaja/rakennuttaja alkaa laatia tarjouspyyntöaineiston kolmesta pääkohdasta

- infra
 - o tiestö, perustukset ja puiston sisäinen kaapelointi
- sähkö
 - o sähköasema ja voimajohto
- voimalat
 - o toimitus, pystytys ja käyttöönotto

Kilpailutuksen jälkeen varsinainen rakentaminen alkaa infran toteuttamisella. Infraurakoitsija hoitaa hakkuut tiestöä varten, tekee tiestön, puiston sisäisen sähkökaapeloinnin sekä perustukset. Sähköaseman ja voimajohdon rakentaminen alkaa, kun tiestö sähköaseman sijainnille on valmis. Infraurakan valmistuttua laitetoimittaja saapuu työmaalle ja pystytykset lähtevät käyntiin. (kuvio 1).



Kuvio 1. Kaukasen tuulipuisto, pystytysvaihe (Siurua 2022)

Kaikki tuulivoimalan osat sijoitetaan etukäteen suunnitelluille paikoille nostoalueelle, jotta pystytysvaihe voidaan toteuttaa mahdollisimman turvallisesti. (kuvio 2).



Kuvio 2. Kaukasen tuulipuisto, pystytysvaihe (Siurua 2022)

Kaikissa vaiheissa tilaajan/rakennuttajan kannalta on olennaista, että työ vastaa sille asetettuja laatuvaatimuksia ja laatudokumentointi vastaa urakkaohjelmassa määritettyjä vaatimuksia.

3 PERUSTUKSET

Ennen infrauran kilpailutuksen aloittamista tilaaja teettää tuulipuistoalueella pohjatutkimukset tarjouspyyntöaineistoa varten. Tutkimusmenetelminä käytetään heijari- ja porakonekairauksia, pohjavesiputkia sekä maaperänäytteiden silmäääräistä maalajiarviota ja rakeisuuden määrittämistä pesuseulonnalla sekä areometrikokeella. Näiden tutkimusten laajuus vaihtelee sen mukaan millä urakamuodolla tilaaja aikoo urakan toteuttaa.

Pohjatutkimusraportista tulee käydä ilmi yleiskuvaus alueesta, käytetyt tutkimusmenetelmät, pohjaolosuhteet voimalapaikoittain, pohjaveden taso, tieto mahdollisista sulfittimaista sekä yleiskuvaus rakennettavuudesta ja alustava rakentamistapa. Kuviossa 3 on esimerkki erään tuulivoimalan kohdalta tehdystä raportista.

3.2.3 Voimala C

Voimalan C kohdalla on tehty pohjatutkimukset heijarikairaus pisteeseen P007 sekä porakonekairaukset pisteisiin P37 ja P38, joiden kohdalla maanpinta on tasolla n. +136,5. Lisäksi nostokentälle tehtiin heijari ja porakonekairaukset pisteeseen P008 ja heijarikairaus nostosuoralle pisteeseen P009.

Heijarikairaus päättyi voimalan kohdalla tasolla +131,4 kiveen, kallioon tai lohkareeseen. Nostokentän kohdalla heijarikairaus päättyi tasolle +134,4 ja porakonekairauksen perusteella kallio on tasolla +133,06...+133,2.

Maanäytteiden perusteella maaperä on tulkittu ylempänä hiekaksi ja syvempänä siiltiseksi hiekkamoreeniksi. Kairausvastuksen perusteella pohjamaa voimalan kohdalla on hyvin löyhää tai löyhää noin 5 metrin syvyydelle maanpinnasta. Näytteiden vesipitoisuudet olivat 11,8...26,3 %.

Kairauspisteen P007 kohdalle asennettu pohjavesiputki ulottuu 2,9 m maanpinnan alapuolelle, tasolle +133,98. Asennuksen jälkeen pohjavesi oli 2,5 m syvyydellä maanpinnasta, tasolla +134,38. Maaliskuun 2020 mittauksissa pohjavesi oli n. 1 m, tasolla +135,91.

Kuvio 3. Ote pohjatutkimusraportista erään tuulivoimalan kohdalta (FCG 2020)

Tarjouspyyntöaineistoa laadittaessa tilaaja voi rajata mitä perustamistapaa urakoitsijan tulee käyttää.

Yleisimmät perustamistavat Suomessa ovat kallion varaiselle murskealustäytölle tai kantavan pohjamaan (tai kallion) varaiselle massanvaihdon täytölle rakennet-

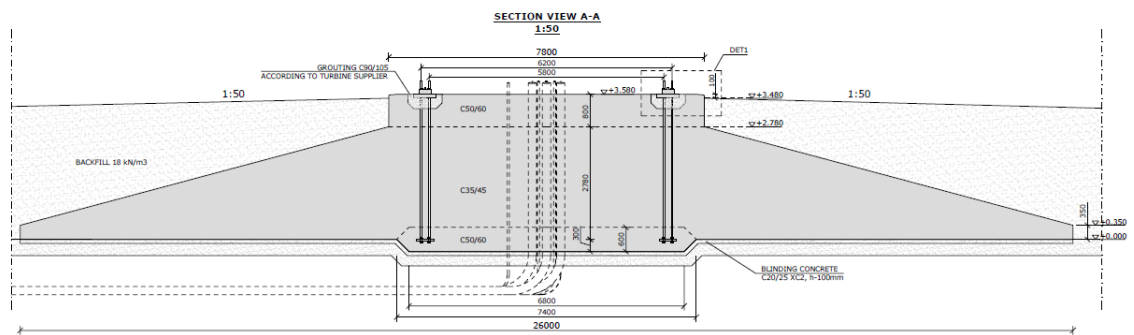
tava anturaperustus (gravitaatio) ja tasatun/louhitun kalliopinnan varaan rakennettava kallioankkuriperustus. Tuulivoimaloiden perustukset ovat seuraamusluokan CC2, toteutusluokan 3 ja toleranssiluokan 1 betonirakenteita. (Tiikkainen 2022).

