



Kaivantojen tukeminen kunnallisteknisissä töissä

Jussi Heittola

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2019

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

HEITTOLA, JUSSI:

Kaivantojen tukeminen kunnallisteknisissä töissä

Opinnäytetyö 50 sivua
Huhtikuu 2019

Kaivantojen tekeminen rakennusalalla on päivittäistä toimintaa. Kaivantoja tehdään hyvin monenlaisissa olosuhteissa. Pohjaolosuhteet vaihtelevat eri työmaiden välillä huomattavasti. Jokainen kaivanto on suunniteltava ja toteutettava yksityiskohtaisesti. Yksi kaivantojen tärkeimmistä asioista on työturvallisuus, joka taataan kaivantojen tukemisella.

Kaivantojen toteutus tehdään tukemattomana tai tuettuna pohjaolosuhteet ja kaivannon syvyys huomioon ottaen. Tukimenetelmät soveltuvat ominaisuuksiltaan eri maaperäolosuhteissa käytettäviksi. Jokaisella kaivantotukimenetelmällä on omat hyvät ja huonot puolensa. Suurimpia vaikuttavia tekijöitä ovat maaperän laatu ja kaivannon syvyys. Hyvillä maaperään tehtävillä pohjatutkimuksilla oikean tukimenetelmän valinta helpottuu.

Opinnäytetyössä perehdyttiin eri kaivantotukimenetelmien ominaisuuksiin ja niiden käyttökohteisiin. Työssä selvitettiin eri kaivantotukimenetelmien soveltuvuutta ja käyttöä kunnallisteknisten kaivantojen toteutuksessa. Työssä tutustuttiin myös massa- ja pilaristabiloinnin käyttöön pohjamaan vahvistamiseksi kaivannon alueella. Maanjäädymiseen perehdyttiin maaperän väliaikaisena lujitusmenetelmänä.

Käytetyimpinä kaivantotukimenetelmiä Suomessa ovat kunnallisteknisten kaivantojen yhteydessä ponttiseinät ja kaivantotukielementit. Kaivantotukielementtejä on saatavilla monenlaisia ja niitä voidaan käyttää vakaisissa pohjaolosuhteissa. Vaativimmissa kohteissa ponttiseinä on käyttökelpoinen ratkaisu ominaisuuksiensa vuoksi. Kaivannon tekeminen luiskattuna on myös yleinen menetelmä ja taloudellisesti kannattavin ratkaisu toteuttaa kaivanto, jos se vain on mahdollista.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

HEITTOLA JUSSI:
Excavation Support in Municipal Engineering Excavation

Bachelor's thesis 50 pages
April 2019

Making excavations is a daily activity in the construction industry. Excavations are made in very different conditions. The ground conditions vary considerably with different work sites. Each excavation must be planned and carried out in detail. Occupational safety is one of the most important things in the implementation of excavation. The whole process of excavation work from design to implementation should be done so that occupational safety is taken into account.

The implementation of excavations is done unsupported or supported depending on the ground conditions. Different support methods are suitable for use in different soil conditions. Every excavation support method has its own pros and cons. There are many things that affect the selection of the excavation support. The most important factors are the quality of the soil and the depth of the excavation. Good ground investigations make choosing the right support method easier.

The aim of this thesis was to examine different excavation support methods and their uses. The aim of the thesis was to investigate the suitability and use of different excavation support methods in municipal engineering excavations. The use of mass stabilization and dry soil mixing were also in the focus. Soil freezing was studied as a temporary soil consolidation method.

The most widely used excavation support methods in municipal engineering excavations in Finland are sheet pile walls and trench shoring. There are many types of trench shores available and they can be used in stable ground conditions. In the most demanding areas, the sheet pile wall is a very useful solution. Sloping trench is also a common method and the most economical solution to implement, if the circumstances allow its use.

Key words: excavation, excavation support, municipal engineering

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	KAIVANNOT	7
2.1	Yleistä kaivannoista	7
2.2	Suunnittelu ja työnjohdon pätevydet	7
2.3	Pohjatutkimukset putkikaivannoille tai vastaaville kaivannoille.....	8
3	KUNNALLISTEKNISET KAIVANNOT	10
3.1	Luisattu kaivanto.....	10
3.2	Tuettu kaivanto	12
3.3	Kaivantojen vesienhallinta.....	13
4	KAIVANTOJEN TUENTA- JA VAHVISTUSMENETELMÄT	15
4.1	Tuentatyyppin valinta	15
4.2	Kevyet tuennat	16
4.2.1	SBH- vaneri tuki	16
4.3	Settiseinä.....	18
4.3.1	Yleistä settiseinästä	18
4.3.2	Settiseinän rakentaminen ja käyttö.....	20
4.3.3	Settiseinän purkaminen	21
4.4	Tuentaelementit	22
4.4.1	Yleistä elementtitiusta.....	22
4.4.2	Elementtituen asennus ja poisto	24
4.5	Teräsponttiseinä	25
4.5.1	Yleistä teräsponttiseinistä.....	25
4.5.2	Teräsponttiprofiilit ja niiden valinta	26
4.5.3	Käyttökohteita	28
4.5.4	Veden läpäisevyys.....	28
4.5.5	Asennus	29
4.5.6	Asennuskalusto	30
4.5.7	Teräsponttiseinän purkaminen	31
4.6	Stabilointi.....	32
4.6.1	Yleistä stabiloinnista	32
4.6.2	Pilaristabilointi	34
4.6.3	Massastabilointi	36
4.7	Tukiseinän tuenta	38
4.7.1	Yleistä tukiseinän tuennasta.....	38
4.7.2	Tukiseinän ulkopuolinen tuenta	38
4.7.3	Tukiseinän sisäpuolinen tuenta	39

4.7.4 Tukiseinän alapään tuenta.....	41
4.8 Maan jäädytyksen hyödyntäminen kaivantotöissä.....	41
5 YHTEENVETO KAIVANTOJEN TOTEUTUSMENETELMISTÄ.....	44
6 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	47
6.1 Johtopäätökset.....	47
LÄHTEET.....	49

1 JOHDANTO

Kunnallisteknisiä kaivantotöitä tehdään jatkuvasti asutetuilla alueilla. Asutuksen ja ihmisten jokapäiväisen elämän toimivuuden takaamiseksi, on kunnallistekniikka tärkeää. Kunnallistekniikkaa tehdään jatkuvasti uutta ja saneerataan vanhaa. Kunnallistekniset rakenteet kulkevat usein katujen ja teiden alla. Tehtävät kaivannot ovat yleensä putki- ja johtokaivantoja. Kaivantojen kapeuden vuoksi, niiden oikeanlainen toteutusmenetelmä asennustöiden turvaamiseksi on ensiarvoisen tärkeää.

Kunnallistekniset työt voivat sijoittua harvemmin asutuilta seuduilta isojen kaupunkien keskusta-alueille. Kaivantojen vaativuusluokat vaihtelevat siten kohteiden mukaan huomattavasti. Kaivannot voivat olla hyvin matalia tai syviä. Siksi jokainen työkohte on erilainen ja niiden toteutus suunnitellaan juuri kohteelle sopivaksi. Maaperän ominaisuudet voivat vaihdella hyvinkin paljon putkilinjan mitalla. Eri tuentamenetelmät sopivat erilaisiin kohteisiin, joten tuentatapojen ominaisuuksien tunteminen on tärkeää ja ammattimaista.

Tämän opinnäytetyö tarkoituksena on tutkia ja selvittää keskeisiä kaivantotukimenetelmiä ja niiden soveltuvuutta kunnallisteknisten töiden yhteyteen. Työssä kerrotaan eri kaivantotukimenetelmistä ja niille soveltuvista käyttökohteista. Työssä perehdytään myös kaivantotukimenetelmien asennukseen, purkamiseen ja käytön haasteisiin. Tukimenetelmien valintaperusteita selvitetään yleisesti.

Stabilointia ja maanjäädymistä voidaan hyödyntää kaivantotöissä jossain määrin maapohjan lujittamiseen. Työssä selvitetään pilari- ja massastabiloinnin käyttöä kaivantotöiden yhteydessä. Maanjäädymykseen perehdytään menetelmänä.

Työ rajataan koskemaan kunnallisteknisten kaivantojen toteutusta. Käsiteltävät menetelmät rajataan menetelmiin, joita voitaisiin käyttää kunnallisteknisten töiden yhteydessä. Työssä ei käsitellä pysyviksi suunniteltuja tukirakenteita. Laajojen kaivantojen kuten rakennusten pohjatöissä syntyvien kaivantojen tukiseinien ominaisuuksia tai vaatimuksia ei myöskään käsitellä työssä.

2 KAIVANNOT

2.1 Yleistä kaivannoista

Kaivantojen tekeminen rakennustöiden yhteydessä on välttämätöntä. Kaivuutöitä tehdään kaikilla rakennusalan osa-alueilla kuten esimerkiksi vesihuollon, tien- talon-, ja radanrakennus työmailla. (Rantanen, Harju, Norokorpi, & Uusitalo 2013, 11.)

Kaivuutyöt määritellään laissa vaarallisiksi töiksi. Vuosittain kaivantotöissä kaivantojen sortumisen takia menehtyy 1-3 työntekijää. Kaivannoista aiheutuu vuosittain useita vaaratilanteita. (Rantanen ym. 2013, 11.)

Kaivantotöiden suunnittelu ennen toteutusta on tehtävä aina hyvin. Suunnittelussa ja työn toteutuksessa on otettava vallitsevat pohjaolosuhteet huomioon. Suunnitelmat tulisi toteuttaa riittävän kattavien pohjatutkimusten perusteella. (Rantanen ym. 2013, 11.)

Toteutusvaiheessa kaivannon tekeminen ja työt kaivannossa tehdään työturvallisuus erityisesti huomioon otettuna. Suunnittelijan on otettava toteutusvaiheen onnistumiseksi huomioon myös kaivantoon kulkeminen ja työmaaliikenne. Työmaalla huomioitavaa ovat esineet kaivannon ympärillä. Kaivantoon putoavat tai vierivät esineet voivat aiheuttaa vaaratilanteita kaivannossa työskenteleville. (Rantanen ym. 2013, 22.)

2.2 Suunnittelu ja työnjohdon pätevyudet

Kaivantosuunnitelma tehdään kaikkiin yli 2 metriä syviin kaivantoihin. Kaivantosuunnitelma pitää tehdä myös alle 2 metriä syviin kaivantoihin, jos on olemassa sortumavaara. Kaivantosuunnitelmalla tarkistetaan tuentatarve, kaivuusyvyys, luiskan kaltevuus ja ulkopuoliset tekijät, jotka vaikuttavat kaivantoon. Kaivuu tehdään kaivantosuunnitelmien mukaan ja varmistetaan, että varmuus sortumista vastaan säilyy koko työskentelyn ajan. (InfraRYL2010 2010, 194.)

Kaivannot luokitellaan kolmeen vaativuusluokkaan, jotka ovat tavanomainen, vaativa ja erittäin vaativa. Kaivantojen suunnittelun perustana toimii eurokoodijärjestelmä. Kaivannot luokitellaan eurokoodien geoteknisten luokkien GL1-GL3 ja seuraamusluokkien CC1-CC3 mukaan. Valinnan kaivannon vaativuusluokasta tekee vastaava pohjarakennesuunnittelija. (Kaivanto-ohje 2014, 13.)

Putkikaivantojen luokitus tehdään saman ohjeen mukaan. Putkikaivannoissa luokitus poikkeaa kuitenkin hieman syvyyksien osalta. Putkikaivannot ovat yleensä kapeita ja luiskan sortuminen vaarallista, koska kaivannossa olevalla työntekijällä on suuri riski jäädä sortuvan luiskan alle. (Kaivanto-ohje 2014, 15.)

Kaivantotöissä toimivan vastaavan työnjohtajan kelpoisuusvaatimukset tulevat maankäyttö- ja rakennuslaista. Työnjohdon tehtävät luokitellaan vastaavasti kuin kaivantojen vaativuusluokat. Vaativuusluokkia ovat poikkeuksellisen vaativa työnjohtotehtävä, vaativa työnjohtotehtävä ja tavanomainen työnjohtotehtävä. Kuhunkin luokkaan kelpoisuusvaatimuksena on riittävä koulutus, kokemus ja perehtyneisyys tehtävän hoitamiseen. (Kaivanto-ohje 2014, 17.)

2.3 Pohjatutkimukset putkikaivannoille tai vastaaville kaivannoille

Putkikaivannon pituuden takia pohjaolosuhteet, ympäristö ja kaivantorakenteiden vaativuus voivat vaihdella putkilinjan matkalla oleellisesti. Putkilinja on suositeltavaa jakaa homogeenisiin osuuksiin. Osuuksien jako onnistuu maaperäkarttojen, maastokatselmusten, ja pohjatutkimusten perusteella. Pohjatutkimusohjelma voidaan osuuksiin jaon jälkeen suunnitella kullekin osuudelle erikseen. (Kaivanto-ohje 2014, 27.)

Pohjatutkimuksia tehdessä näytteet otetaan yleensä putkilinjan keskikohdalta. Joskus tutkimuspisteitä voidaan kuitenkin ottaa kaivannon keskilinjalta poiketen. Tutkimuspisteiden tarpeellisuutta keskilinjan sivusta tulee harkita tilanteen mukaan. Esimerkiksi kaivannon ollessa rinteiden kaltevilla osuudella tulee tutkimukset tehdä kokonaisvakavuuden kannalta tärkeältä alueelta. (Kaivanto-ohje 2014, 27.)

RIL 263-2014 Kaivanto-ohjeen mukainen putkikaivantojen pohjatutkimusohjelma suositus on seuraavanlainen:

- Tehdään rakennuspaikan kartoitus
- Selvitetään maapohjan kerrosrakenne ja maalajit
- Tutkitaan maakerrosten geotekniset mitoitusarvot
- Selvitetään kalliopinnan sijainti ja rikkonaisuus
- Selvitetään pohjaveden taso kaivantolinjalla ja sen ympäristössä
- Tutkitaan pohjaveden virtausolosuhteet maapohjassa sekä kalliossa

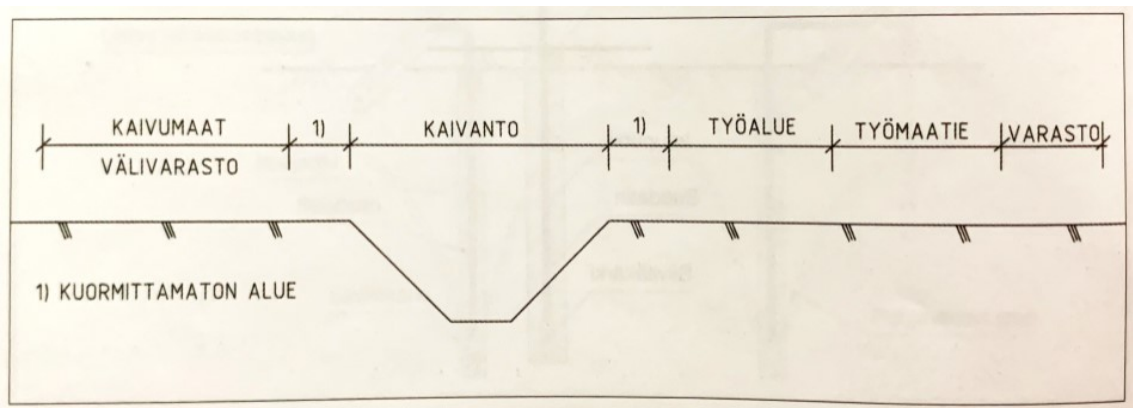
Kaivannon vaativuusluokka määrittää tutkimuspistemäärän. (Kaivanto-ohje 2014, 28.)

