

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KALLIOANKKUROINNIN VAIHEET JA RISKIT

TEKIJÄ Mikko Piipponen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Mikko Piipponen			
Työn nimi Kallioankkuroinnin vaiheet ja riskit			
Päiväys	25.4.2022	Sivumäärä/Liitteet	25
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Niskasen Maansiirto Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä tuulivoimalan perustuksen kallioankkurointiin ja sen eri vaiheisiin ja niihin liittyviin riskeihin. Työssä on kerrottu ankkuroinnin työvaiheisiin liittyvistä toimenpiteistä ja määräyksistä sekä lisäksi kerrottu työmenetelmistä ja käytettävistä materiaaleista.</p> <p>Opinnäytetyön tekemisessä hyödynnettiin aiheesta olevaa kirjallisuutta, standardeja sekä suullista tietoa kenttäolosuhteista. Työn tekemisen aikana korostui useasti pohjatutkimusten merkitys ankkurointityöhön ja sen onnistumiseen. Mikäli suunnitteluvaiheen kalliotutkimukset ovat riittämättömät, tulee urakoitsijan huomioida tämä urakkalaskentavaiheessa sekä aikataulusuunnittelussa.</p> <p>Työn tuloksista tehtiin salassa pidettävä työohjekortti toimeksiantajalle, Niskasen Maansiirto Oy:lle. Työohjeen tarkoituksena on toimia ohjaavana pohjana eri työvaiheille ja muistilistana dokumentaation keräämiselle.</p>			
Avainsanat Kallioankkurointi, Tuulivoimala, Työvaiheet, Ankkuri			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme In Civil Engineering	
Author Mikko Piipponen	
Title of Thesis Stages and risks of rock anchoring	
Date 25.4.2022	Pages/Appendices 25
Client Organisation /Partners Niskasen Maansiirto Ltd	
<p>Abstract</p> <p>This thesis was commissioned by Niskasen Maansiirto Ltd. The purpose was to get acquainted with the rock anchoring of the foundation of a wind farm and its different stages and associated risks. The measures and regulations relating to the working stages of anchoring, working methods and materials were included in the work.</p> <p>The thesis made use of literature, standards, and oral knowledge of field conditions. The importance of base studies for anchoring work and its success was highlighted several times. If the rock surveys in the planning phase are insufficient, the contractor must take this into account in the contract calculation and in the schedule planning.</p> <p>As a result of the work was a confidential work guide card for the client. The purpose of the work guide is to serve as a guiding basis for the different stages of work and function as a memory list for collecting documentation.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Rock anchorage, wind turbine, stages of work, anchor</p>	

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on avata tuulivoimaloiden perustusten kallioankurointia ja niihin liittyviä työvaiheita sekä tuoda esille riskejä mitä ankkurointiin liittyy. Opinnäytetyön tuloksista tehdään kallioankuroinnin työohjekortti, jota voidaan tulevaisuudessa hyödyntää asiakasyrityksen hankkeilla.

Tahtoisin kiittää työtäni edistäneitä yhteistyökumppaneita, Jaakko Kärkkäistä (Tensicon Oy), Jaakko Tyyviä (Skarta Energy Oy), Jaakko Norrknivilää (Suvic Oy) sekä asiakasyrityksen Matti Helaakoskea (Niskasen Maansiirto Oy) asiantuntijuudesta aiheeseen, joka itselleni oli opinnäytetyön alkaessa täysin uusi ja tuntematon. Suuri kiitos kuuluu myös ohjaajalleni, Kai Auviselle, työn oikeaan suuntaan johdattamisesta sekä tuesta työn edetessä.

Lapinlahdella 25.4.2022

Mikko Piipponen

SISÄLTÖ

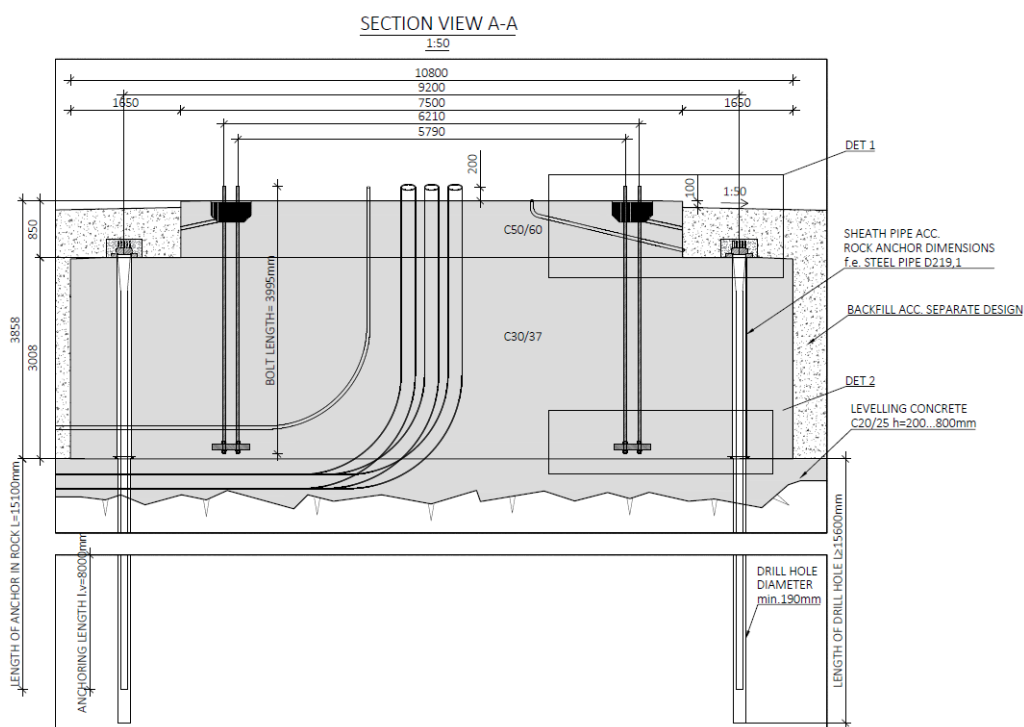
1	JOHDANTO	6
2	LAITTEET, MENETELMÄT JA MATERIAALIT	8
2.1	Poravaunutyypit ja porausmenetelmät	8
2.2	Injektointi ja juottaminen	8
2.2.1	Tiivistysinjektointi	8
2.2.2	Juottaminen	9
2.3	Ankkurit	9
3	SUUNNITTELU	12
3.1	Kalliotutkimukset	12
3.2	Kuormat	12
3.3	Ankkureiden toiminnan varmistaminen	12
4	KALLIOANKKUROINNIN TYÖVAIHEET	14
4.1	Poraus.....	14
4.2	Huuhtelu	14
4.3	Porareiän kuvaus	14
4.4	Vesimenekkikoe	15
4.5	Injektointi.....	17
4.6	Ankkurin asennus.....	17
4.7	Ankkurin juottaminen	17
4.8	Jännittäminen	17
4.9	Jälkityöt	20
5	RISKIT	21
5.1	Olosuhteisiin liittyvät riskit	21
5.2	Ankkurointityöhön liittyvät riskit	21
5.3	Taloudelliset ja aikataululliset riskit	22
6	KALLIOANKKUROINNIN TYÖVAIHEKORTTI (LIITE)	23
7	POHDINTA.....	24
	LÄHTEET	25