3.1 Gravitaatioperustus

Gravitaatioperustus tehdään edellä mainittujen täyttöjen päälle. Täyttömateriaalina käytettävän kiviaineksen vaaditut ominaisarvot käyvät ilmi perustamistapa-lausunnosta. Ominaisarvojen täytyminen tulee dokumentoida tilaajalle.

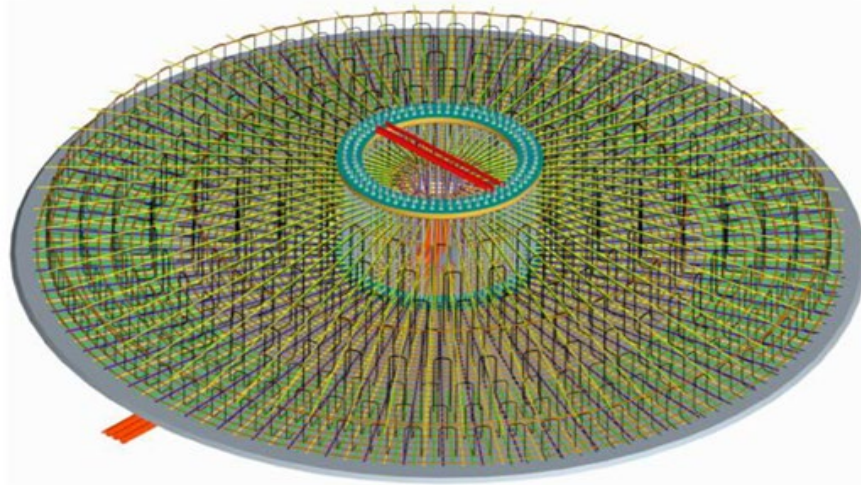
Perustuksen suunnittelussa tulee huomioida pohjavesipinnan tai suunnitelmissa määritetyn kuivatustason korkeus, mikäli voimalan perustamistaso jää näiden alapuolelle voimalan käyttöaikana, tulee voimalaperustus mitoitaa veden nostelle käyttöajan ylimmän vesipinnan tason mukaisesti (Vehmas 2022).

Gravitaatioperustukseen menee nykyisillä voimalaloilla n.950 m³ betonia (Kuvio 4).



Kuvio 4. Erään gravitaatioperustuksen mittapiirustus (Ramboll 2021)

Gravitaatioperustukseen tulee rautaa n.125 tn sekä ankkuripulttikehikko, johon voimalan torniosa kiinnitetään (Kuvio 5).

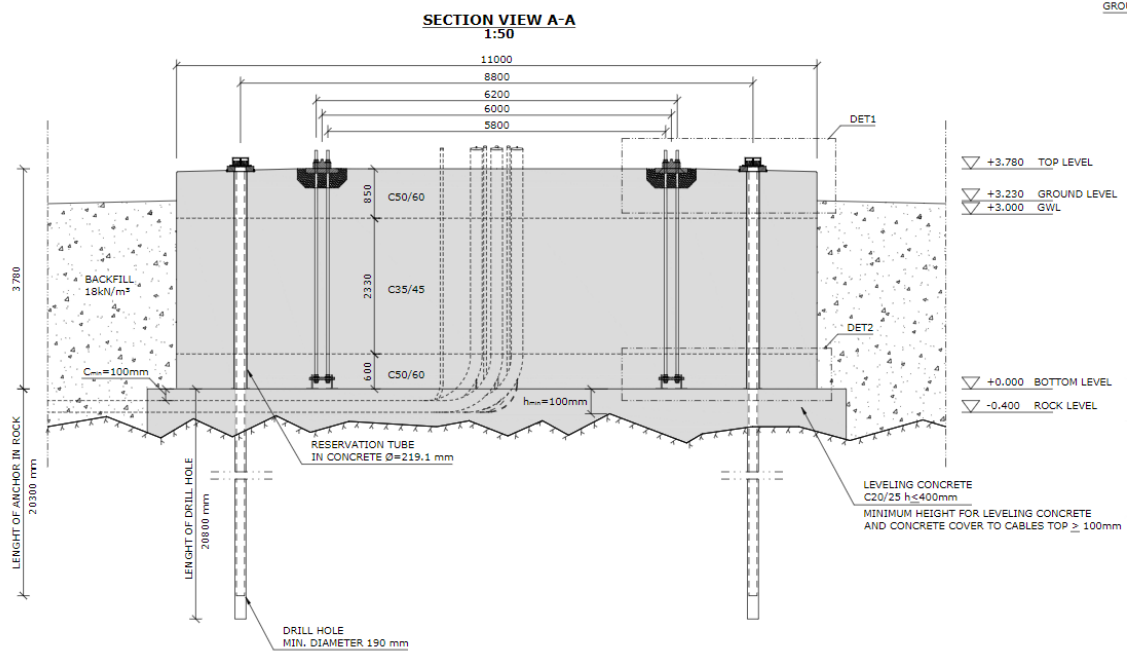


Kuvio 5. Havainnekuva gravitaatioperustuksen raudoituksesta (Vestas 2022)

