

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talorakennustekniikka
Juha Kujansuu

Opinnäytetyö

Putkikaivantojen tuentamenetelmien teknistaloudellinen vertailu

Työn ohjaaja
Työn tilaaja
Tampere 4/2009

DI, Hannele Kulmala
Skanska Infra Oy, valvojana rak.ins. Tero Pyssysalo

Kujansuu, Juha

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2009

Työn ohjaaja
Työn teettäjä

Putkikaivantojen tuentamenetelmien
teknistaloudellinen vertailu

44 sivua + 44 liitesivua

DI Hannele Kulmala

Skanska Infra Oy, valvojana rak.ins. Tero Pyssysalo

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää Skanska Infra Oy:n tarjouslaskijoille, miten erilaisten putkikaivantojen tuentamenetelmät vaikuttavat rakennettavan putkikaivannon kustannuksiin kahdessa erilaisessa poikkileikkauksessa annetuin pohjaolosuhtein. Tähän mennessä tarjouslaskijoiden on pitänyt erikseen hinnoitella joka tapaus tietämättä, mikä menetelmä tulee edullisimmaksi. Työssä syntyneiden laskelmien perusteella tarjouslaskijat voivat välittömästi arvioida kustannuksia erilaisten menetelmien välillä. Työssä tutkittiin lisäksi mahdollisten uusien menetelmien käyttämistä putkikaivantojen tuentana.

Vertailu suoritettiin viiden erilaisen menetelmän kesken. Nämä menetelmät olivat luiskattu kaivanto, naulaus, tuentaelementti, teräsponttiseinä ja CSM. Kustannuslaskennassa käytettiin Skanska Infran teho- ja kustannustietoa.

Pohjaolosuhteina työssä käytetään Suurpellossa vallitsevia olosuhteita, jonne putkikaivannot on ajateltu rakennettavan. Lisäksi lähtöoletuksena on ollut, että kustannuslaskenta suoritetaan ison kokonaisuuden rakenneosalle eikä erilliselle urakalle.

Työturvallisuus huomioitiin esimerkkien avulla ja lainsäädäntöä tulkitsemalla. Mitoitus tehtiin noudattaen yleisiä ohjeita ja hyväksi havaittuja metodeja. Aiheesta olevaa kirjallisuutta tuotiin esille ja hyödynnettiin eri tavoin tilannekohtaisesti.

Kujansuu, Juha

Pipe canals propprojects technical and economical comparison

44 pages + 44 appendices

4/2009

Thesis Supervisor

Hannele Kulmala (Master of Science in Technology)

Co-operating Company

Skanska Infra Oy

Supervisor Tero Pyssysalo (Construction Engineer)

Abstract

The meaning of this thesis was to research pipe canals propprojects prices in two different cross sections to produce fact which of the propprojects is the most economic. Nowadays cost accountants have to solve separately all the possibilities to found out the most economic solution. This thesis produced charts which has information about different types of canal propprojects costs. Additionally this thesis researched new cutter soil system (CSM) possibilities in construction site in Finland.

The different prices calculated by using Excel-program and co-operating firm's consumptions and effective values. The comparison charts related comparable prices between each methods. In order to obtain realistic results Suurpelto's ground circumstances were used.

Work safety was noticed by telling examples and interpret law. The factor of safety calculations was made by using common rules and useful detected methods. The literature in this subject was benefit in different ways and situations.

Alkusanat

Tämän työn tekeminen oli todella mielenkiintoista, haastavaa ja uutta asiaa minulle. Kaivantojen mitoittaminen, uudet työtekniikat ja kustannuslaskenta vaativat paljon aikaa ja paneutumista. Alun alkaen en edes ajatellut, mitä kaikkia asioita tällaisen aiheen käsitteleminen vaatii. Ainakin tällä tavoin pääsin hyvin sisälle aiheeseen ja onnistuin täyttämään etukäteen asetetut tavoitteet ja vaatimukset.