1 JOHDANTO

Tuulivoima ja sen rakentaminen Suomessa on kasvava markkina ja siihen on syynsä. Tuulivoima on puhdas ja ekologinen tapa tuottaa sähköä ja pienentää näin energiantuotannon hiilijalanjälkeä. Paikallisesti tuulivoiman rakentaminen luo työpaikkoja niin hankkeeseen keskeisesti liittyvien henkilöiden ja yritysten toimesta kuin ympärillä oleville sidosryhmillekin, kuten majoitus- ja ravintolapalveluille. Suurin työllistävä vaikutus rakennusvaiheen lisäksi on kuitenkin tuulivoimaloiden käytöstä ja kunnossapidosta tulevat työpaikat, kymmenen voimalaa tarvitsee keskimäärin kaksi huoltajaa. Tällä hetkellä Suomessa ilman valtion taloudellista tukea rakenteilla olevia voimaloita on 672 kappaletta, joiden kokonaisteho on 3947,62 MW ja viime vuonna valmistuneita voimaloita 141 kappaletta, joiden teho on 670,9 MW. Vuoden 2021 lopussa Suomen tuulivoimakapasiteetti oli 3257 MW, joten vuosien 2022–2025 rakenteilla olevat voimalat yli kaksinkertaistavat tuulivoimakapasiteetin määrän Suomessa. (Tuulivoimayhdistys 2022.).

Tuulivoiman rakentamista verrattaessa esimerkiksi ydinvoimaan voidaan todeta sen olevan huomattavan paljon nopeampaa ja edullisempaa, millä varsinkin tässä markkinatilanteessa, jossa pyritään kohti omavaraisuutta, on suuri merkitys. Keskimäärin voidaan todeta, että yhden megawatin tuulivoimateho maksaa noin miljoona euroa ja yhden voimalan teho vaihtelee 4,0–6,2 MW välillä. Olkiluoto 3:n kustannukset ovat nousseet lähelle 11 miljardia euroa ja voimalan teho on noin 1300 MW.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään tuulivoimalan perustuksen kallioankkuroinnin rakentamiseen ja siihen liittyviin toimenpiteisiin Suomessa. Tuulivoimalat perustetaan olosuhteista riippuen pääsääntöisesti maanvaraisesti (gravitaatioperustus) tai käyttämällä ankkureita kuormien siirtämisessä kallio-perään. Perustusten (kuvat 1–2, esimerkki perustuksesta) halkaisijat vaihtelevat tuulivoimalan koon ja vallitsevien perustamisolosuhteiden mukaan välillä 10–30 m ja betonin määrä yhdessä perustuksessa vaihtelee välillä 300–800 kuutiota sekä teräksen määrä välillä 10–100 tonnia.



KUVA 1. Kallioankkuroidun perustuksen mittakuva (SUVIC Oy 2022 Lapväärtti)

Kuvassa 1 kallioon poratun reiän pituus on $\geq 15,6$ m, reikien määrä 15 kpl, ja anturan kokonaiskorkeus 3,858 m ja halkaisija 10,8 m.



KUVA 2. Kallioankkuroitu perustus (Piipponen 2022)

2 LAITTEET, MENETELMÄT JA MATERIAALIT

2.1 Poravaunutyypit ja porausmenetelmät

Tuulivoimaloiden perustusten ankkurointiin käytetään erityyppisiä poravaunuja (kuva 3) vallitsevien olosuhteiden vaatimusten mukaisesti. Poravaunujen painot vaihtelevat välillä 6–30 t ja porattavien reikien halkaisijat 80–220 mm. Yleisesti reiän kokona käytetään 1,5 x ankkurin halkaisija.

Suomessa käytetään iskeviä porausmenetelmiä, joko päältä tai pohjalta iskeviä. Päältä iskevä pora soveltuu paremmin matalampien reikien porauksiin ja uppoporaus syvempien reikien porauksiin.



KUVA 3. Esimerkkikuva poravaunusta (SANDVIK-esite 2019)