3.2 Kallioankkuriperustus

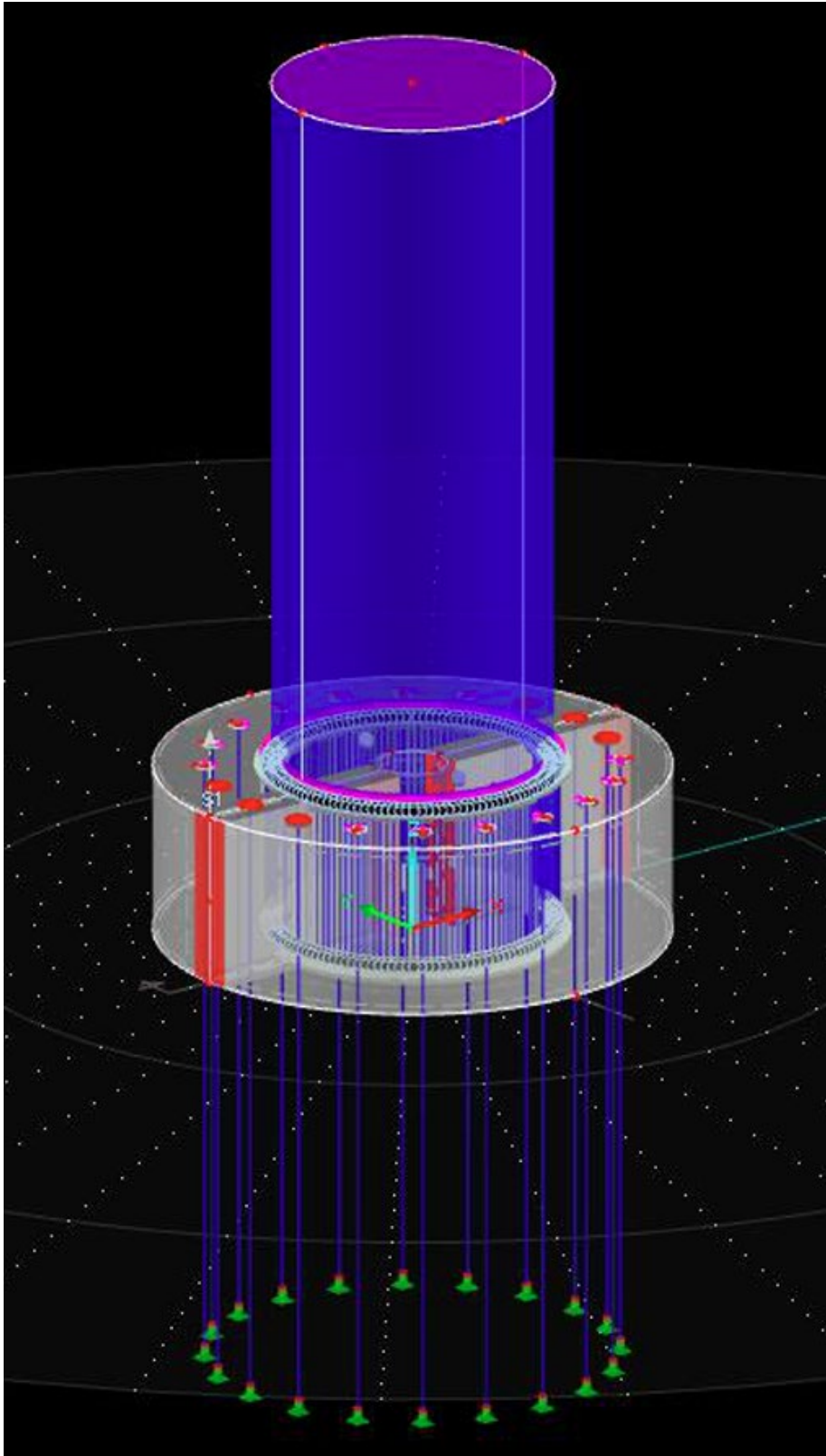
Toinen yleinen perustustyyppi on kallioankkuriperustus. Tämä tyyppi vaatii pohjaolosuhteeksi tasatun/louhitun kalliopinnan. Kallioankkuriperustuksen rakentamiskustannukset ovat huomattavasti edullisemmat kuin gravitaatioperustuksen, koska betonin ja teräksen menekki määrät ovat huomattavasti pienemmät. Kuviossa 6 on esitetty leikkauskuva kallioankkuriperustuksesta vastaavalle voimalalle kuin kuvassa 3 oleva gravitaatioperustus. Kallioankkuriperustuksen betonimenekki on n.360 m³ (vrt. 950m³ gravitaatio) ja teräksen menekki on n.35 tn (vrt. 125 tn. gravitaatio).

Suomen kallioperässä esiintyy paljon rikkonaisuutta ja rakoilua. Rakoilu heikentää kallion rakennusteknisiä ominaisuuksia. Rakoihin liittyy aina rapautumisilmiö, joka heikentää kiven teknisiä lujuusominaisuuksia (MML 2017). Tämän takia kalliion laadusta tulee tehdä riittävät tutkimukset jo suunnittelu vaiheessa.



Kuvio 6. Kallioankkuriperustuksen leikkauskuva (Ramboll 2021).

Kuviossa 7 laitetoimittajan mallinnus, jossa näkyvät ankkurit, perustus, pulttikehä ja voimalan tornin 1. osa.