Kiitän lähimmäisiäni ja ystäviäni, jotka ovat päivästä toiseen kestäneet keskustelujani savimontuista ja kannustaneet meikäläistä kohti päämäärää. Lisäksi kiitän DI Tommi Hakasta työn ohjaamisesta ja tuesta, DI Tarmo Tarkkiota työn aiheesta, Esa Tanskasta työn kustannushallinnan neuvomisesta sekä rak.ins. Tero Pysysaloa siitä, että sain tehdä työni Skanska Infralle.

Tampereella 24.4.2009

Juha Kujansuu

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	8
1.1	Työn tausta.....	8
1.2	Tavoitteet.....	8
1.3	Rajaukset.....	8
2	Työturvallisuus.....	9
2.1	Lainsäädäntö.....	9
2.2	Kuolemantapaukset.....	10
2.2.1	Tapaus 1.....	10
2.2.2	Tapaus 2.....	10
2.2.3	Tapaus 3.....	11
2.3	Yhteenvedo kaivantojen turvallisuudesta.....	11
3	Erilaisia kaivantoja.....	13
3.1	Luiskattu kaivanto.....	13
3.2	Naulaus.....	14
3.2.1	Menetelmän kuvaus.....	14
3.2.2	Naulauksen rakentaminen.....	14
3.2.3	Toiminnallinen periaate.....	15
3.3	CSM (Cutter Soil Mixing).....	16
3.3.1	Yleistä saven stabiloinnista.....	16
3.3.2	CSM-menetelmän etuudet.....	16
3.3.3	CSM-menetelmän työvaiheet.....	18
3.4	Tuentaelementti.....	21
3.5	Teräsponttiseinä.....	22
4	Kohteena Suurpelto.....	24
4.1	Suurpellostä yleisesti.....	24
4.2	Alueella tehdyt pohjatutkimukset.....	24
4.3	Pohjaolosuhteet työkohteessa.....	26
5	Laskentamalli ja vakavuuslaskenta.....	28
5.1	Lähtökohdat ja perusteet.....	28
5.2	Laskentamalli.....	29
5.3	Luiskatun kaivannon stabiliteettilaskelmat.....	30
5.4	Naulauksen laskenta.....	32
5.5	Tuentaelementin stabiliteetti.....	33
5.6	Teräsponttiseinän stabiliteetit.....	34
5.6.1	Hydraulinen pohjannousu.....	34
5.6.2	Leikkausjännitysten aiheuttama pohjannousu.....	34
5.6.3	Poikkivetot.....	35
5.6.4	Vaakapalkit.....	35
5.7	CSM-stabiliteetin arvioiminen.....	36
6	Kustannuslaskenta.....	37
6.1	Vertailun lähtökohdat.....	37
6.2	Matala kaivanto.....	38
6.3	Syvä kaivanto.....	40
7	Johtopäätökset.....	43
	Lähteet.....	44