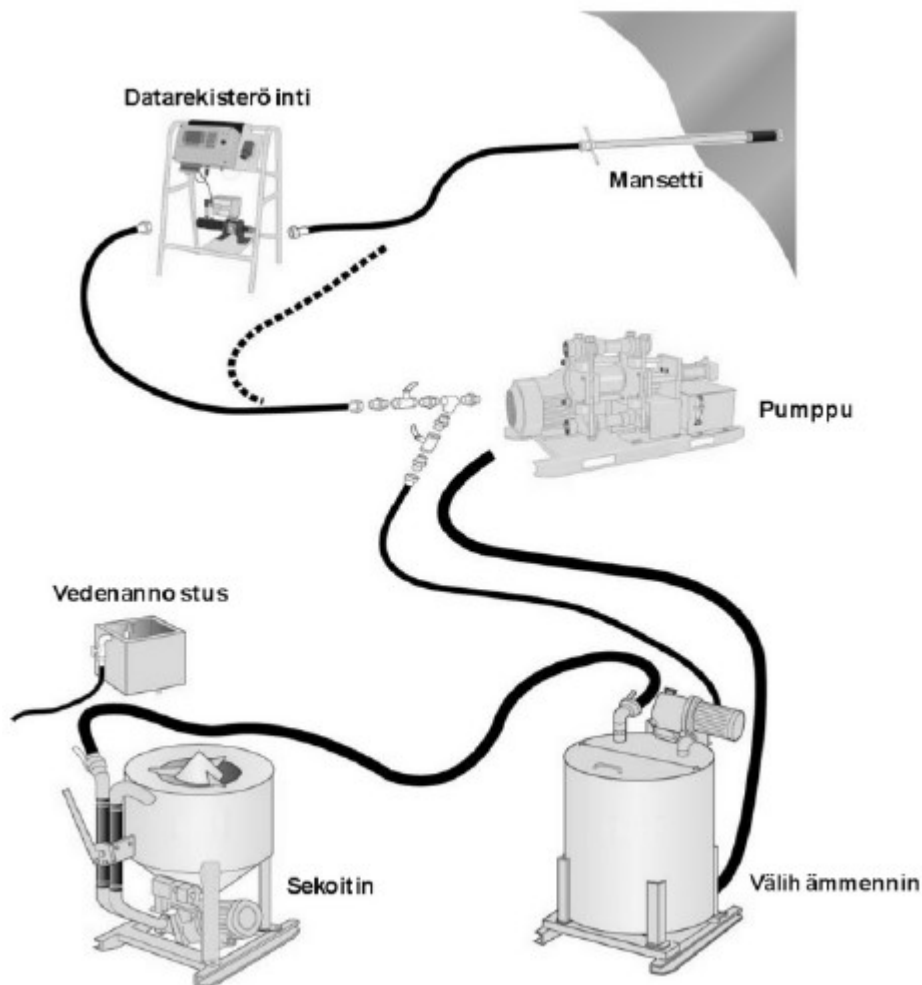
2.2 Injektointi ja juottaminen

2.2.1 Tiivistysinjektointi

Tiivistysinjektoinnilla tarkoitetaan kallion heikkolaatuisuuden vahvistamista ja mahdollisten vuotovesien tukkimista poratussa reiässä. Tarve injektoinnille syntyy vesimenekikokeen perusteella ja jos Lugeon-arvo ylittää suunnitelmissa määritetyn, reikä injektoidaan yleensä sementtipohjaisella injektointiaineella, jonka kovettumisen jälkeen reikä porataan uudelleen, keskimäärin 7 vuorokauden kulluttua injektoinnista. Porauksen jälkeen vesimenekikoe tehdään uudelleen.

Injektointikalustoon (kuva 4) kuuluu vedenannostelija sekoittajaan, sekoitin eli mylly, välihämmennin, pumppu sekä letkut. Lisäksi järjestelmässä tulee olla painetta ja virtausta mittaavat laitteet. Injektioinnin vaatimuksiin sisältyy, että injektioinnissa

- tulee käyttää kolloidityyppisiä sekoittimia
- sekoitusnopeuden tulee olla vähintään 1500 rpm
- käytettävän pumpun tulee pystyä tuottamaan 10MPa paine
- paineen ja virtausnopeuden tulee olla säädettävissä
- injektiointiletkujen tulee kestää suurin sallittu injektiointipaine.



KUVA 4. Periaatekuva injektointilaitteistosta (Suomen betoniyhdistys 2006)

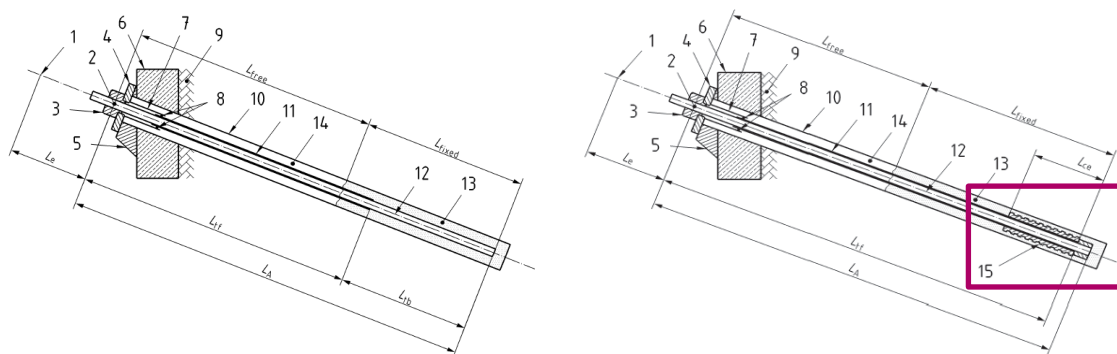
2.2.2 Juottaminen

Juottamisen tehtävä on siirtää ankkurille tulevat voimat ympäröivään kallioon. Kuten injektointikin, juotos tehdään yleensä sementtipohjaisella juotosmassalla mikä valitaan vallitseviin olosuhteisiin sopivaksi ja kuormitusten siirtoon riittäväksi.

2.3 Ankkurit

Kallioankkureina käytetään usein vapaalla pituudella asennettavia punos-, - tai tankoankkureita (kuva 5). Vapaalla pituudella tarkoitetaan ankkurin sitä osaa, jota ei juoteta kiinni kallioon, vaan joka mahdollistaa ankkurin elastisen venymän ja voimien siirtymisen kalliooperään ankkurin tartuntapituuden

osalta. Ankkuri voidaan kuitenkin betonoida maanpintaan saakka, jolloin voidaan varmistua juotoksen onnistuminen ja parannetaan entisestään korroosionkestävyyttä. Pysyvissä rakenteisissa ankkureiden tulee olla korroosiosuojattu standardin EN1537:2013 mukaisesti, jolla saavutetaan jopa 100 vuoden käyttöikä.

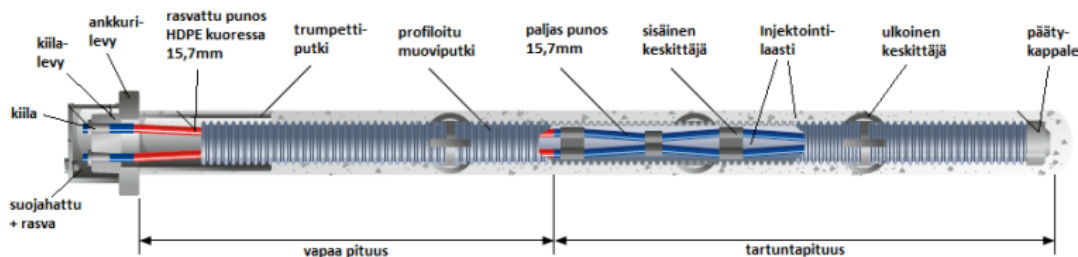


KUVA 5. Tartuntaan perustuvan ja puristukseen perustuvan maa- ja kallioankkurin havainnekuvat. (SFS-EN 1537:2013)

1. ankkurointipiste tunkissa jännitettäessä
2. ankkurin päässä oleva ankkurointipiste käytön aikana
3. ankkurin päässä sijaitseva jännityselementti
4. aluslevy
5. ankkurituki
6. tuettava rakenne
7. trumpetti ja ankkurin pään suojaputki
8. o-rengas
9. maa tai kallio
10. porattu reikä
11. suojaputki
12. jänne
13. tartuntapituuden injektointiaine
14. vapaan pituuden täyttö tarvittaessa
15. puristuselementti, paisuntakuori **kuvasa 5 kehystettynä.**

Ankkureiden materiaalien ja ominaisuuksien tulee olla sellaisia, että ne täyttävät niille annetut vaatimukset suunnitelluissa olosuhteissa dokumentoidusti ja standardin SFS-EN 1537:2013 mukaisesti.

Kuvassa 5 ja 6 punos- ja tankoankkurin ominaisuuksia Tensicon Oy:n maahantuomista vaihtoehdoista.