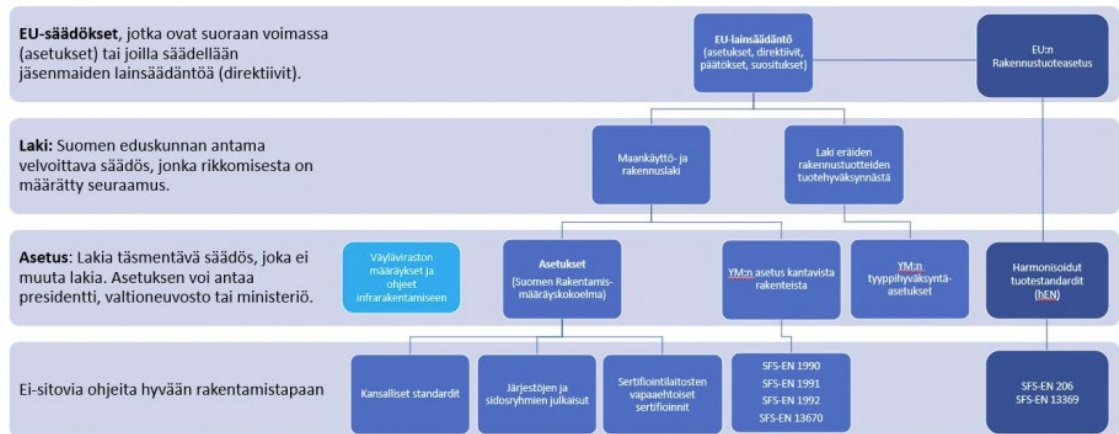
Kuvio 7. Kallioankkuriperustuksen mallinnuskuva (Ramboll 2021)

Mikäli pohjatutkimusten perusteella perustamistavaksi voidaan esittää kallioankkuriperustusta, suositellaan tehtäväksi vähintään kalliopintojen paljastaminen

sekä kalliopinnan tasaisuuden ja ominaisuuksien tutkiminen silmämääräisesti. Lisäksi kallion eheyttä ja laatua suositellaan tutkittavaksi etukäteen tehtävillä kallioporauksilla ja porareijistä tehtävillä mittauksilla tai kuvauksilla (Vehmas 2022).

4 LAADUNVALVONTA

Laadunvalvonta perustuu betonirakentamisen viranomaismääräyksiin. Vaatimuksia betonirakenteille asettavat EU:n säädökset, lait, asetukset sekä ei-sitovat ohjeet hyvään rakentamistapaan, joiden etusijajärjestys on esitetty kuviossa 8.



Kuvio 8. Lainsäädännön ja ohjeiden etusijajärjestys (Suomen Betoniyhdistys 2022)

Standardit, lait, asetukset ja ohjeet, kertovat kuinka osoitetaan rakennustuotteen kelpoisuus ja miten määräytyvät suunnittelutehtävien vaativuusluokat sekä betonirakenteiden toteutusluokat. (Suomen Betoniyhdistys 2022). Edellä mainitut asiat huomioiden tilaaja asettaa urakkakohtaiset soveltuvuusvaatimukset. Tuulivoimaloiden perustukset edellyttävät suunnittelijalta pätevyysluokkaa ”Vaativa (V)” (Vna:214/2015) ja betonityönjohtajalta pätevyysluokkaa ”Poikkeuksellisen vaativa” (YM4/601/2015).

Laatu käsitteenä on muuttunut virheettömästä tuotteesta yrityksen tai organisaation kehittämistyökaluksi. Laadun parantamisen tavoitteena on asiakastyytyväisyys, kannattava liiketoiminta sekä kilpailukyvyn parantaminen. Laadun kehittämiseen tulee painetta myös yhteiskunnan asettamien vaatimusten täyttämisen kautta. Laatu on kuin kilpaurheilun, kehittämiseen vaikuttavat ympäristö, kilpailijoiden toiminta sekä innovaatiot ja viranomaisvaatimusten muutokset. Laatu on tekijä, joka on jatkuvan kehityksen kohteena kaikessa rakentamisessa. (Haara ym. 2018, 177.)

Laadunvarmistuksen tehtävänä on varmistaa, että palvelu tai tuote täyttää sille asetetut laatuvaatimukset sekä löytää virheet mahdollisimman aikaisen ja ehkäistä virheiden synty. Laadunvalvonta käsittää kaikki ne toimenpiteet, joilla pyritään havaitsemaan poikkeamat ja virheelliset tuotteet. (Haara ym. 2018, 177.)