Kaivantoa suunnitellessa lähtötiedoissa on myös huomioitava kaivannon vaikutusalueella olevat rakennukset ja rakenteet. Erityyppisillä ja ikäisillä rakenteilla on erilainen vaurioherkkyys. Samassa yhteydessä selvitetään myös kaikki muu tekniikka maan alta esimerkiksi hulevesiviemärit, jätevesiviemärit, vesijohdot, kaasujohdot, kaukolämpöjohdot, sähkökaapelit ja puhelinkaapelit. (Rantanen ym. 2013, 19.)

3 KUNNALLISTEKNISET KAIVANNOT

3.1 Luiskattu kaivanto

Luiskattu kaivanto (Kuva 1) on kaivanto, jonka reunat on luiskattu suunnitelmissa esitettyyn kaltevuuteen. Kaltevuuden maksimiarvot on saatu pohjatutkimusten perusteella laadituista laskelmista. Laskelmien toteutuksen tekee suunnittelija. Kaltevuuden maksimiarvot vaihtelevat maaperän koostumuksen ja kaivannon ulkopuolisten rasitusten mukaan.



Kuva 1. Esimerkki luiskatusta kaivannosta ja sen ympärillä olevasta tilantarpeesta. (Kaivanto-ohje 2014, 74)

Kaivannon luiskat ovat yleensä auki kaivuun jälkeen kosteat. Kosteus pitää luiskia kasassa näennäisen koheesion ansiosta. Kosteuden haihtuessa luiskan varmuus pienenee. Sama tapahtuu luiskan kastuessa liikaa. Esimerkkinä samankaltainen ilmiö tapahtuu, jos maa-aineksesta muotoillaan pallo. Kosteuden ollessa optimaalinen pallo pysyy kasassa, mutta kuitenkin hajoaa maa-aineksen kuivuttua tai kastuttua liikaa. (Työsuojeluhallinto 2010.)

Luiskatun kaivannon varmuus sortumista vastaan tulee olla varmistettu. Valtioneuvoston asetuksen VNa 205/2009 34§:n /9/ mukaan kaivannon sortumista vastaan pitää olla luotettava selvitys. Luotettavana selvityksenä voidaan pitää kaivantosuunnitelmaa. Hyväksyttävän kaivantosuunnitelman laatijana pitää olla työhön pätevä suunnittelija, pohjatutkimuksia alueelta on tehty riittävä määrä ja suunnitelma on laadittu ohjeistuksen mukaan. Jos luiskattua kaivantoa ei saada toteutettua riittävän turvallisena sortumista vastaan järkevillä ratkaisuilla, kaivanto tehdään tuettuna. (Kaivanto-ohje 2014, 44.)

Kaivannon tekeminen luiskattuna on yleensä halvempi ratkaisu, jos luiskattu ja tuettu kaivanto ovat molemmat käytettävissä olevia vaihtoehtoja. Kaivannon tekeminen luiskattuna lisää maansiirtotöitä niin kaivettaessa kuin täytettäessäkin. Kaivannon ollessa leveämpi myös pintatyöt lisääntyvät, esimerkiksi asfaltin levittäminen. (Kaivanto-ohje 2014, 44,45.)

Kaivannon tekeminen luiskattuna vaatii enemmän tilaa kuin tuettuna. Kaivannon luiskien tulee mahtua käytettävissä olevaan tilaan. (Kaivanto-ohje 2014, 44,45.) Matalien kaivantojen toteutus pyritään mahdollisuuksien mukaan tekemään aina luiskattuna (Rantanen ym. 2013, 19).

Luiskatun kaivannon tilantarve määräytyy luiskan kaltevuuden mukaan. Kaivannon luiskan kaltevuus saadaan selville vakavuuslaskelmista, jotka suunnittelija tekee. Luiskien kaltevuuden mitoituksessa on otettava kaikki tekijät huomioon, jotka vaikuttavat kaivannon vakavuuteen. Vakavuuteen vaikuttavat esimerkiksi kaivannon läheisyydessä ulkopuoliset kuormitukset, pohjaveden korkeusvaihtelut, pohjaveden suotovirtaus, maaperän häiriintyminen ja huokospaineen nousu esimerkiksi paalutuksen johdosta. (Kaivanto-ohje 2014, 133.)

Luiskatun kaivannon vakavuutta voidaan parantaa erinäisillä toimenpiteillä. Useimmiten toimenpiteiden ongelma ahtaissa kohteissa on lisääntyvä tilantarve. Vakavuutta voidaan parantaa loiventamalla kaivannon luiskaa, kevennysleikkaamalla kaivannon luiskien yläosaa, tekemällä massanvaihtoa kaivannon pohjalle ja luiskan alaosaan, stabiloimalla maa kaivannon alueelta tai joissain tapauksissa pohjavettä voidaan alentaa sen aiheuttaman eroosion estämiseksi. (Kaivanto-ohje 2014, 138.)

Luiskatun putkikaivannon tekeminen vaatii maaperäolosuhteiden selvittämistä myös riittävän syvältä kaivannon pohjan alapuolelta. Luiskaamalla tehdyssä putkikaivannossa sääntönä on, ettei luiskan tule olla ikinä jyrkempi kuin 2:1. (Kaivanto-ohje 2014, 142.) Luiskatun putkikaivannon pohjan vähimmäisleveys InfraRYL:in ohjeistuksen mukaan on 1 metri (InfraRYL2010 2010, 197).

3.2 Tuettu kaivanto

Luiskatun kaivannon ollessa mahdoton tai epävarma toteuttaa on kaivanto tehtävä tuettuna. Tuntojen tai muiden turvallisuustoimenpiteiden suunnittelijan on oltava alan asiantuntija. (Työsuojeluhallinto 2010.)

Kaivanto tehtäessä tuettuna luiskauksen sijasta saadaan enemmän tilaa kaivannon ympärille. Kaivannon ympärillä pystytään logistisesti hoitamaan paremmin kuljetuksia, varastointia yms. Vaativissa kohteissa tilantarve voi vaikuttaa ratkaisevasti kaivantotyypin valintaan. (Kaivanto-ohje 2014, 45.)

Tuentatapaa suunniteltaessa on suunnittelijan valittava paras mahdollinen tuenta- ja työtapa. Suunnittelija ei saa tinkiä työturvallisuudesta eikä tuennan teknisistä vaatimuksista. Jos kaivanto ulottuu pohjavedenpinnan alapuolelle, on varmistettava, ettei hydraulista murtumista pääse tapahtumaan. Pääsääntöisesti hydraulinen murtuma voi tapahtua karkeiden maalajien kanssa työskenneltäessä. Kaivannon tukiseiniä pysty- ja kokonaisstabiiliteetti tarkistetaan laskelmin. (Rantanen ym. 2013, 22.)

Tuettua kaivantoa suunniteltaessa on otettava huomioon aina kaivannon vaikutusalue. Työmenetelmien ja liikenteen tärinän vuoksi maapohjan liikkeet voivat ulottua suunniteltua aluetta kauemmaksi. Pohjaolosuhteet vaikuttavat aina kaivannon ympäristön liikehdintään. Sallitut siirtymät määritetään kaivannon vaikutusalueella olevien rakenteiden perusteella. (Rantanen ym. 2013, 23.)

Kaivantosuunnitelmassa tulee olla sisällytettynä kaivannon tarkkailusuunnitelma. Tarkkailusuunnitelma sisältää tuentatavan toiminnan tarkkailun. Toiminnan tarkkailussa tärkeimpiä tarkkailukohteita ovat siirtymät, taipumat ja maaperän liikkeet. Pohjavesiputkien avulla tarkkaillaan pohjavedenpinnan tasoa kaivannon vaikutusalueella. (Rantanen ym. 2013, 23.)

Putkikaivantojen toteutuksen kannalta on tärkeää suunnitella töitä etukäteen. Etukäteen ennen työmaan aloitusta suunnitellaan työalueella mm. kaivuujärjestystä, työkoneiden ja autojen liikkeitä kaivannon ympärillä. Työt tulee suorittaa siten että maan häiriintyminen on mahdollisimman vähäistä. (Rantanen ym. 2013, 24.)

Kaivannon avoinnaoloaika pyritään pitämään suunnitellun ajan mukaisena. Kaivinkoneen kuljettajaa tulee pitää tietoisena vaara-alueista ja siitä, miten lähelle kaivantoa kaivuumaita on turvallista sijoittaa. Kaivinkone aiheuttaa tärinää työskennellessään maaperään, joten myös kaivinkoneen tärinän aiheuttamia vaikutuksia ympäristöön on seurattava. (Rantanen ym. 2013, 24.)

Kunnallisteknisissä töissä kulkee usein ulkopuolista liikennettä lähellä kaivannon reunoja. Esimerkiksi kaivantoa tehdessä ei ole mahdollista aina sulkea katua kokonaan vaan on pidettävä toinen kaista avoinna ulkopuoliselle liikenteelle. Tämä aiheuttaa tärinää ja kuormitusta kaivannon reunoille, joka on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa.

Tuetussa kaivannossa ollessa louhintatöitä on otettava huomioon louhinnan aiheuttama tärinä. Louhinnan aiheuttama tärinä kasvattaa tukiseinään kohdistuvaa maanpainetta. Jos kasvavaa maanpainetta ei ole otettu huomioon tukiseinän suunnittelussa voi olla vaarana tukiseinän sortuminen. Louhintaa suunniteltaessa on pyrittävä pitämään tärinät niin pieninä, että ne eivät aiheuta liian suurta maanpaineen kasvua tukiseinälle. Tukiseinän ulottuessa kallioon ja louhinnan jatkuessa tukiseinän alapuolelle on varmistettava tukiseinän stabiiliteetin pysyminen riittävänä. (Tuhola, M., 9)

3.3 Kaivantojen vesienhallinta

Kaivantoihin tulevaa vesimäärää voidaan joutua rajoittamaan työskentelyn onnistumisen takaamiseksi tai pohjavedenpinnan korkeuden pitämiseksi lähes samana kaivannon ulkopuolella kuin ennen töitä. Jos pohjavedenpinnan tasoa ei saa jostain syystä laskea kaivannon ulkopuolella on kaivanto tehtävä riittävän vesitiiviillä tuentaratkaisulla. (Kaivanto-ohje 2014, 44.)

Kaivannossa työskenneltäessä tulee kaivannon pohja pitää lähes kuivana. Kaivannon kuivana pito tulee järjestää vähintään sade- ja sulamisvesien osalta. Kaivannon kuivatus tehdään kaivannon pohjalle tehtävillä pumppauskuopilla tai pumppauskaivoilla. Vesi kerääntyy pumppauskuoppaan, koska kuoppa on muuta kaivannon pohjaa matalammalla. Pumppu pumppaa veden kuopan pohjalta pois kaivannosta. Pumppauskuopan pohjalle voidaan laittaa salaojasepeliä estämään hienoaineksen kulkeutumista pumppuun. (Kaivanto-ohje 2014, 69.)

Pohjavedenpinnan olleessa 0,5 – 1 m syvemmällä kuin kaivannon pohja, riittää sadevesien kuivatus kaivannosta. Pohjavedenpinnan ollessa lähempänä kaivannon pohjaa tulee pohjavedenpinnan alentamisen tarve selvittää. Kaivannon pohjan on pysyttävä työskennellessä niin häiriintymättömänä kuin mahdollista. Pohjan tulee kestää häiriintymättä myös täyttöjen tiivistyksen aiheuttama tärinä. (Kaivanto-ohje 2014, 70.)

Pohjavedenpinnan alennustarpeen ollessa välttämätön pohjavesi voidaan alentaa 0,5 - 1 m syvyydelle kaivannon pohjasta, joko ennen kaivuuta tai kaivuun jälkeen. Kaivannon pohjalta tehtävän alennuksen voi tehdä, jos maa ei ole herkästi häiriintyvää tai hydraulisen murtuman riskiä ei ole olemassa. Talvella tehtävä pohjavedenalennus tehdään ennen kaivuuta, jotta kaivannon pohjalle suotautuva vesi ei jäätyisi ja aiheuttaisi ongelmia. (Kaivanto-ohje 2014, 70.)

4 KAIVANTOJEN TUENTA- JA VAHVISTUSMENETELMÄT

4.1 Tuentatyyppien valinta

Tuentatyyppien valintaan vaikuttaa useiden tekijöiden summa. Yleisimmät tuentatyyppien valintaan vaikuttavat tekijät ovat kaivanto-ohjeen mukaan:

- Kaivannon pohjaolosuhteet
- Kaivannon ympäristöolosuhteet
- Tukiseinän käyttötarkoitus
- Eri tukiseinätyyppien ominaisuudet
- Eri tukiseinätyyppien rakennuskustannukset ja tarvittava rakennusaika

Pohjaolosuhteiden ollessa normaalit ovat kaikki tukiseinätyypit yleensä käyttökelpoisia vaihtoehtoja. Suurin vaikuttava tekijä tukiseinätyypin valinnassa normaaleissa olosuhteissa on kustannukset ja seinätyypin rakennusaika. Mitä vaativampiin kohteisiin mennään, sitä enemmän korostuu tukiseinätyypin tekniset ominaisuudet. Vaativimmissa kohteissa tukiseinätyypiksi valitaan se, joka kohteelle teknisiltä ominaisuuksiltaan parhaiten sopii. Vaihtoehtoja vaativissa kohteissa teknisten ominaisuuksien puitteissa ei välttämättä ole montaa. (Kaivanto-ohje 2014, 45.)

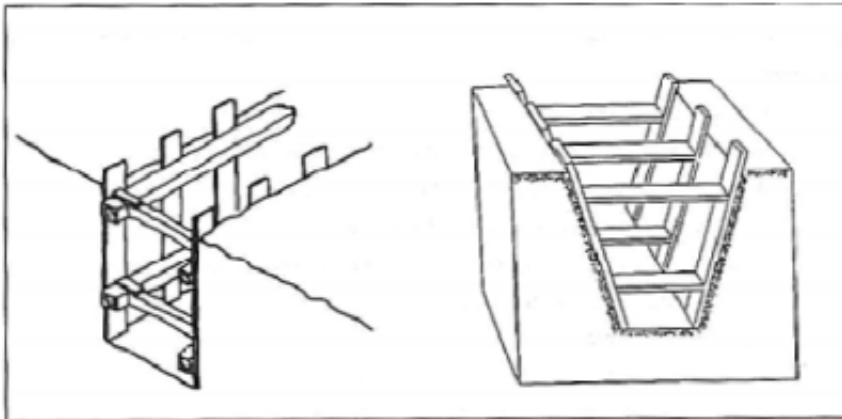
Kaivannon seinämien tukeminen perustuu kaivannossa tapahtuvan asennustyön turvallisuuden ja onnistumisen takaamiseen. Esimerkiksi tuentaelementeillä tuetaan kaivannon seinämät. (Rakennusteollisuus RT ry, Betoniteollisuustoimiala 2003, 67.)