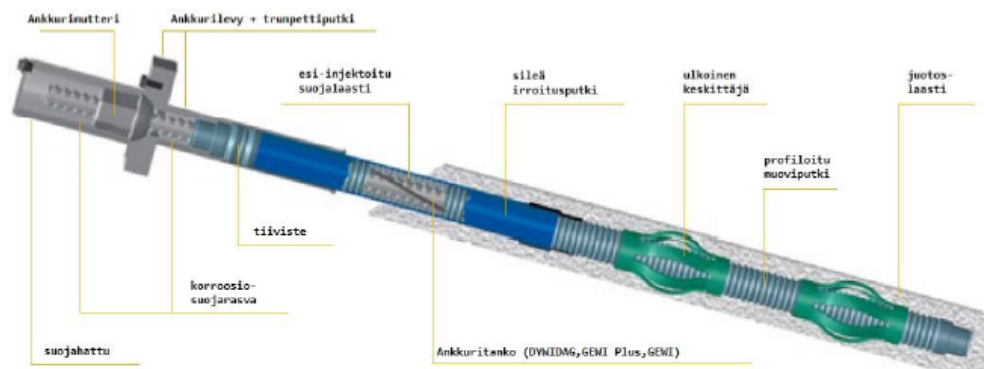
Tehokkaimpien punosankkurityyppien ominaisuudet alla olevassa taulukossa:

Punosankkureiden ominaisuudet, Ø15,7mm Y1860 (kallioreiässä injektoitavat)

Punosten määrä	Pinta-ala	Max. hetk Jännevoima 90%	Myötökuorma	Murto-kuorma	Min Ankkurointi- ipituus	Suojaputki	Min Kallioreikä	Ankkurilevyn koko	Kiilalevyn tyyppi	Ankkurilevyn reikä	Jännitysvara
[kpl]	[mm ²]	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]
5	750	1107	1230	1395	4,0	80	120	250 x 250 x 40	MA6805	90	800
7	1050	1550	1722	1953	5,0	80	120	300 x 300 x 45	MA6807	98	800
9	1350	1993	2214	2511	6,0	100	140	300 x 300 x 45	MA6809	115	1200
12	1800	2657	2952	3348	7,0	100	140	350 x 350 x 50	MA6812	130	1200
15	2250	3321	3690	4185	7,0	114	150	350 x 350 x 50	MA6815	150	1200
19	2850	4207	4674	5301	8,0	125	170	400 x 400 x 60	MA6819	161	1500
22	3300	4871	5412	6138	8,0	145	190	400 x 400 x 70	MA6822	178	1500
27	4050	5978	6642	7533	9,0	160	220	450 x 450 x 80	MA6827	190	1500
31	4650	6863	7626	8649	10,0	160	220	500 x 500 x 90	MA6831	216	1500

Huom: taulukon arvot viitteellisiä.

KUVA 5. Punosankkurin periaatekuva ja ominaisuuksia (Tensicon)



Yleisimpien tankoankkurityyppien ominaisuudet alla taulukoituna:

Tankoankkureiden ominaisuudet (esi-injektoidut)

Tyyppi	Pinta-ala A	Myötö- lujuus	Murto- lujuus	Max. hetk Jännevoima 90%	Myötö- kuorma	Murto- kuorma	Min Ankkurointi- i-pituus	Suojaputk i Ø	Min Kallioreikä Ø	Ankkurilevyn koko	Ankkurilevyn n reikä Ø	Jännitysvara
	[mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
36WR	1020	950	1050	872	969	1071	4,0	65	100	250 x 250 x 40	45	500
47WR	1735	950	1050	1483	1648	1822	5,5	80	120	300 x 300 x 40	60	500
57WR	2581	835	1035	1940	2155	2671	6,0	100	140	300 x 300 x 45	70	500
65WR	3331	835	1035	2503	2781	3448	6,5	100	140	325 x 325 x 50	80	500
75WR	4418	835	1035	3320	3689	4573	7,5	114	150	350 x 350 x 50	90	500
43TR	1466	670	800	884	982	1173	4,0	80	120	250 x 250 x 40	50	500
57,5TR	2597	670	800	1566	1740	2078	5,0	100	140	300 x 300 x 40	70	500
63,5TR	3167	670	800	1910	2122	2534	6,0	100	140	300 x 300 x 45	80	500
75TR	4418	670	800	2664	2960	3534	7,0	114	150	325 x 325 x 50	90	500
50T	1963	500	550	883	982	1080	4,0	80	120	250 x 250 x 40	60	500
63,5T	3167	555	700	1582	1758	2217	5,0	100	140	300 x 300 x 40	80	500
75T	4418	500	600	1988	2209	2651	6,0	114	150	300 x 300 x 45	90	500

Huom: taulukon arvot viitteellisiä.

KUVA 6. Tankoankkurin periaatekuva ja ominaisuuksia (Tensicon)

3 SUUNNITTELU

3.1 Kalliotutkimukset

Kalliotutkimusten tarkoituksena on saada riittävän kattava tieto rakennettavan alueen pohja- ja kallio-olosuhteista, jotta ankkuroinnin suunnittelu oikeiden lähtöarvojen perusteella on tarkempaa sekä ehkäistä mahdollisia vaikeuksia, jotka voivat olla haitallisia varsinaista työtä tehdessä. Urakoitsijan tulisi arvioida urakkalaskentavaiheessa suunnitelmissa esitettyjen tutkimustulosten määrää ja laatua sekä arvioida mahdollisten omien lisätutkimusten aiheuttamat lisäkustannukset. Tavallisimpia tutkimuksia kalliolle ovat porakonekairaukset, jolla porausvastuksen perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä kallion laadusta sekä sydännäytekairaukset, josta saadaan tietoa kallion ominaisuuksista havainnoimalla sekä laboratoriokokein. Standardin EN 1997-2 mukaan tarvittavat perusteet kalliomateriaalin kuvaukselle saadaan seuraavista laboratoriokokeista

- geologinen luokitus
- irtotiheyden määrittäminen
- vesipitoisuuden määrittäminen
- huokoisuuden määrittäminen
- yksiakiaalisen puristuslujuuden määrittäminen
- kimmokertoimen ja suppeumaluvun määrittäminen
- pistekuormituslujuusindeksikoe.

Tarpeellista on myös tutkia pohjaveden taso sekä veden laatu, koska perustukset sisältävät suuria määriä betonia ja terästä, joihin pohjaveden suurilla natrium- ja magnesiumsulfaattipitoisuuksilla tai mahdollisella pilaantuneisuudella voi olla syövyttäviä tai heikentäviä vaikutuksia.

3.2 Kuormat

Ankkureiden ja perustuksen mitoittamiseen tarvittavat kuormitustiedot tulevat pääsääntöisesti tuulivoimalan toimittajilta, jolloin suunnittelijan tehtäväksi tulee laskea ja määrittää ankkureiden riittävä määrä ja laatu varmuuskertoiminen. Yksi olennainen määritettävä asia on ankkurin toiminnan varmistaminen sekä kalliokartion paino, jotta sillä riittää kapasiteettia ottaa vastaan sille kohdistuva vetokuorma.