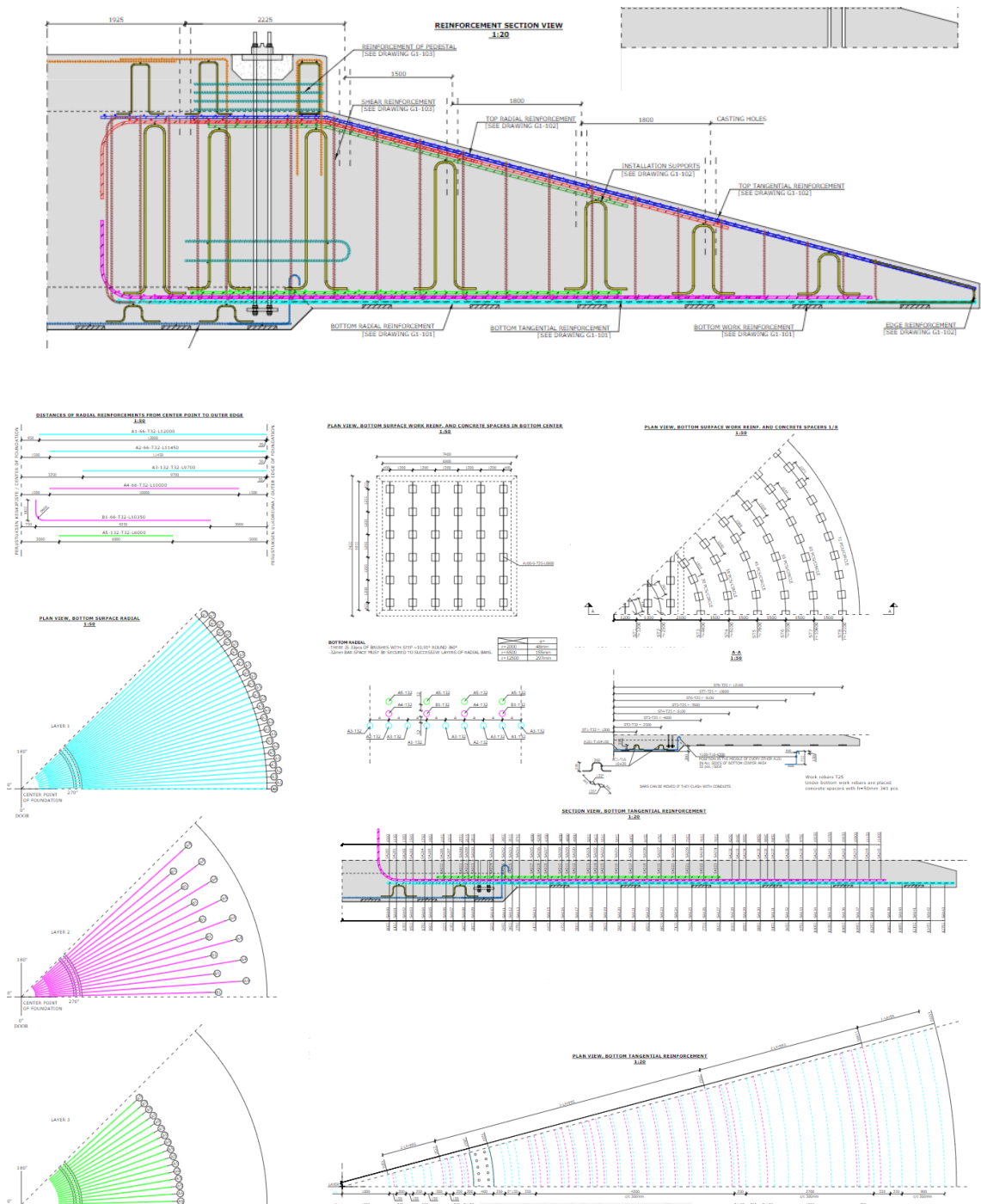
Tilaajan tulee aina kirjallisesti ilmoittaa urakoitsijalle edustajansa ja heidän valtuutensa. Määritelmä rakennuskohteen valvojista ja valvonnan toteuttamisesta sekä valvonnan vaikutus vastuuseen ovat määritelty rakennusalan yleisissä sopimusehdoissa. (RT 16-10660 2016.)

Tuulivoimapuiston infran rakentaminen suoritetaan laatuvastuurakentamisena (LVR), tämä tarkoittaa, että urakoitsijalla on aina velvollisuus esittää oman työnsä laatu. Tilaajan on puolestaan osattava määritellä hyvin tarkasti, mitä tilataan ja millä laatutasolla se halutaan toteutettavan. LVR-menetelmässä urakoitsija joutuu suunnittelemaan ennakkoon menetelmät laadunvarmistamiseksi. Urakan valvonta keskittyy urakoitsijan työvaihe- ja laatusuunnitelmien tarkastukseen ja hyväksymiseen, laatu järjestelmän toimivuuden seurantaan, materiaalien ja tarvikkeiden kelpoisuuden toteamiseen sekä varsinaisen työn tarkkailuun ja tarkastamiseen. (Siltojen laatu vastuurakentamisen yleisohje 1996.)

4.1 Perustuksen raudoitus

Raudoitteet valmistetaan käyttäen voimassa olevien SFS-standardien mukaisia teräslaatuja. Teräslaadut tulee löytyä suunnitelmapiiirustuksista ja käytettävistä teräslaaduista tulee toimittaa normien mukaiset aineenkoestustodistukset.

Raudoitus tulee tehdä suunnitelmapiiirustusten (kuvio 9) mukaan.



Kuvio 9. Ote gravitaatioperustuksen raudituspiirustuksesta (Ramboll 2021)

Taivutuksissa, etäisyyksissä ja jatkospituuksissa noudatetaan betoninormeja. Tarkennuksia rauditukseen toleranssien ja käytettävien tarvikkeiden osalta määritellään kohdekohtaisessa suunnittelijan tekemässä työselostuksessa.

Raudoitusta tarkastaessa tulee huomioida terästen puhtaus (ei rasvaa eikä ruostetta) sekä raudoitettujen alueiden puhtaus ylimääräisistä roskista. Raudoituksen tulee vastata raudoituspäätöksiä kaikilta osin, erityisesti tulee kiinnittää huomiota jatko-osuuksiin, jatkosten sijaintiin, suojaetäisyyksiin ja läpivientien sijaintiin.