Tukiseinällä tarkoitetaan tukea, joka ulottuu kaivannon pohjan alapuolelle. Vesitiivis rakenne on myös aina tukiseinä. Tukiseinät suunnitellaan tehtäväksi yleensä teräsponteilla. Vesitiivistä tukiseinää tehtäessä pontit on lyötävä uraan. (Rakennusteollisuus RT ry, Betoniteollisuustoimiala 2003, 67.)

Kaivannon seinämää voidaan vahvistaa erikseen sideaineilla. Sideaine lisää kaivannon stabiiliteettia ja helpottaa kaivannon tuentaratkaisua. (Rakennusteollisuus RT ry, Betoniteollisuustoimiala 2003, 67.)

4.2 Kevyet tuennat

Matalien kaivantojen yhteydessä voi joskus työturvallisuuden parantamiseksi olla tarpeellista tehdä kevyt tuenta. Kevyellä tuennalla estetään kivien ja irtomaan putoaminen kaivannon seinämistä. Kevyttä tuentaa ei tule ikinä käyttää löyhän maan yhteydessä. Kevyt tuenta tarkoittaa harvaa lankutusta, joka tehdään vaaka- tai pystysuoralla lankutuksella (Kuva2). (Rantanen ym. 2013, 30.)



Kuva 2. Lankutuksella tehtyjä kevyitä tuentoja. (Rantanen ym. 2013, 30)

4.2.1 SBH- vaneri tuki

Saksalainen SBH Tiefbautechnik GmbH on kehittänyt kevyen vanerituen, jonka asennuksen voi tehdä täysin käsin. Vanerituki soveltuu maksimissaan 2,0 m syvyyteen kaiveuille kaivannoille. Vanerituki on tarkoitettu käytettäväksi lujissa maalajeissa. Vanerituen maahantuojan toimii Maakone Oy. Vanerituki soveltuu pienempien työmaiden kaivantotuiksi. Vanerilevyt on mahdollista käyttää uudestaan seuraavassa työkohteessa. (Maakone Oy.)

Vanerituen etuna tavallisen puutavaran käyttöön verrattuna on sen nopeus ja uusiokäytettävyys. Kohteen mukaan tehdyn puutavaran uusiokäyttö ei yleensä ole mahdollista, kun normaalia puutavaraa on käytetty kaivannon tukemiseen. (Maakone Oy.)

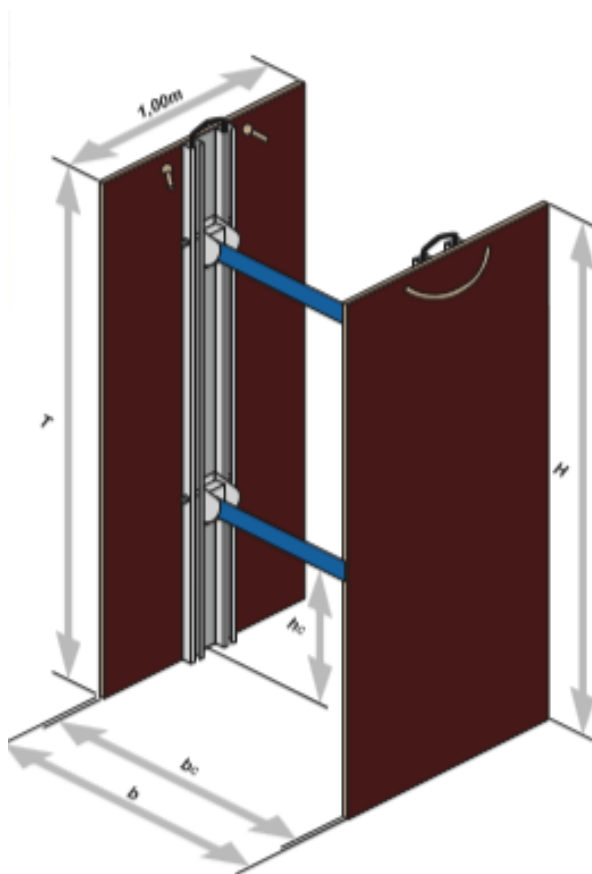
Vanerituen asennus tapahtuu täysin käsivoimin maanpinnalta. Työturvallisuuden varmistamiseksi tukemattomaan kaivantoon ei ole tarvetta mennä. Vanerituki on yhden henkilön asennettavissa. (Maakone Oy.)

Ensimmäisessä asennusvaiheessa kaivettuun kaivantoon lasketaan vaneripaneelit. Vanerien ollessa kaivannon seinämiä vasten asennetaan vanerien väliin tukirunko (Kuva 3). Tukirungossa on pystysuuntaisesti vanereita vasten tulevat alumiiniset tolpat. Tukirunko avataan ja kiristetään hydraulisilla välituilla tiukasti vaneripaneeleja vasten. Hydraulisia välitukia käytetään hydraulisella käsipumpulla, joka kuuluu vaneri tukien mukana liikkuvaan kalustoon. Tukirungon asennuksen jälkeen asennettu vanerituki on valmis ja voidaan siirtyä asentamaan seuraavaa kaivantotukea tai mennä työskentelemään kaivantoon tuetulle osuudelle. (Maakone Oy.)



Kuva 3. Tukirungon asennusta ja tuettua kaivantoa. (sbh-shoring.com)

Vaneripaneelien leveys on aina 1 metrin, joten yhdellä vanerituella edetään kaivannossa kerrallaan 1 metrin matka. Korkeuksia H (Kuva 4) on valittavissa kaksi, 1,5 m korkea paneeli ja 2,10 m korkea paneeli. Molemmille korkeuksille on omat alumiiniset pystytolppansa. Sallittuna maksimi maanpaineena vaneripaneeleille on 12 kN/m^2 . Työskentelyleveys kaivannossa b_c (Kuva 4) on mahdollista toteuttaa hydraulisten tukien pituuk-sien mukaan 0,45- 1,60 m leveänä. Hydraulisia välitukia on neljää eri kokoa. (Maakone Oy.)



Kuva 4. Havainnekuva SBH:n vanerituesta. (Maakone Oy)

4.3 Settiseinä

4.3.1 Yleistä settiseinästä

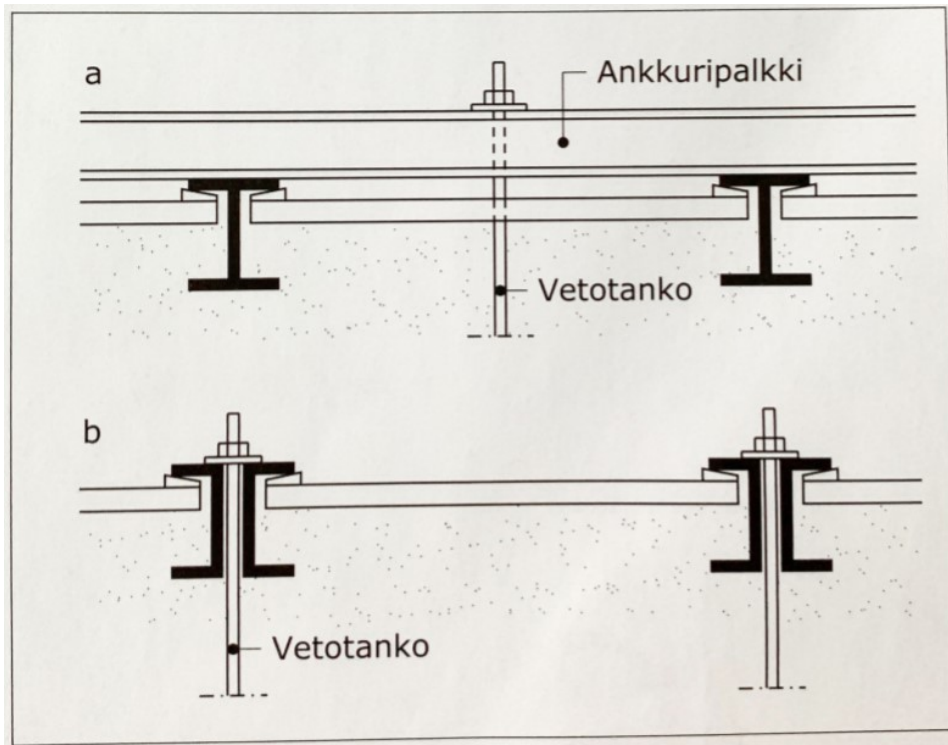
Settiseinä koostuu settilankusista ja pystypalkeista (Kuva 5). Pystypalkit lyödään maahan 1 – 4 m välein. Pystypaaluina käytetään yleensä H-profiilista teräspalkkia. Settilankut asennetaan vaakasuoraan terästen väliin ja ne tukeutuvat teräksiin. Settilankut ovat

yleensä puulankkuja tai teräksestä tehtyjä keveitä palkkeja. Settiseinä ei ole vesitiivis ratkaisu, joten tuentamenetelmän käyttö ei sovellu pohjavedenpinnan alapuolisiin kaivantoihin. (Kaivanto-ohje 2014, 50.)



Kuva 5. Settiseinä. (Hannele Kulmala)

Settiseinän pystypalkkeina käytettäessä H-profiilista terästä, tarvitaan ulkopuolista ankkurointia käytettäessä vaakapalkki (Kuva 6), josta ankkurointiteräkset porataan läpi. Jos pystypalkkeina käytetään kahta U-profiilista terästä (Kuva 6) ei vaakapalkkia tarvita vaan ankkurointiteräkset voidaan porata U-palkkien välistä. (InfraRYL2010 2010, 209.)



Kuva 6. Settiseinän ankkurointimenetelmät H-(a) ja U-profiilisten (b) palkkien kanssa. (InfraRYL 2010)

Settiseinä soveltuu sekä matalien että syvien kaivantojen tukemiseen. Settiseinä on karkeiden maalajien kuten moreenin tuentaan sopiva tuentamenetelmä. Seinän rakentamistavan vuoksi settiseinää ei voida käyttää vaativien kohteiden tukemiseen. (Rantanen ym. 2013, 33.)

4.3.2 Settiseinän rakentaminen ja käyttö

Settiseinän pystypalkit upotetaan maahan paalutuskoneella tai hydraulisella täryvasaralla. Kun pystypalkkien asennus tavoitetasoon halutaan varmistaa, voidaan asennuksessa käyttää porattavaa työputkea. Pystypalkkeina voidaan myös käyttää porapaaluja, joilla päästään aina haluttuun syvyyteen. (Kaivanto-ohje 2014, 50.)

Pystypalkkien upotuksen osuessa esteeseen kuten kiveen tai muuhun läpäisemättömään materiaaliin, joka estää palkin saamisen tavoitetasoon voidaan este poistaa kaivamalla. Esteen poistaminen kaivamalla onnistuu yleensä 1 – 3 metrin syvyydestä. (InfraRYL2010 2010, 209.)

Lankkujen asennusvaiheessa kaivantoa on voitava kaivaa kerralla 0,5 – 1 metrin syvyyteen mahdollisimman pystysuorilla luiskilla. Settilankuille joudutaan kaivamaan asennustilaa pystytolppien väliin. Settilankkujen ja kaivannon seinien väliin jää pieni tyhjättila, jotta lankkujen asennus on mahdollista. Tästä johtuen asennus löyhien maiden kanssa ei onnistu. Tyhjättila täytetään lankkujen asennuksen jälkeen. (Kaivanto-ohje 2014, 50.)

Joskus settilankuille asennustilaa kaivettaessa sattuu maansortumia ennen lankkujen saamista paikalleen. Sortumien ja settilankkujen taakse jäävän tyhjättilan vuoksi kaivannon ympärillä oleva maa löyhtyy ja painuu. Ympäröivässä maassa tapahtuvat muutokset rajoittavat osin settiseinän käyttökohteita. (Rantanen ym. 2013, 33.)

Settilankkujen taustalle jäävän tyhjättilan aiheuttamia muodonmuutoksia voidaan pienentää tarkkaan tehdyllä ja oikein ajoitetulla taustatäytöllä. Myös pystypalkkien asennuksessa syntyvä värinä aiheuttaa tiivistymistä ja painumista kaivantoa ympäröivään maaperään. Erityisesti tiivistymistä tapahtuu löyhässä tilassa olevissa maakerroksissa. Tiivistyminen ympäröivässä maassa tapahtuu noin pystypalkin pituuden mitan matkalla seinästä. (Kaivanto-ohje 2014, 50.)

Nykyään settiseinän käyttö on harvinaista sen rakentamisen hitauden ja työläyden takia. Joissain tilanteissa sitä kuitenkin voidaan käyttää korvaamaan teräsponsittiseinää, jos ponttien lyöminen tavoitetasoon ei onnistu. (Kaivanto-ohje 2014, 50.) Kunnallisteknisissä töissä settiseinän käyttö on hyvin harvinaista, koska kaivannot ovat auki yleensä huomattavasti lyhyempiä aikoja kuin esimerkiksi rakennuskaivannot.

4.3.3 Settiseinän purkaminen

Settiseinän purkaminen ohjeistetaan suunnitelma-asiakirjoissa. Purkaminen aloitetaan yleensä tukien purkamisella. Purkamisen yhteydessä on silti huolehdittava, ettei seinä pääse sortumaan vielä avoinna olevaan kaivantoon. Purkamisvaiheessa käytetään väliaikaista tuentaa tai kuormien siirtämiseksi vaiheittain tehtävää purkamismenetelmää. Seinässä käytettyjä puurakenteita tai muita puumateriaaleja ei saa jättää maahan, koska mädäntyessään ne aiheuttavat alueelle haitallisia painumia. (InfraRYL2010 2010, 209.)

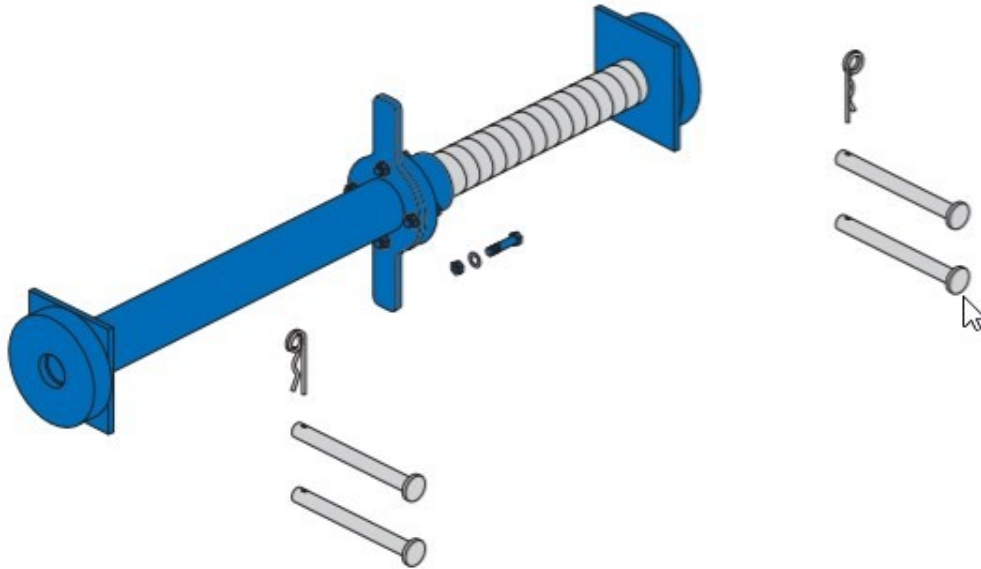
Settiseinän teräksisten pystypalkkien nostamisessa maasta on samankaltaisia ongelmia kuin teräsponttien noston kanssa. Nostosta aiheutuu maaperään haitallista tärinää. Tärinää aiheutuu kuitenkin huomattavasti vähemmän kuin teräsponttien nostosta, koska kevyemmät palkit nousevat maasta yleensä pienemmällä voimalla ja palkkeja on nostettavana huomattavasti pienempi määrä kuin teräspontteja. (InfraRYL2010 2010, 209.)