3.3 Ankkureiden toiminnan varmistaminen

Ankkuroinnin ja ankkureiden toimintaa ja testauksia voidaan tehdä kolmessa eri vaiheessa (SFS-EN 1537:2013).

Tutkimuskokeessa on tarkoituksena selvittää ankkurin:

- ulosvetokestävyys maan ja injektointiaineen rajapinnassa
- ankkurijärjestelmän kriittinen virumakuorma
- ankkurijärjestelmän virumisominaisuudet tartunnan pettämiseen asti tai
- ankkurijärjestelmän kuormahäviöominaisuudet käyttörajatilassa
- jänteen näennäinen vapaa pituus.

Tutkimuskoe tehdään suunnitteluvaiheessa ja siinä on käytettävä samoja suunnitteluarvoja, kuin varsinaiseen rakenteeseen tulevilla ankkureilla sekä kokeen sijainnin ja kallio-olosuhteiden tulee vastata varsinaisen rakennuspaikan olosuhteita. Jos aiemmin Suomessa on käytetty ankkurityyppejä, jota tullaan käyttämään varsinaisessa rakenteessa, tutkimuskoetta ei tarvitse tehdä.

Soveltuvuuskokeessa on tarkoituksena varmistaa tietyn mitoitustilanteen osalta:

- koekuorman kestävyys
- ankkurijärjestelmän virumis- tai kuormahäviöominaisuudet koekuormaan asti
- jänteen näennäinen vapaa pituus.

Hyväksyntäkokeella on tarkoituksena varmistaa jokaisen ankkurin osalta:

- ankkurin kyky kestää koekuormaa
- virumis- tai kuormahäviöominaisuudet käyttörajatilassa, jos tarpeen
- jänteen näennäinen vapaa pituus
- jättökuorman vastaavuus mitoituskuorman kanssa kitkaa lukuun ottamatta.

Jokaiselle kokeelle on olemassa kolme erilaista testausmenetelmää. Testausmenetelmää ei voi vaihtaa eri kokeiden aikana, vaan valittua menetelmää käytetään koko prosessin ajan. Kokeista saatavat tiedot tulee raportoida SFS-EN ISO 22477-2018 mukaisesti.

4 KALLIOANKKUROINNIN TYÖVAIHEET

4.1 Poraus

Poraus tehdään poravaunulla (kuva 7) työsuunnitelmissa annettuun syvyyteen suunnittelijan ohjeistuksen mukaisesti. Porausvyvydet vaihtelevat välillä 5–25 metriä. Porausessa on huomiotava, että maaperään aiheutetaan mahdollisimman vähän häiriintymistä, jotta olosuhteet säilyisivät ankkurin kannalta suotuisina. Mikäli porauksen aikana tehdään huomioita, että ankkuroitavassa kalliossa on esimerkiksi epäjatkuvuuskohtia, voidaan reiän kokoa kasvattaa ja asentaa reikään suoja-putki. Porauksesta tulee tehdä porauspöytäkirja, johon merkitään mm. mahdolliset poikkeamat.



KUVA 7. Esimerkkikuva poravaunusta työmaalla (Piipponen 2022)

4.2 Huuhtelu

Huuhtelun, tai ammattitermein puulauksen tarkoituksena on puhdistaa porareikä porasoijasta, vedestä ja mahdollisista maa- tai kallioaineksista. Puhtaus ja kuivuus on edellytyksenä juotoksen onnistumiselle. Paineilmaa voidaan myös käyttää reiän puhdistamisessa ottaen huomioon puhdistettavan reiän ja laatu ja käytettävä paine, ettei reiän ominaisuudet heikkene puhdistamisen vuoksi.

4.3 Porareiän kuvaus

Onnistuneiden kalliotutkimusten perusteellakaan ei voida täydellä varmuudella sanoa, millaista ankkuroitava kallio on yksittäisen reiän kohdalla. Ennen vesimenekkikoetta voidaan porattu reikä kuvata esimerkiksi viemärikameralla (kuva 8) ja saada esitietoa mahdollisista kallion heikkousvyöhykkeistä ja tämän tiedon avulla vesimenekkikoetta voidaan kohdentaa tiettyyn sijaintiin poratussa reiässä. Varsinkin ankkurin tartuntapituuden kuvaamisella voidaan saada tietoa mahdollisesta porareiän in- jektoimistarpeesta.



KUVA 8. Esimerkkikuva viemärikamerasta. (RIDGID SeeSnake Compact 2)

4.4 Vesimenekikoe

Vesimenekikokeen tarkoituksena on saada tietoa kallioperän ominaisuuksista, mm. epäjatkuuskohtista, tiiveydestä sekä säröilystä. Kallion laadun vaihtelevuus voi olla paikoitellen suurta ja yksi onnistuneen ankkuroinnin edellytyksenä onkin vesimenekikokeesta saatava vesimenekkiarvo, Lugeon ja sen tulkitseminen oikein.