Urakoitsija kutsuu raudoitustarkastuksen koolle raudoituksen ollessa heidän näkemyksensä mukaan valmis. Tarkastukseen osallistuu tilaajan edustaja (valvoja), suunnittelija, vastaava työnjohtaja sekä mahdollisesti raudoitusringin johtaja. Mikäli työmaan perustukset ovat kaikki samantyyppisiä, suunnittelija on mukana vain ensimmäisessä tarkastuksessa. Mikäli perustustyyppisiä on useita, suunnittelija on mukana jokaisen tyyppin ensimmäisessä tarkastuksessa. Tarkastuksista laaditaan aina tilaajalle kirjallinen raportti. Raporttiin tulee liittää yleiskuva raudoituksesta (kuviokuva 10).



Kuvio 10. Yleiskuva perustuksen raudoituksesta (Bankowski 2022)

Raportissa tulee olla myös tarkempia kuvia perustuksen eri osista (kuviokuva 11). Mikäli raudoitustarkastuksessa havaitaan poikkeamia, kirjataan ne tarkastusraporttiin ja korjausten jälkeen tehdään uusi katselmus tai urakoitsijan tulee kuvallisesti ja kirjallisesti osoittaa tilaajalle, että virheet on korjattu. Tilaajan edustajan hyväksytyä raudoituksen, myönnetään valulupa ja betonointi voidaan aloittaa.



Kuvio 11. Kauluksen yläpinnan raudoitus (Bankowski 2022)

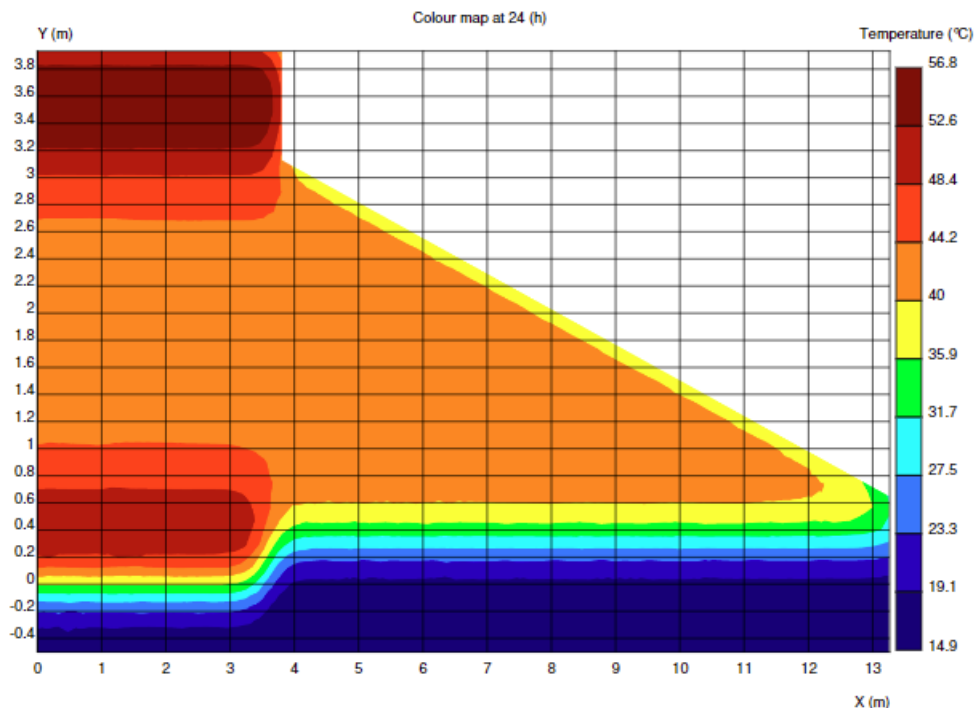
4.2 Betonin laatuvaatimukset

Tuulipuistot sijaitsevat harvemmin betoniasemien läheisyydessä, joten on hyvin yleistä, että betoni valmistetaan mobiiliasemalla työmaalla. Perustusten koon takia urakoitsijalla tulee aina olla myös vara-asema valmiudessa valun aikana. Betonityössä käytettävät laatu- ja lujuusluokat esitetty aina suunnittelijoiden laitimissa rakennepiirustuksissa. Urakoitsijan tulee hankkia betoniasemalta selvitys betonin valmistuksesta. Betoniaseman ja -laboratorion laadunvalvonnan tulee olla ympäristöministeriön hyväksymän tarkastuksen alaisia (=tarkastettu valmistus). Lisäksi urakoitsijan on toimitettava nämä dokumentit myös varabetoniase- man osalta. (Tiikkainen 2022.)

Tuulivoimaloiden perustukset ovat massiivisia betonirakenteita. Tämän vuoksi tulee varautua korkean hydrataatiolämmön aiheuttamista lämmönmuutoksista syn-

tyvään halkeiluvaaraan ja korkean lämpötilan aiheuttamaan lujuuskatoon. Betonin lämpötilan tulee pysyä alle $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, mikäli tähän ei päästä kohtuullisin kustannuksin tulee odotettavissa oleva lujuuskato huomioida tavoitelujuutta nostamalla. (By 201 Betonitekniikan oppikirja, 2018, 376). Lujuuskadon suuruutta arvioidaan olevan $10\% / 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (By 65 Betoninormit 2021, 76). Joka tapauksessa tulee huolehtia, ettei lämpötila nouse yli $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, jotta vältetään sementin hydrataatioreaktioiden häiriintymisestä johtuva rakenteen myöhempi vaurioituminen. (Haara ym. 2018, 376).