Liitteet

Liite 1: Turvallisuusasiat kaivutöiden suunnittelussa

Liite 2: Stabiiliteetilaskelmat luiskatuille kaivannoille ja ponttiseinille

Liite 3: Suhteelliset kustannukset

Liite 4: Pohjannousulaskelmat

Liite 5: Pohjanvahvistus ja CSM-paneelien tuentamahdollisuudet

Liite 6: CSM-menetelmän, naulauksen ja teräsponttiseinän palkkien laskennat

Symbolit ja lyhenteet

H	kaivannon syvyys, m
h_s	etäisyys kaivannon pohjalta vettäläpäisevään kerrokseen, m
s_a	adheesio maan ja pontinvälillä, kN/m^2
s_u	maan suljettu leikkauslujuus, kN/m^2
D	pontin lyöntisyvyys kaivannon pohjan alapuolelle, m
B	kaivannon leveys, m
H_w	etäisyys pohjavedenpinnasta kaivannon pohjaan, m
β	pontin ja maan välisen adheesion mobilisointisaste
γ	maan tilavuuspaino, kN/m^3
γ_w	veden tilavuuspaino, kN/m^3
F_s	kokonaisvarmuusluku, -
N_{cb}	kriittinen vakavuusluku, kun $D = 0$
N_b	kaivannon todellinen vakavuusluku, kun $D = 0$
N_{cb}'	kaivannon kriittinen vakavuusluku, kun pontti on lyöty kaivannon pohjan alapuolelle, -
N_b'	kaivannon vakavuusluku, kun pontti on lyöty kaivannon pohjan alapuolelle, -
q	maanpäällinen kuorma, kN/m^2
FOS	Factor Of Safety
KT 02	Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02
CSM	Cutter Soil Mixing
TOT	Työpaikka onnettomuuksien tutkinta

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Putkikaivantojen tekeminen savimailla on yleistä ja teknillisesti haastavaa. Tällöin tarvitaan tietoa erilaisista tuentamenetelmistä, jotta kaivanto voidaan toteuttaa ja suunnitella taloudellisesti, unohtamatta työturvallisuutta.

Skanska Infra Oy:n tarjouslaskijat ovat tähän mennessä tutkineet erilaiset menetelmät erikseen tietämättä etukäteen, mikä osoittautuu edullisimmaksi ja sopivimmaksi vaihtoehdoksi. Se kuluttaa turhaan aikaa ja resursseja eikä takaa taloudellisinta vaihtoehtoa. Tätä ongelmaa varten tarvitaan tutkittua tutkimustietoa sekä vertailtua eri menetelmien välillä. Jotta vertailu olisi realistinen, käytetään työn pohjaolosuhteina Espoon Suurpellon aluetta. Alueelta on olemassa kattavasti tietoa maaperästä.

1.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena on löytää erilaisten menetelmien välisiä kustannuseroja ja luoda kaksi erilaista tyyppipoikkileikkausta tietynlaisin parametrein. Tällöin kustannuslaskija voi katsoa suoraan taulukosta, mikä menetelmä on taloudellisin. Työssä tutkitaan myös teoriatasolla mahdollisia muita vartenotettavia vaihtoehtoja. Tavoite on myös laskea kaivantojen vakavuudet, jotta ne ovat myös turvallisia. Laskemiseen käytetään Novapointin Geocalc-ohjelmaa. Se mitä ei pystytä Geocalcilla suoranaisesti laskemaan, arvioidaan likimääräisillä laskutoimituksilla..

1.3 Rajaukset

Työn kannalta oleellista on selvittää kaivantojen kustannuksia eikä niinkään mitoitaa eri kaivantoja suoranaisesti. Tässä työssä käytetään kahta erilaista kaivantosyvyyttä, jotka on mitoitettu pelkästään Suurpellon olosuhteisiin. Tämän takia mitoitus eivät ole yleispäteviä, joten niitä ei voi soveltaa muihin olosuhteisiin.

Esimerkiksi CSM-menetelmää ei ole Suomessa käytetty, vaan se on puhtaasti teoreettinen tapaus. Tämän takia CSM-menetelmän tuloksetkin ovat vain suuntaa-antavia. Putkilinjat tulevat pehmeiköille, joten kaivantojen pohjanvahvistus huomioidaan kustannuslaskennassa.

2 Työturvallisuus

2.1 Lainsäädäntö

Seuraavaksi on esitelty millaisia määräyksiä maa- ja vesirakennustyömaille on laadittu. Lähteenä käytetään valtioneuvoston päätöstä rakennustyön turvallisuudesta, 23.6.1994/629.

”Ennen kaivuutyön aloittamista on otettava selvää maan laadusta ja varmistauduttava paikalla olevien kaapeleiden, johtojen ja putkistojen sijainnista.”