4.4 Tuentaelementit

4.4.1 Yleistä elementtituista

Kaivantojen tukemiseen voidaan käyttää elementtitukia. Elementtituilla voidaan tukea kaivantoja valmistajan antamien maksimi arvojen mukaan. Elementeillä saadaan varmistettua kaivannon työturvallisuus, mutta ne eivät takaa maan liikkumattomuutta kaivannon ympärillä. Tukiseinän käyttöä ei suositella syvien kaivantojen kanssa, koska ne eivät estä kaivannon pohjaa nousemasta. (Skanska.) Normaalin tuentaelementtien käyttö soveltuu yleensä 2-4 m syviin kaivantoihin (Perkiö 2009, 13).

Tuentaelementit ovat levyjä, jotka asennetaan kaivannon seinämiä vasten. Elementit tuetaan toisiaan vasten erillisillä poikkituilla (Kuva 7). Elementissä voi olla myös kaikki tarvittavat osat valmiina kiinteästi. Elementtien käytön tulee tapahtua käyttöselosteen esittämässä käyttötarkoituksessa ja elementille määritellyissä käyttöolosuhteissa. (InfraRYL2010 2010, 209.)



Kuva 7. Havainnekuva yhdenlaisesta tuentaelementin poikkituesta. (Maakone Oy, tuotteet)

Tuentaelementteihin kiinnitettävien poikkitukien korkeutta on yleensä mahdollista säätää korkeussuunnassa elementteihin nähden. Elementit tuetaan yleensä poikkituilla kahdelta tasolta. Tuet säädetään normaalisti siten, että alimpien poikkitukien alle pystytään rakentamaan kaivantoon tulevat rakenteet jatkuviksi. (Kaivanto-ohje 2014, 182.)

Tuentaelementeissä olevat poikittaistuen kuitenkin asettavat omat haasteensa tuentaelementtien käytölle. Putkilinjaa rakennettaessa poikkituet hankaloittavat putkien asennustöitä huomattavasti. Työntekijät joutuvat kaivannossa työskentelyn yhteydessä väistelemään poikkitukia jatkuvasti. Painavien työvälineiden esimerkiksi tärylätkän käyttö hankaloituu poikkitukien takia, koska tärylätkää joudutaan nostelemaan useita kertoja työn aikana poikkitukien yli. (Koskelainen 2014.)

Tuentaelementtien (Kuva 8) materiaalina on yleensä metalli. Samaa elementtiä voidaan käyttää useita kertoja, jos elementistä pidetään hyvää huolta, eikä sitä käytetä väärin. Elementit ovat ostohinnaltaan kalliita, mutta niiden pitkä käyttöikä kompensoi kustannuksia, kuten myös tukielementtien helppo siirtely ja asennus kaivinkoneella työmailla. (Koskelainen 2014.)



Kuva 8. Kaivantotukielementti Euro Verbau VB60. (KT-Tuenta Oy)

Elementtitukia käytettäessä yleensä asennettavan putken maksimihalkaisija on 1,0-1,6 m. Tukien pituudet pituussuunnassa vaihtelevat 2-4 metrin välillä ja niiden paino on kaivannon syvyydestä riippuen 350-2200 kg. Elementtien nosto tapahtuu työn yhteydessä yleensä kaivinkoneella, joka edellyttää riittävän nosto kyvyn ja ulottuman omaavaa kaivinkonetta. (Kaivanto-ohje 2014, 182.)

4.4.2 Elementtituen asennus ja poisto

Elementtitukia käytettäessä matalien kaivantojen tuetaan, elementit nostetaan yleensä valmiiksi kaivettuun kaivantoon. Tukien paikalleen noston jälkeen elementtien ja kaivannon seinien väliin jäävä tyhjätila täytetään kaivuumailloilla. Elementit asennetaan yksi kerrollaan kaivinkoneella kaivantotyön etenemisen mukaan. (Kaivanto-ohje 2014, 182.)

Syvemmissä kaivannoissa työskenneltäessä elementtituet asennetaan alkukaivantoon. Alkukaivanto tehdään 2-2,5 metriä syvänä. Tuki nostetaan alkukaivantoon ja kaivannon kaivuuta jatketaan tuen sisältä. Kaivuun edetessä samalla painetaan elementtiä kaivinkoneella alaspäin. Kaivuuta ja painamista jatketaan vuorotellen, kunnes elementtituki on saatu määräsyvyyteen. (Kaivanto-ohje 2014, 182.)

Kolmella tuentaelementillä pystytään tukemaan n. 8-10 m kaivantoa pituussuunnassa kerrallaan. Tuentaelementtejä on saatavissa monen mallisia ja kokoisia riippuen tukemistarpeen vaatimuksista. (Koskelainen 2014.)

Putkien asentamisen jälkeen tehdään täyttöä ja tiivistystä putken päälle elementtituen puoleenväliin saakka. Täytön olleessa tuen puolella välissä elementtituki nostetaan pois kaivannosta. Tuen pois nostamisen jälkeen tehdään kaivannon lopputäyttö. (Kaivanto-ohje 2014, 182.)

4.5 Teräsponttiseinä

4.5.1 Yleistä teräsponttiseinistä

Teräsponttiseinässä (Kuva 9) maahan asennetaan lyömällä tai täryttämällä teräksisiä pontteja. Pontit lukittautuvat toisiinsa lukkourilla. Yhdessä pontit muodostavat yhtenäisen seinärakenteen, joka tukee kaivannon. (Kaivanto-ohje 2014, 46.)

Teräsponttiseinä on käytetyin tukiseinätyyppi. Se on muihin tukiseinätyyppeihin verrattuna yleensä kustannuksiltaan halvempi. Teräsponttiseinän rakentaminen ja purkaminen on helppoa ja nopeaa muihin seinätyyppeihin verrattuna. (Kaivanto-ohje 2014, 49.)

Pohjaolosuhteissa, joissa ei ole suuria kiviä tai muita esteitä maaperässä, pontit pysyvät hyvässä kunnossa ja niitä voidaan käyttää useita kertoja uudelleen. Ponttien uudelleen käytön mahdollisuus parantaa ponttiseinän käytön kannattavuutta. (Kaivanto-ohje 2014, 49.)

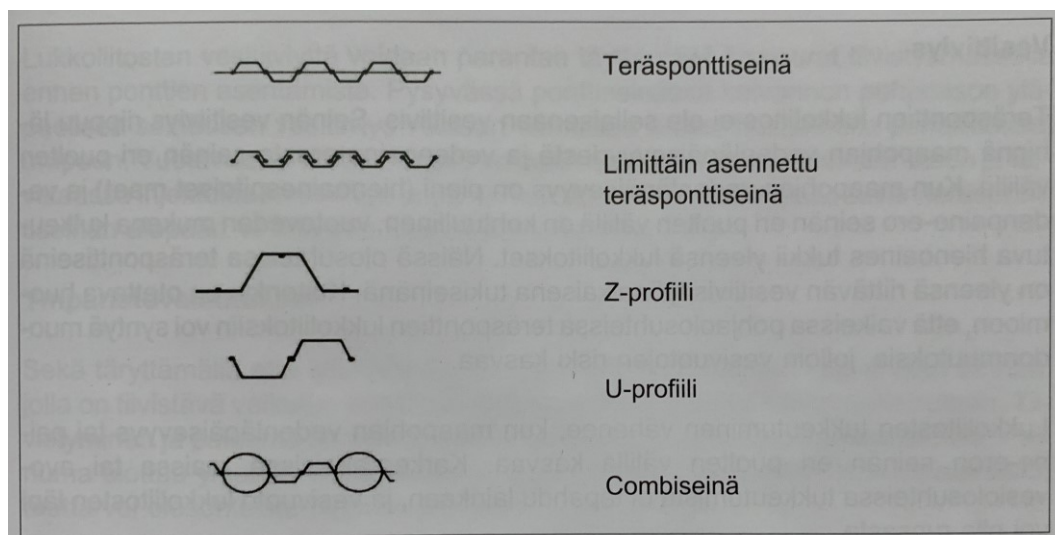
Ponteissa olevan lukkouran käyttö ei ole ponttiseinää asennettaessa aina pakollista. Ponttien asennus on mahdollista myös limittäin (Kuva 10), jolloin pontit eivät lukitu toisiinsa. Kuitenkin limittäin lyödyistä ponteista rakennetun tukiseinän taivutusvastus pienenee huomattavasti ja seinästä tulee vettä läpäisevä. (Kaivanto-ohje 2014, 46.)



Kuva 9. U-profiilisella pontilla tuettu putkikaivanto.

4.5.2 Teräsponttiprofiilit ja niiden valinta

Teräspontteja on olemassa useilla eri poikkileikkausprofiileilla. Yleisimmin käytettyjä poikkileikkausprofiileja ovat U-profiili (Kuva 10) ja Z-profiili (Kuva 10). U-profiilisessa pontissa liitoskohta toiseen ponttiin on seinän neutraaliakselilla. Z-profiiliset pontit liittyvät toisiinsa seinän ulkosivuilta. (Kaivanto-ohje 2014, 47.)



Kuva 10. Teräsponttiseiniä ja profiileita sekä combiseiniä. (Kaivanto-ohje 2014.)

Tukiseinän ponttityypin valintaa tehtäessä on huomioitava suunnittelijan antamat minimi arvot tuennan ominaisuuksille. Valitun pontin pitää täyttää mitta- ja jäykkyyksvaatimukset, pontin tulee olla käsiteltävissä työmaan olosuhteissa järkevästi ja sen on kestävä työnaikaiset rasitukset. Ponttien käsiteltävyyden ja työnaikaisten rasitusten kestävyys arviointi tapahtuu pääsääntöisesti kokemusperäisesti. Joissain tapauksissa pohjaolosuhteista ja seinän korkeudesta riippuen voi olla tarvetta valita jäykempi ponttityyppi kuin mitoituslaskelmissa on annettu. (Kaivanto-ohje 2014, 160.)

Tukiseinäolosuhteiden ollessa sellaiset, että tukiseinältä tarvitaan suurta jäykkyyttä, voidaan rakentaa combiseiniä (Kuva 10). Combiseinässä ponttien väleihin laitetaan putkipaaluja tai palkki- tai koteloprofiileita. (Kaivanto-ohje 2014, 47.)

Tukiseinään vaikuttavan maanpaineen suuruudesta riippuen tukiseinä taipuu jonkin verran. Taipuman vaikutuksesta U-profiiliset pontit voivat luistaa toisiinsa nähden pohjaan ollessa pehmeää savea tai löyhää hiekkaa. Ponttien luistaminen aiheuttaa seinän taivutusvastuksen vähenemistä. Taivutusvastuksen väheneminen tulee ottaa huomioon jo tukiseinän suunnittelu vaiheessa. Z-profiilisilla ponteilla tehdyssä tukiseinässä luistamista ei tapahdu. (Kaivanto-ohje 2014, 47.)

4.5.3 Käyttökohteita

Teräsponttiseinien käyttökohteiksi soveltuvat melkein kaikki pohjaolosuhteet. Poikkeuksena kuitenkin kiviset, lohkaraiset ja hyvin tiiviit kitkamaakerrokset. Teräsponttiseinää ei myöskään voida käyttää, jos ponttien asennuksen aiheuttaman tärinän vaikutuksesta maaperä häiriintyy. (Kaivanto-ohje 2014, 47.)

Käyttö kivisten, lohkaraisen ja tiiviiden maalajien kanssa ei onnistu, koska pontti ei tunkeudu tiiviiseen maahan tai maassa olevien kovien esteiden läpi. Pontin tunkeutumissyvyyttä pohdittaessa, voidaan karkeana arviona pitää heijarikairauksen pysähtymissyvyyttä samana kuin pontin pysähtymistaso ponttia asennettaessa. (Kaivanto-ohje 2014, 47.)

4.5.4 Veden läpäisevyys

Tavallisissa olosuhteissa normaali ponttiliitos yleensä riittää työnaikaiseen tuentaan. Vesiitiiviyys riippuu maaperän vedenläpäisevyydestä ja vedenpaine-erosta. Maapohjissa, joissa veden läpäisevyys on pieni ja vedenpaine-ero tietyissä rajoissa, kulkee vuotoveden mukana hienoa maa-ainesta lukkoliitoksiin. Hieno maa-aines tukkii liitokset ja vesi ei enää läpäise lukkoliitoksia. Teräsponttien lukkoliitokset eivät kuitenkaan ole täysin vesiitiiviitä ilman niiden tiivistämistä. Tiivistystä voidaan tehdä täyttämällä lukkourat ennen asennusta tiivistysmassalla. (Kaivanto-ohje 2014, 48.)

Haastavissa olosuhteissa pontteihin kohdistuva paine voi aiheuttaa muodonmuutoksia lukkoliitoksissa. Lukkoliitoksen muodon muuttuessa liitoksen vedenläpäisevyys kasvaa, jonka vuoksi voi aiheutua vesivuotoja. Karkearakeisessa maaperässä tai avovesiolosuhteissa vesivuoto voi olla hyvinkin suurta, koska lukkoliitosten tukkeutumista hienolla maa-aineksella ei käytännössä tapahdu lainkaan. (Kaivanto-ohje 2014, 48.)

4.5.5 Asennus

Teräsponttien upotus maahan tapahtuu lyömällä, täryttämällä tai painamalla. Ponttien asennus tehdään maahan ponttiin lyötynä, ponttiin lyömättömänä tai limitettynä. (Infra-RYL2010 2010, 206.)

Ennen ponttien asennuksen aloitusta on hyvä tehdä valmistelevia töitä ponttien asennuskohteessa. On tärkeää tarkastaa ennen ponttien maahan lyömisen aloittamista, ettei tukiseinälinjalla kulje johtoja, kaapeleita tai ole muita esteitä. Jos lyöntilinjalla on esimerkiksi kaapeli, se kaivetaan esiin ja siirretään. (Kaivanto-ohje 2014, 161.)

Pohjamaan ollessa kivistä ja lohkareista voidaan pontituslinjalle tehdä massanvaihto. Massanvaihdon maksimisyvyys riippuu maaperän olosuhteista. Käytännössä massanvaihto voidaan ulottaa 2 – 4 metrin syvyydelle. Massanvaihdolla korvataan pontitusta haittaavat maakerrokset. (Kaivanto-ohje 2014, 161.)