Urakoitsijan tulee toimittaa tilaajalle käytettävät betonireseptit lisäaineineen ja kaikista käytettävistä betonilaaduista ennakkokoe tulokset puristuslujuuksien osalta sekä lämpötilan seuranta mallinnukset (Kuvio 12). Betonimassan koostumus ja betonointityö tulee suunnitella siten, ettei rakenneosan poikkileikkauksen eri osien välinen lämpötilaero ole suurempi kuin $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Haara ym. 2018, 377).



Kuvio 12. Gravitaatioperustuksen lämpötila mallinnus (Kymppibetoni 2022)

Tuulivoimaloiden perustusten betonin valmistuksessa tulee noudattaa Väyläviraston ohjetta 41/2020 Infrabetonien valmistus. Ohjeesta löytyy betonin laatuvaatimukset, laadunvalvonta ohjeet, valmistus- ja suhteitusvaatimukset sekä ohjeet ennakkokokeisiin ja valutyön aikaiseen toimintaan betoniasemalla.

4.3 Betonointi

Tuulivoimaloiden perustusten valua tulee aina johtaa ”poikkeuksellisen vaativa” -vaativuusluokan omaava betonityönjohtaja. Betonointi vaatii huolellisen ennakkosuunnittelun. Betonityönjohtaja laatii kohteelle betonointisuunnitelman, josta tulee käydä ilmi rakennuskohde, käytettävät betonilaadut, betonointinopeus, varautuminen häiriötilanteisiin, betonointi ryhmän ja käytettävän kaluston tiedot sekä kuvaus työmenetelmistä. Tämä suunnitelma tulee toimittaa tilaajalle tarkastettavaksi seitsemän (7) vuorokautta ennen työvaiheen suunniteltua ajankohtaa.



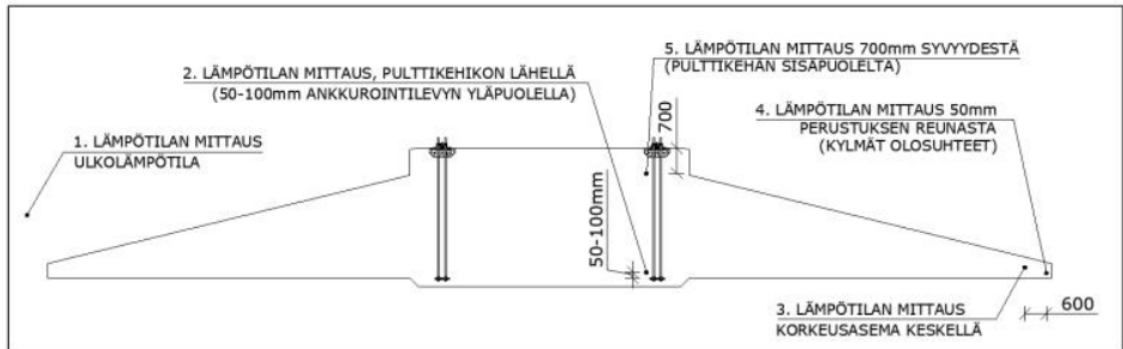
Kuvio 13. Gravitaatioperustuksen valu alkamassa (Bankowski, 2022)

Betonityönjohtajan tulee olla paikalla koko valu tapahtuman (kuvio 13). Hän vastaa ja valvoo tarvittavassa laajuudessa betonitöistä ja huolehtii, että annettuja ohjeita noudatetaan ja tapahtumat dokumentoidaan asiaankuuluvalla tavalla. (Tikkanen ym. 2021, 87).

4.4 Jälkihoito

Betonin jälkihoidosta puhuttaessa tarkoitetaan menetelmiä, joilla pyritään luomaan olosuhteet, joissa betoni kovettu moitteettomasti ja saavuttaa suunnitellun

loppulujuuden sekä muut betonille asetetut ominaisuudet. Tuulivoimaloiden perustusten massiivisen rakenteen takia jälkihoidon aloittaminen välittömästi on ehdottoman tärkeää. Jälkihoitoon kuuluu rakenteen suojaaminen ulkoisilta tekijöiltä, veden haihtumisen estäminen ja rakenteen kosteudesta huolehtiminen sekä betonin lämpötilan seuraaminen kovettumisen aikana (kuvio 14). (Haara ym. 2018, 341–343).



Kuvio 14. lämpötila-anturien sijoitus gravitaatioperustuksessa (Ramboll 2021)

Perustuksiin ruiskutetaan välittömästi valun jälkeen kohteeseen sopiva jälkihoitoaine sekä suojataan kosteuden häviämisen estämiseksi. Rakenteen kosteana pitäminen jatkuu 1–2 viikkoa. Rakenteen lämmönkehitystä tulee seurata ensimmäisen 48 tunnin aikana tunnin välein ja siitä eteenpäin 3–4 tunnin välein 7 vuorokauden ikään asti. (Haara ym. 2018, 343,380).

Mikäli lämpötila nousee yli + 60 °C ja rakennetta ei saada pidettyä kosteana, riski plastiselle kasvaa huomattavasti. Mikäli halkeamia esiintyy, tulee urakoitsijan yhdessä suunnittelijan kanssa tehdä korjaussuunnitelma. Yleensä pienet plastiset halkeamat korjataan injektoimalla epoksia halkeamiin (kuvio 15).