”Kun maan laadusta johtuvaa sortuman vaaraa tai maamassojen vakavuutta on vaikea arvioida, ei kaivuutyötä saa aloittaa, ellei tuentaa tai muuta suojaustoimenpidettä koskevaa suunnitelmaa ole laatinut siihen pätevä henkilö”. (Valtioneuvoston päätös... 9 Luku, 35 §)

”Kaivuutyö on tehtävä turvallisesti ottaen huomioon maan laatu, kaivannon syvyys, luiskan kaltevuus ja kuormitus sekä vedestä ja liikenteen tärinästä aiheutuvat vaaratekijät.”

”Milloin sortuma saattaa aiheuttaa tapaturman, on kaivannon seinämä kaivettava kaltevaksi, porrastettava tai tuettava.”

”Erityisiin toimenpiteisiin sortumisen aiheuttaman tapaturman vaaran välttämiseksi on tarvittaessa ryhdyttävä sateen, kuivumisen tai roudan sulamisen johdosta. Samoin on toimittava silloin, kun kaivetaan löysää maata tai 2,0 metriä syvempää, kapeaa kaivantoa tai kun kaivannon yhteydessä tai läheisyydessä suoritetaan tärinää aiheuttavaa työtä taikka kun kaivantoon vaikuttaa raskas ajoliikenne. Tehtäessä kaivuutyötä rakennuksen tai muun rakennelman alla tai vieressä on samoin erityisesti ryhdyttävä ennalta riittäviin tukitoimenpiteisiin sortumisen estämiseksi.” (Valtioneuvoston päätös... 9 Luku, 36 §)

”Ajoneuvot, maarakennuskoneet sekä nosto- ja muut laitteet on sijoitettava turvallisen etäisyyden päähän kaivannon reunasta huomioon ottaen maan laatu ja kaivannon syvyys. Liikenne on ohjattava riittävän kauaksi kaivannon reunasta sopivin ohjauspuomein ja estein.”

”Maarakennuskoneiden kuljettajille sekä muille työntekijöille on annettava erityistä opetusta ja ohjausta maarakennuskoneiden aiheuttamista vaaratekijöistä ja niiden torjuntatoimenpiteistä.” (Valtioneuvoston päätös... 9 Luku, 37 §)

Lakitekstien tulkinnasta on olemassa Multikustannus Oy:n vuonna 2007 julkaisema kirja ”Rakennustöiden turvallisuusmääräykset selityksineen 2007”. Kirjassa on luvussa 9 hyvin avattu edellä mainittujen lakitekstien sisältöjä sekä kerrottu kaivantojen luiskaamisesta ja tukemisesta kattavasti.

2.2 Kuolemantapaukset

Viimeisen kymmenen vuoden aikana Suomessa on kaivantojen sortumisen takia kolme ihmistä menettänyt henkensä. Viimeisin läheltä piti -tilanne tapahtui 27.2.2009 Salon Halikossa, missä vuonna 1985 syntynyt mies jäi savisen maan alle. Ihmeen kaupalla mies jäi henkiin, koska työ-kaverit ja Halikon VPK toimivat ripeästi. (Saveen hautautunut... 2009).

Seuraavaksi käsitellään nämä kuolemantapaukset yksi kerrallaan. Näistä kuolemantapauksista ja vanhemmista tapaturmista on olevassa kattavasti erilaista tietoa Tapaturmavakuutuslaitosten liiton TOT-raporteissa, joita on seuraavissa tapauksissa hyödynnetty.

2.2.1 Tapaus 1

Viimeisin kuolemaan johtanut onnettomuus tapahtui vuonna 2006. Tällöin kaukolämpöputken hitsaaja jäi sortuneiden maamassojen alle. Kyseessä oli monen asian summa, joka koitui 55-vuotiaan miehen kohtaloksi. Edellisenä yönä oli satanut runsaasti ja maa-aines oli häiriintynyt. Lisäksi vieressä kulki liikennöity tie, joka saattoi aiheuttaa tärinää herkkään maa-ainekseen. (TOT 17/06)