Jotta pontitustyö olisi tehokasta, onnistuisi kunnolla ja täyttäisi työturvallisuusvaatimukset pitää työalustan pontitusta tekeväälle koneelle olla tasainen ja riittävän kantava. Maaperän kantavuuden ollessa liian pieni koneen painon aiheuttamalle rasitukselle rakennetaan työmaatie kantavaksi alustaksi asennuskoneelle. (Kaivanto-ohje 2014, 161.)

Ponttien asennusta aloitettaessa on tärkeää lyödä ensimmäinen pontti tarkasti suunniteltuun kohtaan ja oikeaan asentoon. Ponttia asennettaessa tulee pontin upotuksen onnistumisen takaamiseksi lyönnin tapahtua pystysuoraan ja keskeisesti pontin päähän. (Kaivanto-ohje 2014, 161.)

Työturvallisuuden kannalta on tärkeää, että pontin pystyyn nostamisen ja ponttien lukkourien paikalleen asettamisen aikana pontti ei pääse irtoamaan ponttivasaran leuoista ja kaatumaan. Ponttikoneen on oltava myös tarpeeksi vakaa pontin pystyyn nostamisen yhteydessä. Koneen turvallinen nostokyky voidaan varmistaa koneen käsikirjasta. (Kaivanto-ohje 2014, 162.)

Asennustyön yhteydessä on tarkkailtava jatkuvasti ponttien uppoamissyvyyyttä ja verrata sitä upotuksen tavoitetasoon. Pontin osuessa kallion pintaan voidaan se todeta pontin äänestä ja käyttäytymisestä. Ponttien jäädessä tavoite tasoa ylemmäksi tai ponttien upotessa

tavoitetasoa alemmas helposti on otettava yhteys pohjarakennesuunnittelijaan, jotta tarvittavat jatkotoimenpiteet voidaan suunnitella. (Kaivanto-ohje 2014, 162.)

Joissain tapauksissa saattaa tärytyksestä johtuen moreeni pontitustyön ympärillä häiriintyä ja näin ollen ponttien upotus löyhässä olevaan karkeaan kitkamaahan voi tiivistää maakerrosta niin paljon, ettei ponttien saaminen tavoitetasoon onnistu. (Kaivanto-ohje 2014, 47.)

Kivisiin ja hyvin tiiviisiin maihin ponttien tunkeutumista voidaan parantaa poraamalla maakerroksia löyhemmiksi. Poraamalla tehty maakerrosten löyhdyttäminen on kustannuksiltaan kuitenkin erittäin kallis toimenpide. (Kaivanto-ohje 2014, 47.)

Joissain kohteissa on mahdollista, että tärytyksen käyttäminen lisää ponttien asennustyön läheisyydessä olevien rakenteiden tai maaperän painumariskiä. Näissä kohteissa voidaan käyttää pudotusjärkälleellä varustettua paalujunttaa. Paalujuntan käyttö soveltuu pontitustyössä työmenetelmäksi yleensä kaikkien maalajien kanssa. (InfraRYL2010 2010, 206.)

4.5.6 Asennuskalusto

Teräsponttien asennus maahan tapahtuu yleensä samankaltaisella kalustolla kuin lyöntipaalujen asennus. Asennuskalustona toimivat hydraulisesti ja mekaanisesti käytettävät paalujuntat, sekä hydraulisi- ja sähkökäyttöiset täryjuntat. Nykyisin asennuskalustona käytetään useimmiten kaivinkoneeseen kiinnitettävää täryjunttaa eli ponttivasaraa (Kuva 11). (Tuhola, M., 4)

Ponttivasaran etuja ovat sen aiheuttama värähdysliike ja suuri iskuenergia. Ponttivasaran tuottama värähdysliike helpottaa ponttien upottamista maahan, koska värähdysliike pienentää vaippavastusta. Ponttivasaran tuottama nopea värähtelyliike on myös vähemmän haitallista työalueen läheiselle ympäristölle kuin paalujuntan aiheuttama tärinä. (Tuhola, M., 4)

Kaivinkoneessa ponttivasaraa käytettäessä suurimpana haittapuolena on, ettei sillä saada löytyä pitkiä yli 10 metrisiä pontteja maahan. Pontin maksimipituus riippuu kuitenkin pontitustyöhön käytettävän kaivinkoneen kokoluokasta. (Tuhola, M., 4)



Kuva 11. Ponttien asennusta kaivinkoneeseen kiinnitetyllä ponttivararalla.

Täryttämislle parhaiten soveltuva maa on karkearakeinen maa esimerkiksi sora ja hiekka. Jos karkearakeiset maalajit ovat vedellä kyllästettyjä helpottuu ponttien asennus täryttämällä entisestään. Ponttivararoiden tulee olla säädettävissä tärytyksen taajuuden osalta, jotta voidaan välttää asennustyön ympärillä olevan maaperän joutuminen resonanssiin. Täryttämisen käyttö on myös mahdollista hienompirakeisten ja moreenisten maalajien kanssa. (InfraRYL2010 2010, 206.)

4.5.7 Teräsponttiseinän purkaminen

Putkikaivantojen erityispiirteenä ponttiseinän purkamisen yhteydessä on maan painuminen. Putkikaivannoissa tukiseinälinjat ovat lähellä toisiaan ja niiden työstämisen aiheuttamat rasitukset maaperään kertautuvat. Painumat aiheutuvat yleensä pohjamaan tiivistymisestä värinän vaikutuksesta, tyhjätilan täyttymisestä ja pontteihin kiinnijäävästä maa-aineksesta. (Kaivanto-ohje 2014, 77.)

Nostossa jäävä tyhjätila täyttyy viereisellä maa-aineksella aiheuttaen painumaa. Tyhjätilan muodostumista voidaan yrittää estää injektoimalla sementtilientä tyhjätilaan ponttia nostettaessa. Kyseistä menetelmää ei ole kuitenkaan testattu Suomessa virallisesti. Joskus

ponttien nostamisessa ongelmaksi muodostuu, että ympäröivien maa-ainesten adheesio ponttiin on niin suuri, että teräs repeytyy ennen kuin nousee ylös. Jos pontteja ei saada nostettua ylös joudutaan seinä usein jättämään maahan. Ponttien jättäminen maahan on kuitenkin erittäin kallista, joten pontteja jätetään maahan vain erikoistapauksissa. Ponttien jäädessä maahan, yleensä ne katkaistaan noin 2 metriä maanpinnan tason alapuolelta. (Kaivanto-ohje 2014, 77.)

Pontteihin noston yhteydessä kiinni jäävä maa-aines lisää tyhjätilan muodostumista ja näin aiheuttaa lisää painumaa pontteja nostettaessa. Maa-ainesta jää pontteihin yleensä kiinni adheesiovaikutuksesta savisissa ja silttisissä pohjaolosuhteissa. Maan jäämistä kiinni pontteihin voidaan vähentää nostamalla pontteja vuorotellen eripuolilta kaivantoa. Pontteja nostettaessa jätetään myös välimatkaa kaivannon pituussuunnassa ponttien nostokohtien välille. (Kaivanto-ohje 2014, 77.)

Eriyistapauksissa, joissa pontit on asennettu limittäin, ponttien nosto helpottuu. Limittäin asennettujen ponttien nosto voi onnistua pelkästään vetämällä, jolloin maaperään ei aiheudu haitallista tärinää. (Kaivanto-ohje 2014, 77.)

Pohjamaan painumista voidaan kuitenkin tarkoilla pohjatutkimuksilla arvioida luotettavasti, jos tutkimusten yhteydessä tehdään koepontituksia. Tutkimusten yhteydessä tehtävät koepontitukset antavat tarkkaa tietoa maaperän käyttäytymisestä ponttustustyön aikana. (Kaivanto-ohje 2014, 77.)

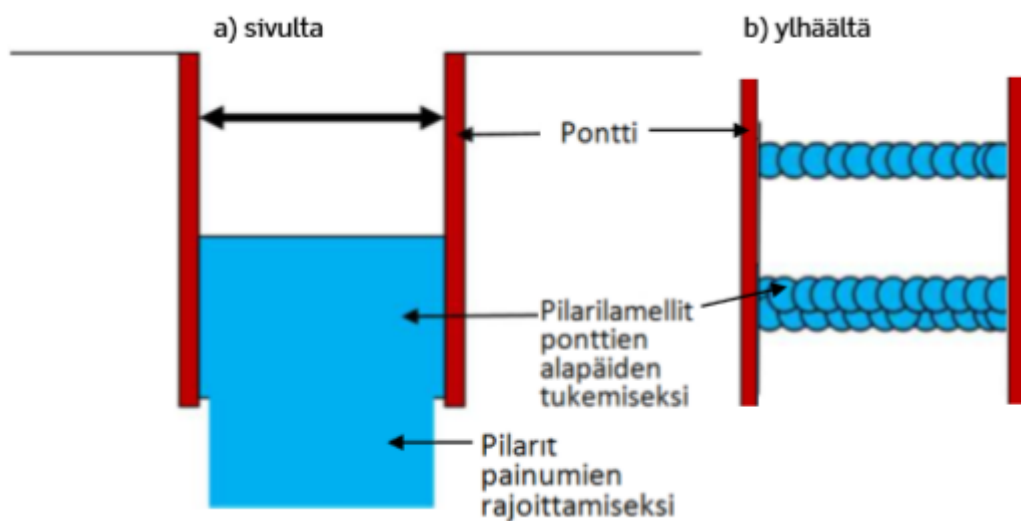
4.6 Stabilointi

4.6.1 Yleistä stabiloinnista

Kaivannon seinämien vahvistamiseen voidaan käyttää stabilointimenetelmiä. Seinämät vahvistetaan joko pilari- tai massastabilointia käyttäen. (InfraRYL2010 2010, 212.) Stabilointimenetelmillä lujitetaan maapohjaa. Maapohjan lujittumisen ansiosta kaivannon tekeminen onnistuu huomattavasti jyrkemmällä luiskilla tai ponttien sijasta tuentaelementtejä käyttäen. Stabilointityössä käytetään sideaineena sementin ja kalkin seosta tai pelkkää sementtiä. (Kaivanto-ohje 2014, 76.)

Stabilointi suoritetaan ennen kaivannon kaivua. Kun stabilointi tehdään kaivannon luiskien vahvistamista varten tukemattomaksi suunnitellussa kaivannossa, on varmistuttava ennen kaivantotyön aloitusta, että stabiloitu maaperä on lujittunut haluttuun lujuuteen ja ettei stabiloinnissa ole heikkoja kohtia kaivannon luiskien alueella. Jos stabiloinnissa todetaan heikkoja kohtia, on varmistettava suunnitelmien muutoksilla, että kaivanto on turvallinen ja sortumavaaraa ei ole. Massa- ja pilaristabiloiduille kohteille on tavanomaista, että niissä esiintyy satunnaisesti epäjatkuvuuskohtia tai muuten heikompia kohtia. (Liikennevirasto 2018, 85,101.)

Tuetussa kaivannossa ponttiseinän alapään tuentaan voidaan käyttää stabilointia (Kuva 12), joka on tehty kaivannon pohjan alapuolelle. Pilaristabiloinnin yksittäisiä paaluja ei kuitenkaan voida hyödyntää ponttiseinän alapään tuennassa. Kaivannon pohjan alapuolelle tehty stabilointi toimii myös putkijohtolinjan pohjanvahvistuksena ja tasaa painumia. Stabilointi estää pohjannousun esimerkiksi tuentaelementtejä käytettäessä. (Liikennevirasto 2018, 102.)



Kuva 12. Pilaristabiloimalla tehty ponttien alapään tuenta. (Liikennevirasto 2018, 103)

Stabilointia ei kannata tehdä, jos alueella on stabilointia rajoittavia tekijöitä. Rajoittavat tekijät saattavat aiheuttaa suuriakin lisäkustannuksia tai estää koko stabilointityön onnistumisen. Stabilointia rajoittavia tekijöitä Liikenneviraston ohjeen mukaan ovat:

- paksut täyttökerrokset (täyttökerroksen materiaalilla vaikutusta)
- stabiloitavaan kerrokseen sortuneet täytöt, täyttöjen alle jääneet kannot, tms.
- syrjäyttämällä tehtyjen massanvaihtojen vierelle sekoittuneet kivet, yms.

- lujat maakerrokset stabiloitavien kerrosten välissä
- vanhat rakenteet maaperässä (esim. paalut, hirsiarinat, yms.)
- putket, kaapelit, kaasuputket, yms.
- ilmajohdot, siltakannet, porttaalit, yms.
- luonnonilmiöt (tulva, poikkeukselliset pakkaskaudet, yms.)
- stabiloitavan kohteen epästabiilius työkoneiden kannalta
- stabiloitavan maan pilaantuneisuus, joka estää sideainereaktion ja lujittumisen
- stabiloitavan maan voimakas pilaantuneisuus aiheuttaa työturvallisuusriskin (Liikennevirasto 2018, 19.)

Olemassa olevien rakenteiden läheisyyteen on mahdollista suorittaa stabilointia vaikuttamatta rakenteeseen. Maassa olevan vanhan putkilinjan viereen stabilointi on mahdollista tehdä kaistoina. Rajoittavaksi tekijäksi olemassa olevan putkilinjan läheisyyteen stabiloitaessa kuitenkin usein muodostuu putken alla oleva arinarakenne. Stabilointia ei ole mahdollista suorittaa arinarakenteen läpi vaan stabilointi on tehtävä arinarakenteen ulkopuolelle. (Liikennevirasto 2018, 40.)

4.6.2 Pilaristabilointi

Pilaristabilointi tehdään pilarointikoneella, jonka sekoitinkärki painetaan maaperään siihen syvyyteen, johon pilarin alin taso on suunniteltu. Sekoitinkärjestä sitä ylös nostettaessa työnnetään paineilman avulla maaperään sideainetta. Suomessa käytetty pilaristabilointi menetelmä on kuivamenetelmä. (Liikennevirasto 2010, 11.)

Maaperään tehtävien pilareiden halkaisijana käytetään 500-800 mm pilareita. Yleisimmät pilarikoot ovat 1990-luvulta asti olleet 600-700 mm. Nykyisellä kalustolla pilareiden maksimipituus on n. 20 metriä. Harvoin taloudellisesti maksimipituiset pilarit ovat kuitenkaan kannattavia. (Liikennevirasto 2010, 11.)