Kuvio 15. Epoksilla paikattu halkeamia (Bankowski, 2022)

Kuvioiden 15 ja 16 perustukset valettiin samalla viikolla eri työmailla. Lopputuloksen eron tekijöiksi paljastui erot betoniresepteissä ja rakenteen jälkihoidossa.



Kuvio 16. Gravitaatioperustuksen pintakatselmus (Bankowski 2022)

5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli perehtyä tuulivoimaloiden perustusten betonoinnin laadunvalvontaan ja sitä kautta luoda laadunvalvonta ohje tilaaja organisaatiolle. Työtä tehdessäni perehdyin rakennustyössä voimassa olevaan lainsäädäntöön, viranomaismääräyksiin, eurokoodiin, valtioneuvoston asetuksiin, betoninormeihin, standardeihin sekä rakennusalan yleisiin sopimusehtoin ja infrarakentamisen yleisiin laatuvaatimuksiin.

Työn aikana toimin tilaaja organisaatiossa rakennuttajainsinöörinä ja sitä kautta seurasin käytännössä tapahtumia rakennuskohteissa sekä laaturaportointia ja laadunvalvontaa. Yhdessä tämä teoriaan ja käytäntöön perehtyminen luo erinomaisen pohjan laadunvalvontaohjeen luomiselle.

Työn aikana kävi ilmi, että laadunvalvonta ohjeelle on todellista tarvetta. Alalla toimii paljon urakoitsijoita, joten tilaaja organisaatiossa täytyy löytyä asiantuntijoita joka osa-alueelle. Vaikka tuulipuiston infran rakentaminen on n. 1/6 puiston kokonaiskustannuksista virheelliset ratkaisut perustuksissa voivat koitua todella kalliiksi.

Opinnäytetyön prosessi oli kirjoittajalle erittäin mielenkiintoinen ja opettavainen.

LÄHTEET

Bankowski, J. 2022 Epoksilla paikatut halkeamat perustuksessa. Oma arkisto

Bankowski, J. 2022 Gravitaatioperustuksen pintakatselmus. Oma arkisto.

Bankowski, J. 2022 Gravitaatioperustuksen valu. Oma arkisto

Bankowski, J. 2022 Perustuksen kauluksen raudoitus. Oma arkisto.

Bankowski, J. 2022 Perustuksen raudoitus. Oma arkisto.

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy 2020. Pohjatutkimus- ja perustamistapalau-
sunto

Haara, T., Heikkilä, E., Johanson, K., Järvinen, M., Kaskiaro, T., Koivisto, M.,
Kunnassaari, E., Kuula, P., Lumme, P., Mannonen, R., Mantila, A., Matsinen, M.,
Mattila, J., Meriläinen, J., merikallio, T., Niemi, S., Paukku, E., Petrow, S.,
Punkki, J., Tallbacka, K., Tepponen, P., Tikkanen, J., Toivonen, M., Valjus, J.,
Vasama, M., Virtanen, J., Ålander, C., Kurkela, A., Riikonen, V., Laine, S., Ai-
ros, A. By 201 Betonitekniikan oppikirja. 2018. 8. painos. Vaasa: BY-Koulutus
Oy

Kymppibetoni Oy. 2022. Gravitaatioperustuksen lämpötila mallinnus. Betonointi-
suunnitelma

Maanmittauslaitos 2017. Kiviainesalue – tunnistaminen, esiintymät ja hyväksi-
käyttö Viitattu 21.10.2022 <https://ak.maanmittauslaitos.fi/2017/maapera-ja-pohjavesi/maapera/kiviainesalueiden-arviointi/kiviainesalue-tunnistaminen#Kallioper%C3%A4n%20yleisi%C3%A4%20ominaisuuksia>

Rambol Oy. 2021. Kallioankkuriperustuksen leikkauskuva

Ramboll Oy. 2021. Gravitaatioperustuksen mittakuva.

Ramboll Oy. 2021. Gravitaatioperustuksen raudoituskuva.

Ramboll Oy. 2021. Kallioankkuriperustuksen mallinnuskuva

RT 16-10660 2016 Rakennusalan yleiset sopimusehdot YSE 1998. Rakennus-
tieto Oy.

Siltojen laatuvarusturakentamisen yleisohje 2016. Viitattu 16.11.2022.
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/133349/tie1784.pdf?sequence=1>

Siurua, J. 2022 Tuulivoimalan pystys. Puhuri Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. Betonin valmistamista koskevat lait ja asetukset. Viitattu 18.11.2022 <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/maaraykset-ja-vaatimukset/betonin-valmistamista-koskevat-lait-ja-asetukset.html>

Suomen tuulivoimayhdistys ry 2022. Viitattu 21.10.2022 <https://tuulivoimayhdistys.fi/kategoria/tilastot-2>

Tiikkainen, J. 2022. Ramboll Oy. Rakennesuunnittelijan haastattelu 23.6.2022

Tikkanen, J., Johansson, K., Kihula, J., Mantila, A., Punkki, J., Paukku, E., Ruuth, J. By 65 Betoninormit. 2021. 5. päivitetty painos. Vaasa: BY-Koulutus Oy

Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä 12.3.2015/214

Vehmas, M. 2022. Ramboll Oy. Projektipäällikön haastattelu 14.9.2022

Vestas Oy. 2022. Gravitaatioperustuksen raudoituksen havainnekuva.

Ympäristöministeriön ohje rakentamisen työnjohtotehtävien vaativuusluokista ja työnjohtajien kelpoisuudesta 12.3.2015 YM4/601/2015