Työmies oli tehnyt aikaisemmin mittavirheen, jonka hän oli päättänyt korjata yksin ilmoittamatta kenellekään. Tältä kohtaa kaivantoa ei ollut luiskattu oikealla tavalla. Mies oli työskennellyt maakuusennessa tai polvillaan kaivannon sortuessa. Lisäksi kaivanto oli vain 1,5 metriä syvä, joten se ei herättänyt pelkoa työntekijässä. (TOT 17/06)

2.2.2 Tapaus 2

Myös vuonna 2006 23-vuotias maanrakennusmies sai surmansa kaivannon reunan pettäessä. Työmaalla rakennettiin vesi- ja viemäriputkilinjaa saviperäisessä maastossa. Jälleen kerran tapaturmaan vaikutti monta asiaa. (TOT 15/06)

Ensinnäkin kaivanto oli 2,5 m leveä ja 3 m syvä. Sovitusta kaivusuunnitelmasta oli poikettu, sillä kaivantoa oli auki 25 metriä. Tämä johtui siitä, että työntekijöiden tilaama murskekuorma oli myöhässä ja he olivat oma-aloitteisesti päättäneet jatkaa linjan kaivamista. (TOT 15/06)

Maaperä oli häiriintymisherkkää eikä kaivantoa ollut luiskattu tai tuettu. Tiivistystyössä oli käytetty 400-kiloista tärylätkeä suunnitelmien mukaisen 100-kilon sijaan. (TOT 15/06)

2.2.3 Tapaus 3

Vuonna 2004 pientaloalueella uusittiin jätevesilinjoja kaupungin vesilaitoksen toimesta. Työntekijät NN ja MM työskentelivät 3 m syvässä, 15 m pitkässä ja 2,5 m leveässä kaivannossa. 22-vuotias henkilö (NN) oli tapaturmahetkeä ennen asentanut rauditusverkkoa kaivannon pohjalle, kunnes yhtäkkiä kaivannon seinämä murtui. Hänet saatiin kuitenkin lapioitua maamassan alta pois, mutta todettiin myöhemmin kuolleeksi sairaalassa. (TOT 23/04)

Jälleen kerran työntekijä oli työskennellyt polvillaan ennen sortumista. Pohjarakennussuunnitelmassa oli ohjeistettu käyttämään tuentaelementtejä, mutta niitä ei ollut käytetty, vaan kaivanto oli toteutettu jyrkkäreunaisena kuten kuvioista 1 nähdään. Tuentaelementeistä lisää kappalessa 3.4. (TOT 23/04)



Kuvio 1: Kaivannon pystysuora seinä sortui maanrakennustyöntekijän päälle (Kuva 1, TOT 23/04)

2.3 Yhteenveto kaivantojen turvallisuudesta

Suunnittelussa kaivantojen turvallisuus huomioidaan käyttäen tavanomaisia ja hyväksi havaittuja laskentamenetelmiä, joilla saatavia vakavuuslukuja verrataan normien määrittämiin rajoihin. Jos kyseessä on tavanomainen kohde ilman mitään erikoisuuksia, kaivantojen tuentoihin ja kai-

vantojen luiskauksiin voi hyödyntää alan kirjallisuutta. Esimerkiksi työsuojeluhallinnon, RIL:n ja kaupunkien erilaiset putkikaivanto-ohjeet ovat hyviä tietolähteitä. Näissä ohjeissa esiintyvät mallit ovat niin sanottuja lievän riskin omaavia ratkaisuja.

Esimerkkien perusteella voidaan huomata, että kaivantojen tekemisessä tulee kiinnittää huomiota monenlaisiin asioihin, joita on seuraavaksi tuotu esille. Yksi huomioitava asia on kaivannon maksimipituus, koska sillä on vaikutusta kaivannon pysyvyyteen. Kappaleessa 5.3 on tuotu esille pituuden vaikutusta luiskatun kaivannon kokonaisvakavuuteen.