$$Lugeon = \frac{Q}{Ipt}$$

jossa

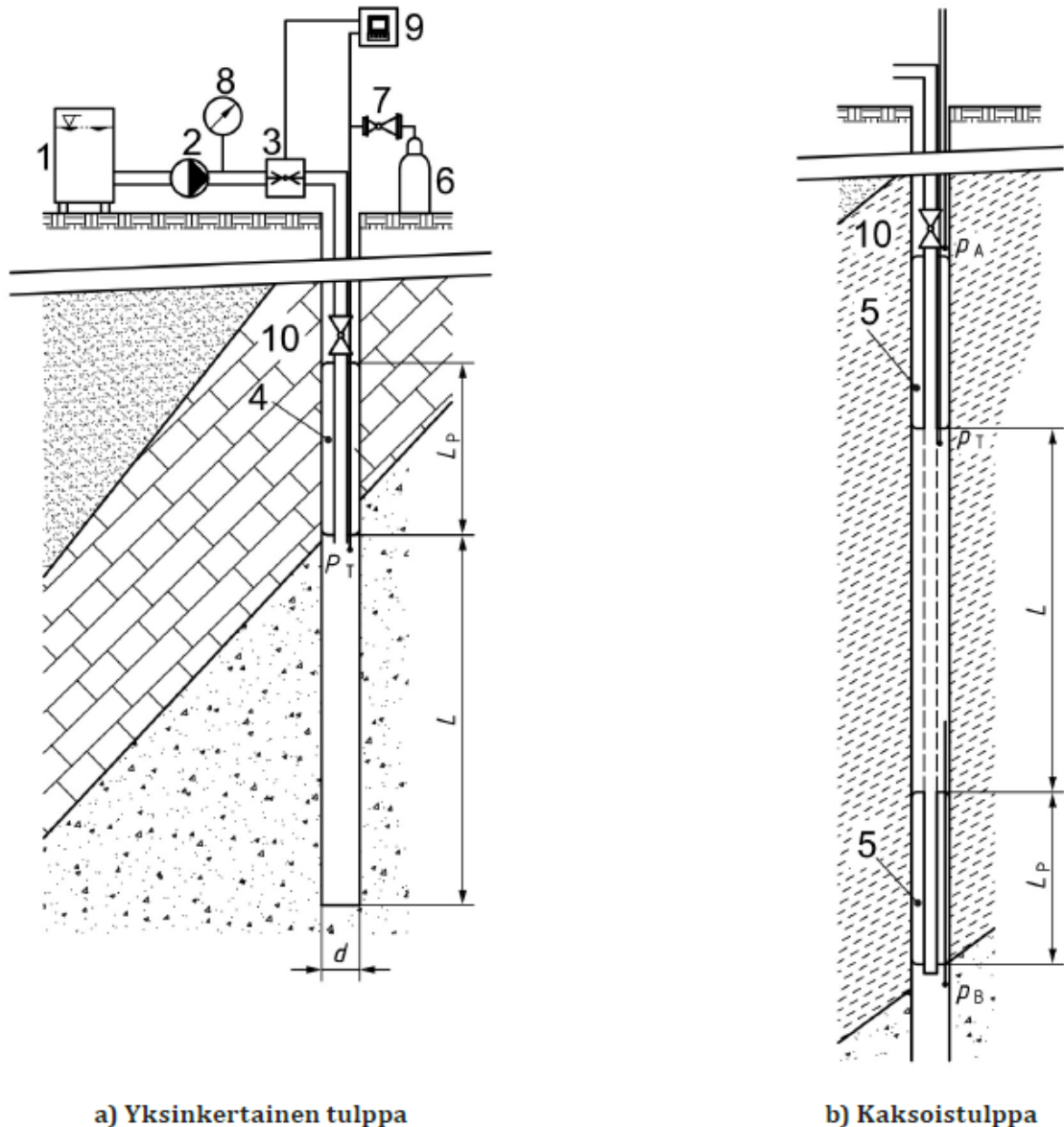
Q	vesimenekki (l)
I	tutkittavan porareian osuus pituusmetreissä (m)
p	ylipaine (MPa)
t	pumppausaika (min)

(RIL 166 Pohjarakenteet 1986,513).

Vesimenekikoe tulee suorittaa olemassa olevan standardin mukaisesti. (SFS-EN ISO 22282-3:2012). RIL pohjarakenteet-teoksen (RIL 166 Pohjarakenteet 1986,513.) mukaan kallioreikä tiivistetään ennen pysyvän ankkurin asennustyötä injektoimalla, jos vesimenekki on suurempi kuin 0,5 Lugeonia. SFS-EN 1537:2013 mukaan tiivistämistä ei yleensä tarvita, jos veden hävikki poratussa

reiässä tai ankkurissa ankkurin tartuntapituudella on alle 5 l/min 0,1 MPa:n ylipaineella pohjaveden paineeseen nähden 10 minuutin aikana mitattuna.

Vesimenekkipokeen laitteisto (kuva 9) koostuu seuraavista osista:



KUVA 9. Vesimenekkipokeelaitteisto (SFS-EN ISO 22282-3:2013)

1. vesilähde
2. pumppu
3. virtausmittari
4. paineella täytettävä yksinkertainen tulppa (a)
5. paineella täytettävä kaksoistulppa (b)
6. painekaasupullo
7. paineensäädin tulppia varten
8. painemittari
9. tietojen tallennusyksikkö
10. sulkuventtiili

- L koeosuuden pituus
- L_P tulpan pituus
- p_T tehollinen koepaine
- p_A tulpan yläpuolinen paine (valinnainen)
- p_B tulpan yläpuolinen paine (valinnainen).

4.5 Injektointi

Injektoinnin tehtävänä on tiivistää porattu reikä, ettei pohjavesi tai muut orgaaniset tai epäorgaaniset aineet pääse sekoittumaan ankkuroinnin ympärille tulevaan juotosvaluun. Mikäli kohdassa 4.4 vesimenekikokeen tulos on suurempi kuin suunnitelmassa raja-arvoksi määriteltä, niin porattu reikä tulee injektoida ja vesimenekikoe tulee suorittaa uudelleen.

Injektointiaineet ovat usein sementtipohjaisia ja laatu vaihtelee vallitsevien olosuhteiden sekä käytettävän ankkurityypin mukaisesti. Sementtilaastin alin lujuus- ja rakenneluokka on C28/35–2, ellei suunnitelmassa toisin mainita. Suunnittelija määrittää rasitusluokat ottaen huomioon ympäristön olosuhteet sekä käyttötarkoituksen By 2012/7 mukaisesti (RIL 266-2014 Kalliopultitusohje,17.)

4.6 Ankkurin asennus

Ennen ankkurin asentamista porattuun reikään on varmistuttava, varsinkin jos reikien porauksesta on kulunut aikaa, että porattu reikä on puhdas, vapaa esteistä sekä kuiva. Ankkurin tartuntapituuden korroosiolle alttiina olevat osat tulee puhdistaa mahdollisista epäpuhtauksista ja rasvasta sekä tarkastettava ankkurissa olevien keskittäjien hyvä kiinnitys. Keskittäjien välimatkat toisistaan ovat riippuvaisia jänteen jäykkyydestä ja sen metripainosta. Nämä ominaisuudet ilmenevät yleisesti jänteen valmistajan dokumenteista.

4.7 Ankkurin juottaminen

Ankkurin juottamisen tulisi tapahtua mahdollisimman pian porauksen jälkeen, ettei poratun reiän ominaisuudet heikkene. Juottaminen aloitetaan reiän pohjalta ylöspäin, jotta mahdollinen reikään jäänyt vesi syrjäytyy juotosmassan edellä ja nousee reiästä pois. Juottamisen onnistumisen edellytyksenä on juotosmassan oikea, suunnitelmassa ilmoitettu vesi-sementtisuhte, ilman lämpötila, ja sementissä käytetty veden laatu.

4.8 Jännittäminen

Ankkurin jännittäminen tapahtuu jännityslaitteen, tunkin avulla (kuva 10–11). Käytettävän tunkin täytyy olla kapasiteetiltaan sellainen, että se ylittää koevetokuorman vähintään 10 prosentilla sekä tunkin liikepituuden olisi oltava suurempi kuin jänteen koekuorman aiheuttaman venymän ja kuormansiirtorakenteen siirtymän summa. Lisäksi tunkin on kyettävä vetämään jännettä turvallisesti, tasaisesti ja akselin suuntaisesti testausmenettelyn mukaisesti sekä tunkin kalibrointitodistus on oltava saatavissa työmaalla ja kalibroinnista saa olla korkeintaan 12 kuukautta. Kuvassa 12 on kaaviokuva tyypillisestä tavasta mitata jänteen siirtymä riippumattomasta alkupisteestä.