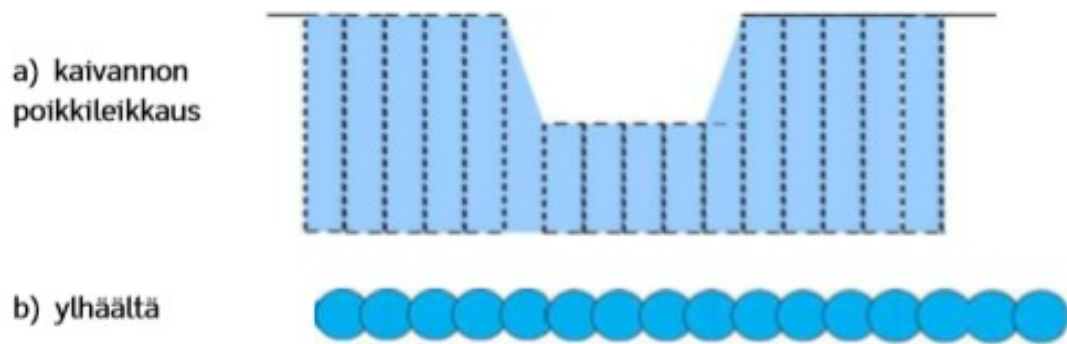
Pilarin lujuuden kannalta sideaineen sekoituksen onnistumisella on suuri merkitys. Sideaineen syötön tulee onnistua tasaisesti ja hallitusti. Sekoitustyön on oltava riittävän tehokasta ja paineilman käyttö sekoituksen aikana tulee minimoida. Sideaineen syöttömäärää on mahdollista säätää syvyyssuunnassa ja säädön käyttö on yleistynyt useammassa pilaristabilointikohteissa. (Liikennevirasto 2010, 11.)

Pilarikoneen sekoitinkärkeä maahan upotettaessa, työnnetään kärjen suuttimista paineella ilmaa ulos. Paineilma estää sekoitinkärjen suuttimien tukkeutumisen. Ilma sekoitinkärjen upotusvaiheessa tulisi minimoida, jotta maaperän häiriintyminen olisi mahdollisimman vähäistä. Itse sekoitustyössä käytettävä paineilmamäärä pyritään pitämään siinä minimiarvossa, millä sekoitustyö on vielä mahdollista. Syvemmissä kohteissa yleensä vaadittava paineilmamäärä on suurempi. (Liikennevirasto 2010, 11.)

Stabilointiainetta maahan työnnettäessä paineilmalla, paineilman pitäisi tulla maanpinnalle sekoitinlaitteen vartta pitkin. Paineilma saattaa joissain tapauksissa purkautua muita reittejä ja aiheuttaa maaperään häiriintymistä. Paineilman aiheuttama häiriintyminen on kuitenkin paikallista ja nopeasti ohimenevää. Kaivantojen tukemistarkoituksessa tehtävässä pilaristabiloinnissa häiriintymistä on tarkkailtava ja pyrittävä minimoimaan häiriintyminen. (Liikennevirasto 2018, 43.)

Stabilointikoneen terä ei läpäise kivisiä ja lohkareisia täyttöjä eikä tiivistettyjä mursketäyttöjä. Työalustana koneelle voidaan käyttää maksimissan puolenmetrin paksuista tiivistämätöntä murskepetiä. Koneen alustana voidaan käyttää myös ruotsissa hyvin yleistä hiekkatäyttöä. Hiekkatäyttö voidaan tehdä maksimissaan n. 1 m paksuisena. Hiekkatäyttö aiheuttaa myös pienemmän kuormituksen valmiina oleville pilareille kuin mursketäyttö. (Liikennevirasto 2010, 12.)

Pilarilamellilla tarkoitetaan pilaririviä, jossa pilarit leikkaavat toisiaan muodostaen yhtenäisen seinän (Kuva 13). Pilaririvejä voi olla yksi tai useampi vierekkäin. Kaivantoluiskia vahvistettaessa käytetään aina pilarilamelleja kuten myös kaivannon pohjaa vahvistettaessa. Pilarilamelleilla saadaan tehtyä kaivannosta vesitiivis tai veden liikkeitä maaperässä saadaan ohjattua haluttuun suuntaan. (Liikennevirasto 2018, 22.)

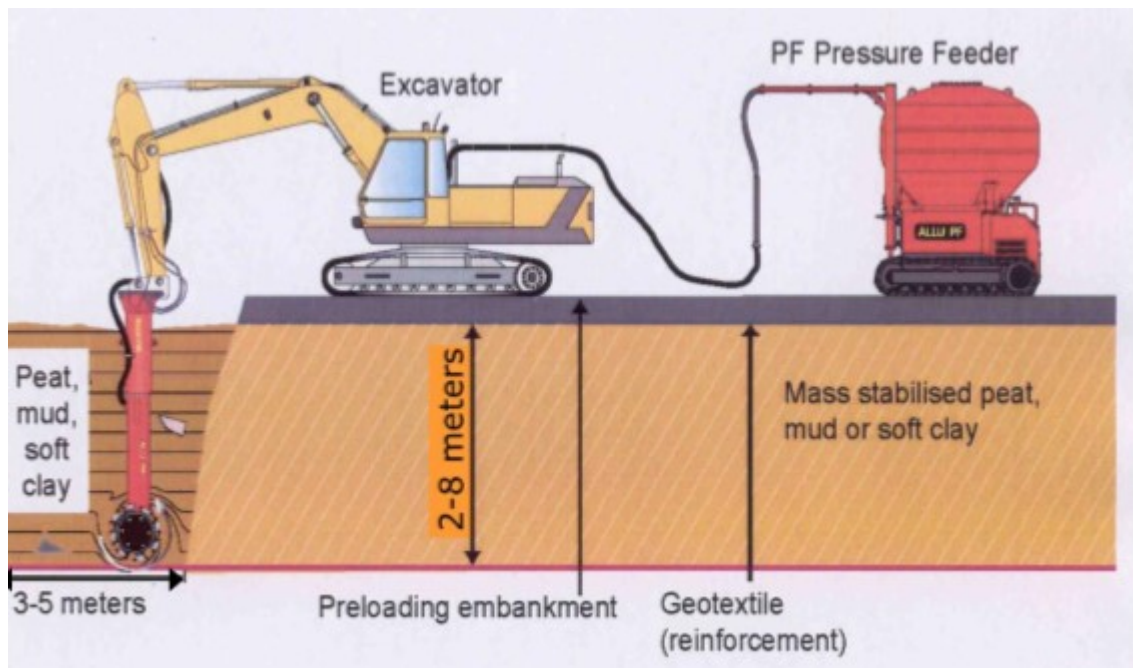


Kuva 13. Pilaristabiloimalla vahvistetun kaivannon poikkileikkaus. (Liikennevirasto 2018, 101)

4.6.3 Massastabilointi

Massastabilointimenetelmässä liikutellaan stabilointikoneen kärkeä maaperässä, johon stabilointia tehdään. Kärkeä liikutellaan pysty ja vaakasuunnassa. (Liikennevirasto 2010, 12.) Massastabilointikoneessa oleva kärki on rumpusekoitin, joka sekoittaa sideainetta stabiloitavaan maaperään sitä liikuteltaessa. Stabilointia tehdään yleensä koneen ulottumaan sopivissa blokeissa. Blokin stabiloinnin valmistuttua tehdään blokin päälle työalusta koneelle ja siirrytään eteenpäin seuraavalle blokille suorittamaan stabilointia. Työalustaksi rakennettu täyttö toimii myös massastabiloinnin tiivistyspenkereenä. Tavoitelujuus massastabiloinnissa saavutetaan normaalisti 1-3 kuukauden aikana. (Forsman ym. 2014,6.)

Massastabilointikoneena toimii kaivinkone. Kaivinkoneen perään liitetään sekoitusyksikkö ja painesyötin (Kuva 14). Lisäksi koneessa on stabilointilaitteiston ohjausyksikkö ja tiedonkeruujärjestelmä. Hyvissä olosuhteissa massastabilointilaitteistolla ulotutaan 7-8 metrin syvyyteen. (Forsman ym. 2014,8.)



Kuva 14. Massastabilointilaitteisto ja menetelmän periaate. (Forsman ym. 2014,6)

Massastabilointimenetelmä soveltuu pehmeisiin maalajeihin kuten saveen, liejuun ja turpeeseen. Stabiloitavilla alueilla, joissa on pinnassa kerros hyvin pehmeää maa-ainesta, voidaan ylempi maakerros massastabiloida ja alempi savikerros pilaristabiloida. (Forsman ym. 2014,6.) Massastabiloinnin käyttökohteet ovat yleensä sellaisia, joissa pilaristabilointia ei pystytä teknisesti tai taloudellisesti järkevästi suorittamaan (Liikennevirasto 2018, 18).

Kunnallisteknisten verkostojen sijaitessa viheralueilla, pelloilla tai metsissä, voidaan massastabiloitua kaivuumaata hyödyntää kaivannon täyttöä tehdessä. Ilman stabilointia heikkolaatuinen maa-aines jouduttaisiin vaihtamaan parempilaatuiseen maa-ainekseen. Massastabiloitua maa-ainesta voidaan käyttää myös putkikaivantojen savisuluissa normaalisti käytettävän kuivakuorisaven tilalla. (Forsman ym. 2014,20.)

Stabilointityötä ennakoiviin työvaiheisiin kuuluu stabiloitavalla alueella olevien rakenteiden ja muiden esteiden selvittäminen. Maastoon merkataan putkijohdot, maakaapelit, ilmajohdot yms., jos merkkkaus ei riitä ja rakenteet ovat stabilointityön tiellä, suoritetaan niiden siirto pois stabiloitavalta alueelta. (InfraRYL2010 2010, 99.)

4.7 Tukiseinän tuenta

4.7.1 Yleistä tukiseinän tuennasta

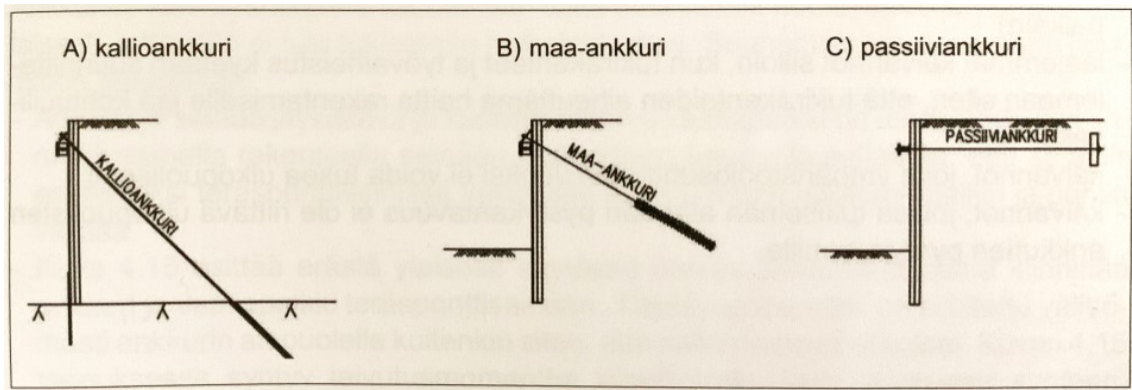
Tukiseiniin rakennetaan yleensä vaakatuenta. Vaakatuennat rakennetaan pitämään tukiseinä kasassa ja estämään sen turha liikkuminen ja muodonmuutokset. Vaakatuenta voi olla kaivannon ulko- tai sisäpuolinen. Joissain ratkaisuissa käytetään sisä- ja ulkopuolisen tuennan yhdistelmää. Tyypillisesti kapeidenkaivantojen kuten putkikaivantojen, yhteydessä käytetään sisäpuolista tuentaa. (Kaivanto-ohje 2014, 59,174.)

Tukiseiniä jaotellaan sen mukaan, moneltako tasolta ne tuetaan. Tukiseinät voivat olla tukemattomia, yhdeltä tasolta tuettuja tai usealta tasolta tuettuja. Tukemattoman ja yhdeltä tasolta tuetun tukiseinän käyttö on mahdollista matalassa kaivannossa, jossa ponttien lyöntisyvyyttä ei ole rajoitettu. Usealta tasolta tuentaa käytetään syvemmissä kaivannoissa. (Perkiö, 2009, 26)

4.7.2 Tukiseinän ulkopuolinen tuenta

Tukiseinän ulkopuolinen tuenta toteutetaan ankkuroimalla tukiseinä kallioon, maakerrokseen tai passiivisiin ankkurointipisteisiin (Kuva 15). Passiivinen ankkurointipiste voi olla esimerkiksi ankkuripontti. Ankkurina toimii yleensä korkealujuksinen punosvaijeri, terästanko tai läpi-injektoitava pora-ankkuri. (Kaivanto-ohje 2014, 61,175.)

Ennen ankkurointityön aloitusta tulee varmistaa maassa olevat rakenteet. Ankkurit tulee porata maahan siten, että ne eivät törmää esteisiin tai vahingoita olemassaolevia rakenteita. Ankkureiden asennustyön valmistuttua ankkureihin suoritetaan koekuormitus. (Kaivanto-ohje 2014, 174,177.)



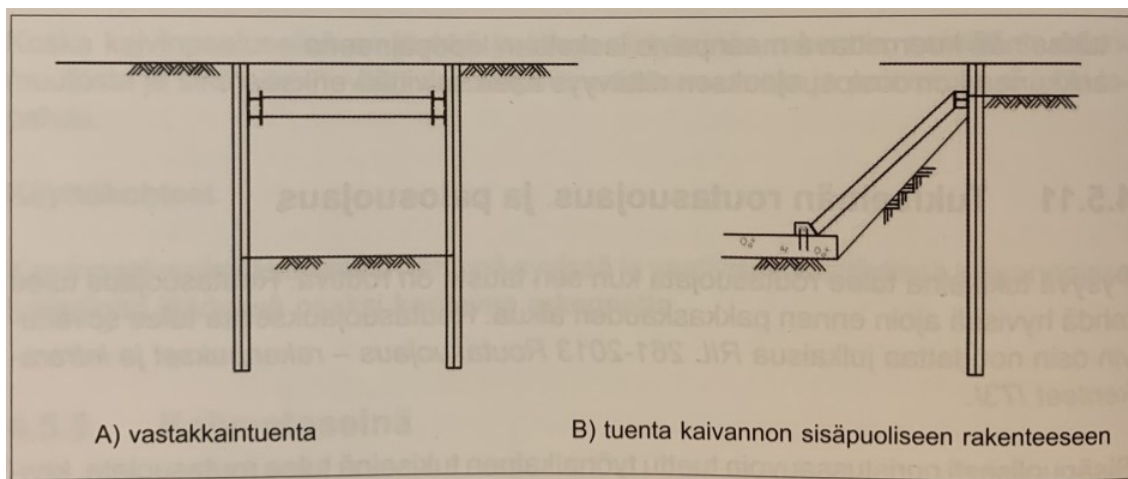
Kuva 15. Vetoankkurointi tapoja. (Kaivanto-ohje 2014, 59.)

Ankkuroinnin kiinnityksen yhteydessä tukiseinään kannattaa asentaa voimia jakava vaakapalkki. Ankkuroinnin kiinnitys voidaan toteuttaa ilman vaakapalkkiakin, mutta taloudellisista syistä vaakapalkkia käytettäessä kiinnitys kannattaa tehdä samaan aikaan ankkuroinnin kanssa. Vaakapalkkina toimii yleensä HEB-teräspalkki. Vaakapalkkina toimivia muita käyttömateriaaleja voivat olla esim. putkipalkki, teräspontti tai betonirakenne. (Kaivanto-ohje 2014, 62.)

Käyttökohteita ulkopuolisilla tuennoilla toteutettaville kaivannoille ovat pääsääntöisesti laajat kaivannot ja syvät monelta tasolta tuetut kaivannot. Ulkopuolisella tuennalla toteutetussa kaivannossa etuna on, ettei kaivannon sisäpuolelle tule työtä haittaavia tukirakenteita. Laajemmissa kaivannoissa ulkopuolinen tuenta on helpommin toteutettavissa kuin sisäpuolinen tuenta. (Kaivanto-ohje 2014, 60.)

4.7.3 Tukiseinän sisäpuolinen tuenta

Kaivannon tukiseinän sisäpuolinen tuenta (Kuva 16) toteutetaan tukemalla tukiseinät toisiinsa tai kaivannossa olevaan passiiviseen ankkuriin. Passiivista ankkurituentaä käytetään yleensä vain laaja-alaisten kaivantojen tuennassa. Palkkimateriaalina välituissa eli puristussauvoissa käytetään yleensä HEB-teräspalkkia. Kaivannon leveyden kasvaessa palkkeina käytetään yleensä teräsputkea. Teräsputken kokoluokka vaihtelee tarpeen mukaan 500-1000 mm välillä. (Kaivanto-ohje 2014, 63.)



Kuva 16. Kaivannon sisäpuolisia tuentaratkaisuja (Kaivanto-ohje 2014, 60.)

Puristussauvat voidaan tukea tarvittaessa keskeltä nurjahduksen estämiseksi. Puristussauvan tulee kestää myös yllättäviä pistekuormia, esimerkiksi louhinnasta sinkoilevat kivet tai työkoneneen vahinkokolhaisut. Tukirakenteet on kuitenkin pystyttävä toteuttamaan siten, että tukirakenteiden takia kaivannossa tehtävä työt eivät häiriinny kohtuuttomasti. (Kaivanto-ohje 2014, 63.)

Putkikaivannoissa voidaan käyttää vaakatuiksi hitsaamalla tehtyjä kehikoita. Pontit asennetaan teräskehikoita vasten. Kaivuu suoritetaan teräskehikoiden välistä ja kehiöt painetaan kaivinkoneella suunniteltuun tasoon. Kun vaakatu on saatu tavoitetasoon, ripustetaan ne ketjua käyttäen pontteihin. Kehikko tulisi kuitenkin hitsata tai tukea teräskonsoleilla, jotta se pysyy varmasti paikallaan työsuorituksen aikana. Vaakatuennan purkaminen voidaan suorittaa turvallisesti, kun kaivantoa on täytetty tuennan alapinnan tasoon. (Kaivanto-ohje 2014, 182.)

Rakennetussa tukiseinässä ollessa kulmia voidaan kulmiin laittaa sisäpuoliset kulmatuet. Kulmatukien käyttö edellyttää, että kaivannossa on tilaa kulmatuen käytölle. Kaivannon sisäpuolisten tuentojen ylimääräistä kuormittamista on vältettävä. Tukiin ei saa ripustaa ylimääräistä painoa tai tukien päälle ei tule varastoida tavaroita. (Tuhola, M., 7)

Sisäpuolinen tuenta soveltuu hyvin kapeissa kaivannoissa käytettäväksi. Sisäpuolisen tuennan etuna on, että tuenta on yleensä halvempi ratkaisu toteuttaa kuin ulkopuolinen tuenta. Sisäpuolinen tuenta ei myöskään aiheuta pystykuormia tukiseinään kuten ulkopuolinen ankkurointi. (Kaivanto-ohje 2014, 60.)

4.7.4 Tukiseinän alapään tuenta

Tukiseinän alapää tuetaan tarvittaessa vaaka- ja pystykuormia vastaan. Tukiseinien alapäiden vaakatuenuissa voidaan hyödyntää passiivista maanpainetta. Tukiseinän alapään toimiessa ulokemaisena rakenteena tukeutuu tukiseinä alimpaan tukitasoon. Tukiseinän alapää voidaan tukea myös kallioon. Ponttiseinän kallioon tukeminen tehdään juuripulteilla. Juuripulttien materiaalina käytetään yleensä pyöröterästä läpimitaltaan 50-100 mm. (Kaivanto-ohje 2014, 64.)

Tukiseinän vaaka-ankkurointi aiheuttaa tukiseinään pystykuormia. Tukiseinä pyritään tekemään pystykuormia vastaan siten, että se tukeutuu kantavaan maakerrokseen tai kallioon. Jos kantavaa maakerrosta tai kalliota ei ole lähellä ponttien upottamissyvyyttä voidaan ankkurointipisteiden kohdalta yksittäiset pontit upottaa kantavaan pintaan. Yksittäinen pontti toimii siirtorakenteena, joka ottaa vastaan pystykuormat ankkurilta. (Kaivanto-ohje 2014, 64.)

Putkikaivannoissa käyttökelpoinen ratkaisu voi olla joskus betonista tehtävä arina. Betoniarina toimii kaivannon tuennan tukitasona. Betoniarinalla saadaan lisää tilaa kaivannossa työskentelemiseen. Betoniarinan lujituttua voidaan kaivannosta purkaa alin tukitaso pois. Ratkaisu on käyttökelpoinen vaihtoehto, jos putkitöiden tekeminen kaivannossa ei onnistu alimman tukitason ollessa paikallaan. (Kaivanto-ohje 2014, 76.)

4.8 Maan jäädytyksen hyödyntäminen kaivantotöissä

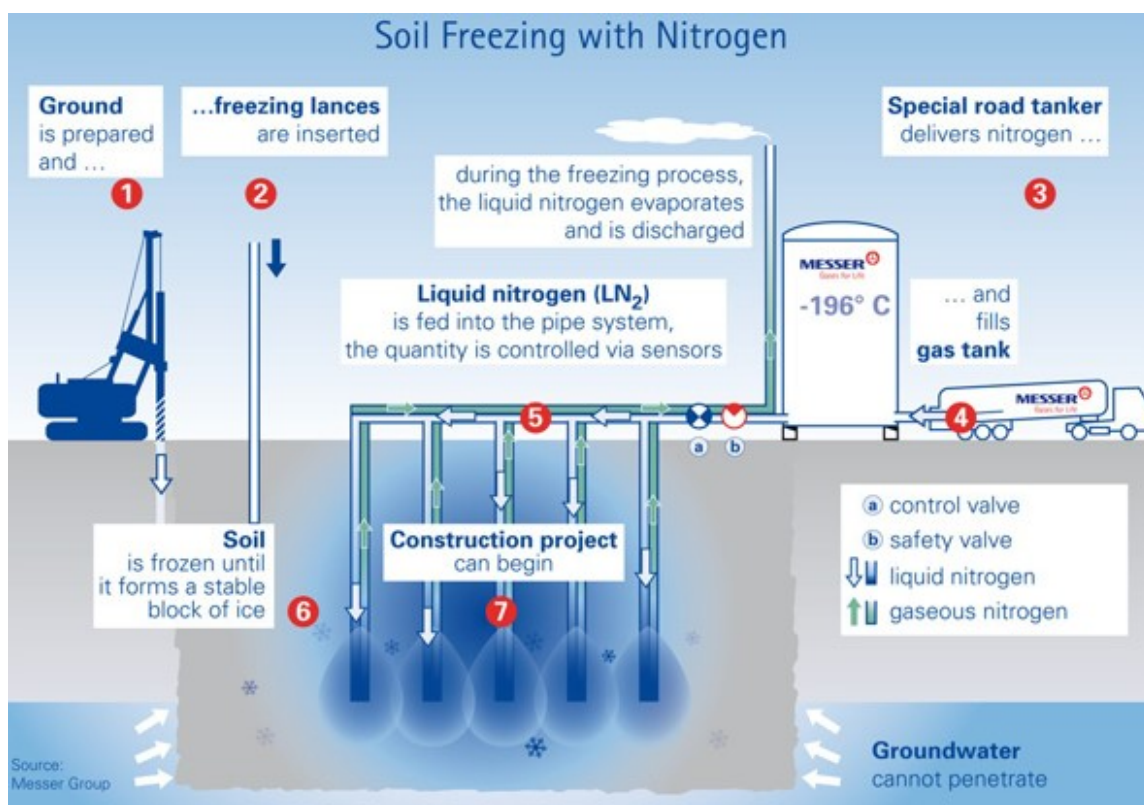
Joissain tapauksissa on mahdollista käyttää maaperän väliaikaiseen lujittamiseen maan jäädyttämistä. Maan jäädyttämisellä voidaan estää myös maaperän vedenläpäisevyyttä. Jäädytettävän maaperän pitää olla riittävän vesipitoista, jotta jäädytys onnistuu. Maa-aines tutkitaan laboratoriossa, jotta sen muodonmuutos- ja jäätymisominaisuudet saadaan selville. (InfraRYL2010 2010, 110.)

Tekniikka ja Talous-lehden artikkelin mukaan, jossa kerrotaan pohjamaan vahvistamisesta jäädyttämällä, sanotaan että, pystysuoria kaivantoja varten maahan voidaan upottaa

jäädytysputkia, jotka kovettavat maan ja mahdollistavat syvän kuopan kaivamisen ilman ponttiseiniä. (Törmänen 2002.)

Maaperän jäädytyksessä käytettävän laitteiston (Kuva 17) kapasiteetin tulee olla tarpeeksi riittävä. Jäädytyskapasiteetin laskennassa on otettava huomioon jäädytettävän rakenteen, laitteiston sisäiset ja putkiston lämpöhäviöt. Jäädytettävään maaperään asennetaan riittävä määrä antureita, joilla mitataan maaperän lämpötilaa ja muodonmuutoksia. Anturit sijoitellaan jäädytettävän alueen kriittisiin kohtiin. Jäädytettävän alueen lämpötilaa seurataan päivittäin. (InfraRYL2010 2010, 110.)

Jäädytystä varten maahan upotettavassa putkistossa kiertää jäädytysneste. Jäädytysneste on yleensä jäädytettyä kalsium- tai magnesiumkloridia tai nestemäistä typpeä. Jäädytyksen tavoitteena on saada maaperään yhtenäinen jäätynyt vyöhyke. Maan jäätyessä tapahtuu yleensä routimisilmiötä. Routimista saadaan vähennettyä nopealla alkujäädytyksellä. (Nauska & Havukainen, 1998, 34.) Ympäristövaikutusten minimoimiseksi jäädytyslaitteistossa käytettävät aineet eivät saa aiheuttaa ympäristölle pilaantumisvaaraa (InfraRYL2010 2010, 110).



Kuva 17. Maaperän jäädytyslaitteiston periaate. Kuvassa käytettävä jäädytysaine nestemäinen tyyppi. (<https://m2ukblog.wordpress.com/2017/04/08/ground-freezing-technique/>)

AGA:n menetelmää ja nestemäistä tyyppiä käytettäessä saadaan yleensä viikossa muodostettua noin metrin paksuinen jäätyneet maaseinä. Maaseinämien muodostumisvaihe toteutetaan 4-7 päivässä. Yleensä maaperän ominaisuuksista riippuen maaseinämien muodostumisvaiheessa nestemäistä tyyppiä käytetään 1500-2500 l/m³. Maaseinämien ylläpitovaiheessa nestemäistä tyyppiä käytetään huomattavasti vähemmän kuin muodostusvaiheessa. Ylläpitovaiheen syöttömäärä on yleensä noin 90 l/m³ vuorokaudessa. Ylläpitovaiheessa maaperän jäätyneen laajeneminen pysäytetään ja seinämien paksuus pidetään vakiona. Kun tyyppien syöttäminen maaperään lopetetaan, jäätyneet maakerrokset häviävät muutamassa viikossa. (AGA. n.d.)

Laadunvarmistustoimenpiteenä jäädytetystä maaperästä otetaan sydännäytteitä. Sydännäytteillä määritetään jäädytetyn kentän lujuus. Näytteet otetaan suunnitelma-asiakirjojen mukaisista pisteistä. Näytteet tulisi ottaa kaikista jäädytetyllä alueella olevista eri maalaajista ja kosteusolosuhteista. Maaperän jäätyneen homogeenisyys todetaan lämpötilamittauksilla. (InfraRYL2010 2010, 110.)

5 YHTEENVETO KAIVANTOJEN TOTEUTUSMENETELMISTÄ

Kaivannon sijainti ja mitat vaikuttavat kaivannon toteutustyyppin valintaan. Ensisijaisesti valinta tehdään luiskatun ja tuetun kaivannon välillä. Luiskattuna tehtävälle kaivannolle kerrotaan kaivantosuunnitelmassa luiskan kaltevuuden minimivaatimus. Luiskatun kaivannon luiskan kaltevuutta suunniteltaessa perustapauksissa voidaan käyttää InfraRYL:n taulukkoa. (Rantanen ym. 2013, 56.)

Eri tuentatapoja käytettäessä kohteet ovat hyvin erilaisia. Putkikaivantoja tehdessä tuenta liikkuu kaivannon edetessä eteenpäin lähes joka päivä, jolloin kaivannon tuennan arvo ei staattisilta ominaisuuksiltaan vaadi niin paljoa kuin esimerkiksi talonrakennus työmailla, joissa kaivannot ovat auki pitkiä aikoja. Käytettävän tuentamenetelmän pitää soveltua kaivannossa käytettävään työmenetelmään. Esimerkiksi kaivannon reunalla liitettävien putkien kanssa tuentaelementti ei ole hyvä ratkaisu, koska putki on vaikea asentaa paikalleen elementeissä olevien poikkitukien välistä. (Rantanen ym. 2013, 56.)

Liikenneviraston teettämässä Vaara vaanii kaivannossa tutkimuksessa urakoitsijat kertoivat käytetyimmän tavan yli 2 metriä syvän kaivannon toteuttamiseen olevan luiskattu tai porrastettu kaivanto. Urakoitsijat, joilla on omaa tuentakalustoa käyttävät tuentaa helpommin kuin ne, joilla sitä ei ole. Kaivantotukielementtiä pidettiin toiseksi suosituimpana tuentatapana. Tukielementtien ongelmana on kuitenkin käytettävyyys, jos kaivettavalla linjalla kulkee paljon muuta kunnallistekniikkaa. Niin sanottuja keveitä tuentoja ei juuriin käytetä työmailla. (Rantanen ym. 2013, 69.)

Käytettävään kaivannon tuentaan vaikuttaa erittäin moni asia. Tästä syystä kaivantotuki-menetelmien vertailu keskenään on hyvin vaikeata. Yleisiä ohjeita eri tuentamenetelmien käyttökohteille on, mutta käyttö on silti aina suunniteltava tapauskohtaisesti. Mikäli kaivanto toteutetaan ilman tuentaa, luiskien kaltevuus kerrotaan suunnitelmissa. Jos luiskien kaltevuutta ei kerrota suunnitelmissa, on luiskan turvallisuus todettava työmaalla. Lopullinen ratkaisu luiskan kaltevuudesta tehdään kokemuseräisesti. Kaivantoa kaivaessa ja kaivuun edetessä todetaan missä kaltevuudessa luiska pysyy vakaana. (Rantanen ym. 2013, 70.) Taulukkoon (Taulukko 1) on kerätty eri toteutusmenetelmien tärkeimmät ominaisuudet ja niiden käytön kannalta etuja ja haittoja. Taulukko muodostaa yhteenvedon eri menetelmien käytöstä.