Jännittämistyöstä tulee koostaa *raportti* mistä selviää seuraavat asiat (SFS-EN ISO 22477-5:2018):

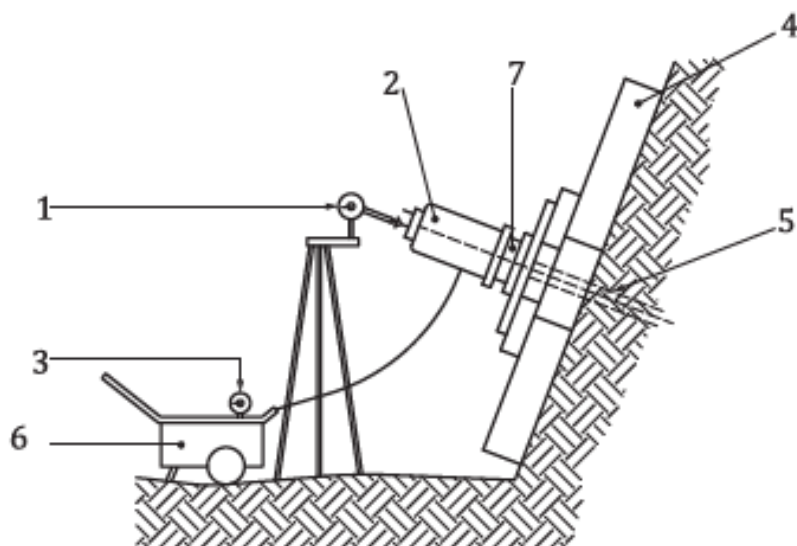
- viittaukset kaikkiin olennaisiin standardeihin
- ankkuria koskevat tekniset määrittelyt
 - o ankkurin sijainti, numero ja tyyppi
 - o asennuspäivä
 - o kaikki havaitut ankkurin asennukseen liittyvät seikat, jotka todennäköisesti vaikuttavat testituloksiin
 - o ankkurin mittatiedot ja materiaalin mekaaniset ominaisuudet
 - o ankkurin pään, tartuntapituuden pohjan ja maan pinnan tasot
- ankkurin testausta koskevat tekijät
 - o kokeen tekijän tiedot
 - o päivämäärä, jolloin koe on tehty
 - o suunnitelmissa määrätyn koekuorman arvo
 - o mittauslaitteiden kalibrointitiedot
- graafiset kuvaajat, jotka koskevat käyttöönotettuja testausmenetelmiä, joissa seuranta-ajan vähimmäiskriteeri on ylitetty.



KUVA 10. Esimerkkikuva hydraulitunkin paineyksiköstä työmaalla (Mämmelä 2021)



KUVA 11. Esimerkkikuva hydraulitunkista työmaalla (Piipponen 2022)



KUVA 12. Kaaviokuva jännityslaitteistosta (SFS-EN ISO 224477-5:2018)

4.9 Jälkityöt

Edellä olevien työvaiheiden jälkeen suoritetaan ankkurin jänteiden tai tangon katkaisu ja korroosiosuojaus joko muovisella tai metallisella suojahatulla tai jos kyseessä on ilman jälkikristystysvaraa olevat punokset, voidaan ankkurin päät betonoida. Kuvassa 13 valmis perustus.



KUVA 13. Valmis perustus. (Helaakoski, kuvausaika tuntematon)

5 RISKIT

5.1 Olosuhteisiin liittyvät riskit

Ankkuroitavien perustusten riskit liittyvät usein kallion olosuhteisiin, niiden tutkimiseen sekä tutkimustulosten oikeaan tulkintaan. Mikäli suunnitteluvaiheessa tehdyt tutkimukset ovat riittämättömiä tai niitä ei ole lainkaan, urakoitsijan täytyy varautua mm. aikataulullisesti sekä taloudellisesti siihen, että perustusolosuhteet eivät ole sellaiset, kuin tarjousasiakirjoissa on väitetty. Vähimmäisvaatimuksena voidaan pitää kalliopinnan korkeusaseman määrittämistä, keskinkertainen arvio kalliosta saadaan kairaamalla esimerkiksi kolmen metrin syvyyteen kalliopinnasta ja ankkurointisyvyyteen kairaamalla sekä vesimenekikokeen teolla voidaan tehdä johtopäätöksiä kallion ominaisuuksista perustuspaikalla. Sydännäytekairauksia tehdään harvoin, mikä osittain johtuu tutkimuksen pitkästä kestosta ajallisesti ja kaluston vähyydestä Suomessa.

Veden vaikutukset ovat keskeisessä roolissa onnistuneen ankkuroinnin kannalta. Ankkurin juottamisessa ja injektointissa tulee varmistua veden määrästä ankkuroitavassa reiässä, koska se olennaisesti vaikuttaa juotos- ja injektointimassan lujittumiseen. Liian suuri vesimäärä heikentää massan ominaisuuksia ja estää ankkurin riittävän kiinnittymisen ympäröivään kallioon. Ympäristöstä reikään valuvien vesien määrä tulee myös minimoida ja erityisesti kiinnittää huomiota ennen perustusta valettavan työlaatan ja kallion välisiin vuotoihin.

5.2 Ankkurointityöhön liittyvät riskit

Aiempaa ankkurointikokemusta omaavat henkilöt työn toteutuksessa ovat arvokkaita tekijöitä riskejä arvioitaessa, koska työtapojen vakiintuessa konkreettinen rakentaminen sujuu yleensä kokeneelta työryhmältä tehokkaammin kuin työryhmältä, jonka kokemus on vielä vähäistä. Tällaisessa tilanteessa työtä johtavien henkilöiden tulee panostaa normaalia enemmän kokemattoman työryhmän perehdyttämiseen, työvaiheiden opastamiseen ja ”kerralla oikein”-tyyliisiin toimintamalleihin.

Ankkuroinnin työvaiheista kaksi on riskeiltään suurempia kuin muut. Injektointin epäonnistuminen voi johtaa suhteellisen pitkiin odotusaikoihin, koska keskimäärin injektointin kuivumisaika kestää 7 vuorokautta ja jos injektointi ei onnistu ensimmäisellä tai useammalla kerralla, johtaa se usein perustuksen osalta aikatauluviiveisiin. Injektointin epäonnistuminen voi johtua esimerkiksi liian kylmistä olosuhteista tai käytettävän injektointimassan virheellisistä ominaisuuksista kuten liian suuren veden määrästä massassa. Injektointiin ja juottamiseen liittyy myös keskeisenä osana rakennusaika. Talviaikaan sijoittuvat ankkurointityöt sisältävät suuren epäonnistumisen riskin pakkasesta johtuvista syistä. Jos injektointi- tai juotosmassa pääsee jäätymään, niin sillä on hetkellisesti suuri lujuus, mutta sulaessaan lujuuskato on niin suuri, että pahimmassa tapauksessa jo koevedetty ankkuri irtaantaa.

Ankkurin tai jonkin sen osan korrosio voi olla myös yksi riskitekijä työmaalla. Yleensä vaaditaan käytettäväksi kaksoiskorrosiosuojattuja ankkureita (DCP) mitkä suojataan jo tehtaalla, mutta varsinkin punosakkureiden tapauksessa yksittäisen punoksen jänteet saattavat olosuhteista johtuen korrosoitua, mikä johtaa ankkurin kapasiteetin heikentymiseen. Korrosioituminen käynnistyy

yleensä punosten yläpäästä, koska esimerkiksi koevetovaiheessa yksittäiseen tai useampaan punokseen tullut kolhu tai rikko saattaa jäädä huomaamatta ja mikäli punosten yläpään korroosiosuojaus ei kenttäolosuhteissa onnistu kunnolla, niin korroosio voi edetä syvemmälle ankkuriin.

5.3 Taloudelliset ja aikataululliset riskit

Taloudelliset ja aikataululliset riskit kulkevat usein lähellä toisiaan. Kohdissa 5.1 ja 5.2 esitetyt riskitekijät vaikuttavat toteutuessaan negatiivisesti niin taloudellisesti kuin aikataulullisesti. Esimerkiksi yhden reiän injektointivaiheen uusiminen yhteen kertaan aiheuttaa vähintään 7 vuorokauden viivästyksen yhdellä perustuksella ja työkustannusten määrä on useita tuhansia euroja. Urakkasopimusvaiheessa tilaajan kanssa kannattaa keskustella aktiivisesti vaihtoehtoisista työtavoista, jos on syitä epäillä olosuhteiden haitallista vaikutusta ankkurointityöhön.

Mikäli ankkuroinnin työvaiheet onnistuvat suunnitellusti, ilman negatiivisten riskien realisoitumista, on ankkuroitava perustus usein huomattavasti edullisempi perustusratkaisu. Suurin kustannusero syntyy materiaalikustannuksista, koska gravitaatioperustuksessa käytettävän betonin ja teräksen osuus on moninkertainen verrattuna ankkuroitavaan perustukseen. Ajallisesti molemmilla tavoilla perustaminen vie noin kolme viikkoa.

6 KALLIOANKKUROINNIN TYÖVAIHEKORTTI (LIITE)

Työvaihekortti on salassa pidettävä dokumentti, eikä sitä julkaista tässä raportissa.

7 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin tuulivoimalan perustuksen kallioankuroinnin toteutukseen ja selvitettiin kirjallisuuden ja kenttätiedon avulla eri vaiheiden keskeiset tekijät, vaatimukset ja määräykset. Työstä tehtiin työohjekortti asiakasyritykselle, Niskasen Maansiirto Oy:lle ja sitä tullaan hyödyntämään kohteissa, jossa kyseistä työtä tullaan mahdollisesti tulevaisuudessa tekemään. Työohjeen avulla ankkuroinnin vaiheet tulevat selkeästi esille, mikä helpottaa mm. dokumentaation tekemistä sekä auttaa eri työvaiheiden suunnittelussa ja aikatauluttamisessa.

Opinnäytetyön aikana oma tietämys aiheesta, joka prosessin alkaessa oli vähäinen, kasvoi merkittävästi. Varsinkin erilaisten riskien huomioiminen ankkuroinnin eri vaiheissa on lisännyt ymmärrystä aiheesta laajasti. Käytyjen keskustelujen ja kirjallisuudesta saatujen tietojen perusteella omat lähtökohdat ankkuroinnin toteuttamiseen ja työohjekortin laatimiseen vahvistuivat merkittävästi.

LÄHTEET

- Helaakoski, Matti. Valmis perustus. Valokuva. Kuvausaika tuntematon. Pyhäjoki: Matti Helaakosken kokoelmat
- Mämmelä, Miika 2021. Hydraulitunkin paineyksikkö työmaalla. Valokuva. Kuvausaika tuntematon. Pyhäjoki: Miika Mämmelän kokoelmat
- Piipponen, Mikko 2022. Ankkuroitu perustus. Valokuva. 20.4.2022. Lapväärtti: Mikko Piipposen kokoelmat
- Piipponen, Mikko 2022. Hydraulitunkki työmaalla. Valokuva. 20.4.2022. Lapväärtti: Mikko Piipposen kokoelmat
- Piipponen, Mikko 2022. Poravaunu työmaalla. Valokuva. 20.4.2022. Lapväärtti: Mikko Piipposen kokoelmat
- RIGDIG 2022. SeeSnake Compact2 ja VERSA-kamerajärjestelmä. Valokuva. <https://www.ridgid.eu/fi/fi/compact2-with-versa#> viitattu 21.2.2022.
- RIL 166 1986. Pohjarakenteet 1986 Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- RIL 266-2014. Kalliopultitusohje 2014 Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- Sandvik 2019. Esite Sandvik Ranger DX800R S5 Surface Drills. Valokuva. <https://www.rocktechnology.sandvik/fi/laitteet/maanpäälliset-porauslaitteet/maanpäälliset-päältäiskevät-porauslaitteet/ranger-dx800r-maanpäälline-päältäiskevä-porauslaite/>. Viitattu 28.2.2022.
- SFS-EN 1537:2013 Pohjarakennustyöt. Maa- ja kallioankkurit. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. Viitattu 25.3.2022
- SFS-EN 1997-2 + AC Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu osa 2: Pohjatutkimus ja koestus. Maan luokituskokeet. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto. Viitattu 26.3.2022
- SFS-EN ISO 22477:2018 Geotekninen tutkimus ja testaus. Geoteknisten rakenteiden testaaminen. Osa 5: Injektoitujen ankkurien testaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Viitattu 26.3.2022
- SFS-EN ISO 22282-3:2013 Geotekninen tutkimus ja testaus. Geohydrauliset kokeet. Osa 3: Kalliope-
rän vesimenekikokeet. Kuva vesimenekikokeen laitteistosta ja koejärjestelyistä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Viitattu 28.3.2022
- SFS-EN ISO 22477:2018 Geotekninen tutkimus ja testaus. Geoteknisten rakenteiden testaaminen. Osa 5: Injektoitujen ankkurien testaus. Kaaviokuva jännityslaitteistosta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Viitattu 27.3.2022
- Suovic Oy. Kallioankkuroidun perustuksen mittakuva 2022. Kuva.
- Tuulivoimayhdistys julkaisuaika tuntematon. Miksi tuulivoimaa. Verkkojulkaisu. [tuulivoimayhdistys.fi verkkopalvelu tuulivoimasta. https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/miksi-tuulivoimaa](https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/miksi-tuulivoimaa). Viitattu 8.2.2022