	Ominaisuudet	Edut	Haitat
Luis-kattu kaivanto	Luiskien kaltevuudet maaperän ominaisuuksien mukaan. Ei sovellu pehmeisiin pohjaolosuhteisiin. Tilaa vaaditaan kaivannon ympärille riittävästi.	Nopea ja halpa toteuttaa, matalissa kaivannoissa hyvä ratkaisu.	Tilan tarve, massamäärä suurempi kuin tuesta, sää vaikuttaa luiskien vakavuuteen.
Kevyet tuennat	Estää kivien ja irtomaan putoamisen kaivannon seinämistä. Rakennetaan puutavarasta yms. Soveltuu käytettäväksi matalissa kaivannoissa.	Luo turvallisuutta kaivannossa työskentelyyn.	Hidas rakentaa, puutavarana heikko uudelleen käytettävyyttä, ei estä varsinaisesti kaivannon sortumista.
Setti-seinä	Soveltuu käytettäväksi karkeiden maajalajien kanssa. Ei sovellu pohjavedenpinnan alapuolisiin kaivantoihin, eikä löyhään maaperään. Ei vesitiivis ratkaisu.	Pystypalkkien uudelleen käytettävyyttä, soveltuu kaiken syvyyteen kaivantoihin, kivisyys ja lohkareisuus ei haittaa asennusta.	Hidas ja työläs rakentaa, painumat kaivannon ympärillä.
Tuenta- elementit	Varmistaa työturvallisuuden, mutta ei takaa maan liikkumattomuutta kaivannon ympärillä. Soveltuu yleensä 2-4 m syviin kaivantoihin.	Helppo käsitellä työmaalla, paljon vaihtoehtoja markkinoilla, uudelleen käytettävyyttä.	Ei estä pohjannousua, poikkeukset haittaavat kaivannossa työskentelyä.
Teräs-ponttiseinä	Yhtenäinen tukiseinärakenne. Sopii lähes kaikkiin pohjaolosuhteisiin paitsi kivisiin, lohkareisiin ja hyvin tiiviisiin kitkamaakerroksiin. Vesitiivis tuentamenetelmä.	Ponttien uudelleenkäyttömahdollisuus, seinän rakentaminen helppoa ja nopeaa.	Asennus ja poisto aiheuttaa tärinää ympäristölle, nostettaessa pontteja maasta syntyy helposti painumia.
Stabilointimenetelmät	Sideaine vahvistaa maapohjaa, jolloin kaivannon toteutus voi onnistua tuentaelementtiä käyttäen tukiseinän sijasta tai ilman tuentaa. Soveltuu pehmeisiin pohjaolosuhteisiin.	Tasaa putkilinjan painumia, voidaan hyödyntää ponttiseinän alapään tuennassa.	Stabiloidussa maaperässä esiintyy helposti epäjatkuvuuskohtia, ei läpäise kovia esteitä tai lujia maakerroksia.
Maanjääditys	Lujittaa maaperän väliaikaisesti. Jääditys toteutetaan jäähdytysainetta kierrättämällä putkistoissa, jotka on asennettu maaperään. Harvinainen menetelmä. Soveltuu käytettäväksi isoissa kohteissa.	Jäätynyt maaseinä estää veden kulkemisen maaperässä, jäätyneen seinän paksuus säädeltävissä.	Vaatii maa-ainekselta riittävän vesipitoisuuden ja tarkat laboratoriotutkimukset.

Taulukko 1. Yhteenveto eri menetelmien tärkeimmistä ominaisuuksista, eduista ja haitoista.

Kaikkien kaivantojen tukeminen ei kuitenkaan ole välttämätöntä. Kaivannon tuentaa ei tarvitse tehdä, jos kaivantoon ei tarvitse mennä suorittamaan työtehtäviä. Rakennustyön turvallisuusasetusta voidaan tulikita siten, että kaivantoa ei tarvitse tukea, jos työt suoritetaan kaivantoon menemättä. Esimerkiksi tietoliikennekaapelit voidaan asentaa kaivannon reunalta. Vaikka töitä tehdään vain kaivannon reunalta, on varmistettava, ettei kaivannon sortuma aiheuta tapaturman vaaraa. (Rantanen ym. 2013, 58.)

Kaivantojen toteuttamista varten tulee laatia riittävät suunnitelmat. Tehtyjen suunnitelmien perusteella kaivanto on voitava toteuttaa oikeasti turvallisesti. Vaativimmissa kohteissa on hyvä pyrkiä kokoamaan kokeneita osajia mukaan suunniteluun. Kaivantojen yksityiskohtainen suunnittelu toteutuksen yhteydessä jää usein urakoitsijan tehtäväksi. Hyvä tilaaja pitää projektissa mukana suunnittelijaa toteutusvaiheen loppuun saakka. (Rantanen ym. 2013, 58.)

Suurin yksittäinen syy suunnitellusta tuennasta poikkeamiseen on maaperän ominaisuudet. Maaperä voi muuttua lyhyelläkin matkalla huomattavan paljon. Jos maaperätutkimusten pisteväli on liian suuri jää äkkinäiset maaperävaihtelut huomaamatta. Kallion pinnan korkeusvaihtelut ovat usein äkkinäisiä ja saattavat aiheuttaa ponttiseinän toteutuksen kanssa ongelmia. (Rantanen ym. 2013, 67.)

Vastaavan kaivantosuunnittelijan tulisi hyvän tiedonkulun varmistamiseksi osallistua työmaan aloituskokoukseen. Aloituskokouksessa suunnittelija voi kertoa tärkeimpiä tietoja suunnitelmaratkaisuista suoraan kaivannon toteuttajalle. Tiedonkulun olisi hyvä toimia myös työmaalta suunnittelijalle, jotta suunnittelija pysyisi ajan tasalla työmaalla tapahtuvista muutoksista ja voi tarvittaessa ryhtyä tekemään suunnitelmamuutoksia nopeasti. (Rantanen ym. 2013, 76.)

Kaivantotöiden onnistumisen ja työturvallisuuden takaamisen kannalta ratkaiseva tekijä on hyvä toteutussuunnitelma ja toteutussuunnitelman tarkka noudattaminen. Huolellisella rakentamisella ja suunnitelmien noudattamisella voidaan ehkäistä kaivannon luiskien ja tukiseinien sortumavaaraa. Tärkeimpiä seikkoja työturvallisuuden kannalta on myös suunnitella työmaaliikenne huolella. (Tuhola, M., 10)

6 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä opinnäytetyössä suoritettiin pohdintaa kaivantojen tukemisesta kunnallisteknisten töiden yhteydessä. Työssä keskityttiin selvittämään erityisesti eri menetelmien käyttöä ja käyttökohteita. Työssä kerrotaan myös luiskatun kaivannon ominaisuuksista, jotta luiskatun- ja tuetun kaivannon vertailu keskenään olisi mahdollista, sekä syiden ymmärtäminen miksi luiskattua kaivantoa ei aina voida toteuttaa, olisi helpompaa. Työssä keskityttiin tuentamenetelmiin, jotka voisivat sopia kunnallisteknisten urakoiden toteuttamiseen.

Kaivantojen tukemisen tarve on välttämätöntä myös työturvallisuuden näkökulmasta. Jos turvallisuutta ei oteta huomioon kaivantotyö voi olla erittäin vaarallista. Turvallisuus on yksi tärkeimmistä asioista kaivantoja tehdessä. Turvallisuus on kehittänyt monia kaivantotuki menetelmää eteenpäin.

6.1 Johtopäätökset

Kaivannon toteutus suunnitellaan aina yksilöllisesti kohteen mukaan. Jokaisella tuentatavalla on omat hyvät ja huonot puolensa. Suunnittelija miettii kohteesta saatujen pohjatutkimuksien perusteella kokonaisedullisimman toteutusmenetelmän. Toteutus pyritään tekemään suunnitelma-asiakirjojen mukaisella tavalla, mutta yllättäviä muutoksia työn aikana maaperässä tai olosuhteissa todettaessa, joudutaan miettimään toteutusmenetelmiä uudelleen turvallisuuden takaamiseksi ja työn toteutuksen onnistumiseksi.

Luiskattu kaivanto on yleensä halvin ja nopein aikataulullisesti toteuttaa. Vaikka luiskattu kaivanto olisi mahdollista toteuttaa pohjaolosuhteiden puitteissa, ei se välttämättä onnistu, koska luiskatun kaivannon tilantarve on suuri. Tilan puutteen kaivannon ympärillä estäessä toteuttamisen luiskattuna, suunnitellaan kaivanto tuettuna. Luiskatun kaivannon laajuudesta johtuen, kaivannosta tulee myös kaivumassoja huomattavasti enemmän kuin tuetusta kaivannosta. Luiskattu kaivanto on hyvä vaihtoehto, jos sen toteuttaminen onnistuu hyvin ja tilaa sen ympärille jää myös työskentelylle.

Kaivannon tekeminen tuettuna on huomattavasti vaativampaa kuin ilman tuentaa. Tuentamenetelmästä riippuen kaivannon toteutukseen menee aikaa huomattavasti enemmän kuin luiskatun kaivannon tekemiseen. Tuettuna tehtävän kaivannon kustannukset ovat

myös suuremmat kuin luiskatun. Tuettuna tehtävän kaivannon suunnitelmat ovat huomattavasti kattavammat kuin luiskaamalla tehdyn kaivannon. Tuettavaa kaivantoa suunniteltaessa pohjatutkimusten tarpeen määrä on suurempi.

Tuentaelementti on hieman kevyempi tuentaratkaisu kohteisiin, joissa teknisiltä ominaisuuksiltaan järeämpää tuentaa kuten esimerkiksi ponttiseinää ei tarvita. Tuentaelementtien laajan valikoiman ansiosta niitä voidaan käyttää monissa erilaisissa kohteissa.

Ponttiseinä on käytetyin tukiseinäratkaisu. Ponttiseinä on suhteessa muihin tukiseiniin verrattuna huomattavasti halvempi ratkaisu. Kunnallisteknisten töiden yhteydessä ponttiseinää käytetään paljon. Sen rakentaminen ja purkaminen on kohtuullisen nopeaa, joten kustannukset pysyvät siedettävällä tasolla.

Maanjäädättäminen kaivannon luiskien vakauttamiseksi on Suomessa hyvin harvinaista. Kunnallisteknisten urakoiden yhteydessä sitä ei ole käytetty juurikaan. Putkistojen rakentaminen maaperään on työlästä ja jäädytys vie aikaa. Kunnallisteknisissä töissä kaivanto liikkuu yleensä eteenpäin, jolloin maanjäädättäminen ei ole kovin tehokas ratkaisu kokonaisuuden kannalta. Maanjäädytystä voidaan tehdä yleensä suurempien urakoiden yhteydessä erikoistapauksissa.

Tukiseinien vaakatuenta kunnallisteknisissä töissä tehdään yleensä sisäpuolisena tuentana. Kaivannon nopean liikkuvuuden takia ei kannata käyttää aikaa esimerkiksi ankkuroinnin tekemiseen. Putkikaivannot, joiden tuentana käytetään ponttiseinää, tehdään lähes poikkeuksetta sisäpuolista tuentaa käyttäen. Sisäpuoliseen tuentaan hyvä ratkaisu putkikaivannossa on hitsaamalla tehty teräskehikko. Teräskehikon asennus ja siirtely on nopeaa kaivantotyön edetessä.

LÄHTEET

AGA. n.d. Prosessit, maaperän jäädytys. Esite. Luettu 12.3.2019.

http://www.aga.fi/fi/processes_ren/freezing_cooling/ground_freezing/index.html

Forsman, J., Jyrävä, H., Lahtinen, P., Niemelin, T., & Hyvönen, I. 2014. Massastabilointikäsikirja. Luettu 26.2.2019. http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Massastabilointikäsikirja%20YLEISVERSIO%20-%202014_06_24.pdf

Koskelainen, H. 2014. Kaivannon tukirakenteen kehittäminen. Rakennusalan työnjohdon koulutus. Metropolia Ammattikorkeakoulu Mestarityö.

KT-Tuenta Oy. Palvelut. Kaivantotukielementit. Luettu 21.1.2019 <http://kt-tuenta.fi/palvelut/kaivantotukielementit/>

Liikennevirasto. 2010. Syvästabiloinnin suunnittelu. Tampere: Juvenesprint Oy. Luettu 26.2.2019. https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2010-11_syvastabiloinnin_suunnittelu_web.pdf

Liikennevirasto. 2018. Syvästabiloinnin suunnittelu. Luettu 26.2.2019 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2018-17_syvastabiloinnin_suunnittelu_web.pdf

Maakone Oy. Kaivantotuenta. Tuotteet. Luettu 21.1.2019 <http://www.maakone.com/tuotteet-kaivantotuenta.php>

Maakone Oy. Tuote-esite. Kaivannon vanerituki, sarja 260. Luettu 11.1.2019. <http://www.maakone.com/tuotteet-97-vanerituki.php>

Nauska, J., Havukainen, J. 1998. Esirakentaminen 1998. Tiedote 77/1998. Helsingin Kaupunki, Kiinteistövirasto. Luettu 12.3.2019. <https://www.hel.fi/static/kv/Geo/Julkaisut/julkaisu77.pdf>

Perkiö, H. 2009. Tuettujen kaivantojen riskienhallinta. Teknillinen korkeakoulu Helsinki University of Technology. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Diplomityö.

Rakennusteollisuus RT ry, Betoniteollisuustoimiala. 2003. Betoniviemärit 2003 – Käsikirja. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

Rakennustietosäätiö. 2010. InfraRYL2010 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 1 väylät ja alueet. Viro: Rakennustieto Oy

Rantanen, E., Harju, M., Norokorpi, L. & Uusitalo J. 2013. Liikennevirasto, Vaara vaanii kaivannossa, Tutkimushanke kaivantojen turvallisuudesta. Luettu 3.1.2019 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2013-09_vaara_vaanii_web.pdf

RIL 263-2014. 2014. Kaivanto-ohje. Tampere: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Skanska. Kaivannot-ohje. Luettu 15.1.2019. <https://www.skanska.fi/496dcf/siteassets/tietoa-skanskasta/yhteistyokumppaneille/sopimusasiakirjat-ja-ohjeistukset/kaivanto-ohje.pdf>

Tuhola, M. Rakennuskaivannon tekeminen. Rakennustieto.fi. Luettu 4.2.2019. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK98s579.pdf>

Työsuojeluhallinto. 2010. Työsuojeluoppaita ja -ohjeita 15, kapeat kaivannot. Luettu 5.1.2019. https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/2426906/Kapeat_kaivannot_TSO_15.pdf/f7bc2198-d733-46fb-8e57-bff49c326a0f

Työsuojelurahasto. 2013. Vaara vaanii kaivannossa, opas kaivannon turvalliseen toteuttamiseen. Luettu 15.1.2019. https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tyoturvallisuus/vaara_vaanii_kaivannossa.pdf

Törmänen, E. 2002. Pohjamaa vahvistetaan jäädyttämällä. Tekniikka & Talous. Luettu 12.3.2019. <https://www.tekniikkatalous.fi/arkisto/2002-04-25/Pohjamaa-vahvistetaan-jäädyttämällä-3268604.html>