Kaivantotukien käyttämättä jättäminen on lainsäädännön perusteella kiellettyä, jos niitä on ohjattu käyttämään. Esimerkissä 3 oli opastettu käyttämään tuentaelementtejä, mutta näin ei ollut kuitenkaan tehty.

Muita huomioonotettavia asioita ovat esimerkiksi sateen vaikutus, roudan sulaminen, mahdollinen tärinä ja kaivannon reunalla oleva kuormitus. Esimerkissä 1 oli satanut juuri edellisenä yönä reilusti, mikä oli heikentänyt kaivannon stabiliteettia. Lain perusteella olisi pitänyt ruveta erityisiin toimenpiteisiin tällaisen tapahtuman johdosta. Erityisesti varovaisuutta tulee noudattaa tukirakenteiden poistamisen yhteydessä.

Työmaalla huomioitavia asioita voi olla niin paljon, ettei niitä välttämättä tule perusteellisesti tarkistettua. Tätä varten on olemassa asiakirjoja, joista voidaan helposti tarkistaa muistilistan tavoin erilaiset huomioitavat asiat. Esimerkkinä liitteessä 1 on esitetty yksi tällainen mallikappale. Tällaisen muistilistan läpi käyminen huolellisesti ainakin edesauttaa työmaanturvallisuutta. Listan toimivuutta voi arvioida esimerkiksi MVR-mittausten perusteella.

Kuitenkaan ei riitä, että työnjohto on tietoinen riskeistä ja vaaratekijöistä, vaan tieto on myös saatettava työntekijöiden tietoisuuteen. Ihmisen huolimattomuus ei saa aiheuttaa kaivannon rakentamisen yhteydessä vaaratilanteita, vaan yleisten ohjeiden antamia määräyksiä tulee noudattaa. Kun pelisäännöt on laadittu, ja sekä työnjohto että työntekijät ovat sitoutuneita yleisiin sääntöihin, lopputulos on hyvä. Tämä kuitenkin edellyttää turvallisuuden tärkeyden tuomista esille säännöllisesti, työntekijöiden turvallisuuskoulutusta sekä katkeamatonta viestiliikennettä työnjohdon ja -tekijöiden välillä.

Kesäkuussa on astumassa voimaan valtioneuvoston asetus rakennustöiden turvallisuudesta, jossa on merkittävä uudistus koskien kaivantoja. Kaivannot tulee ensisijaisesti tukea, jollei laskennallisesti voida osoittaa toisin. Tämä tulee vaikuttamaan positiivisesti työmaan turvallisuuteen ja siihen, että kaivannot mietitään etukäteen.

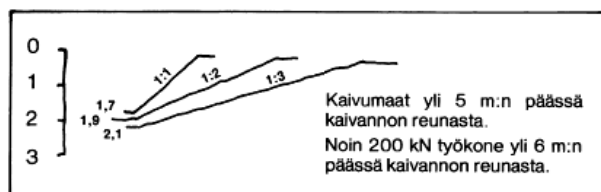
3 Erilaisia kaivantoja

3.1 Luiskattu kaivanto

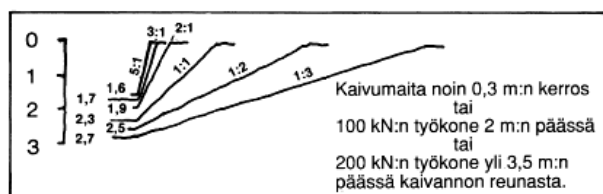
Tyypillinen tukematon kaivanto on luiskattu kaivanto. Tällöin kaivettaessa kaivannon reunat viisitetään ohjeiden esittämällä tavoilla, jotta saavutetaan tarpeeksi suuri turvallisuustaso. Kaivannon luiskaaminen todella loivaksi johtaa siihen, että kaivumaita syntyy paljon.

Yksi julkaisu kaivantojen tuennoista ja luiskaamisista on Työsuojeluhallinnon julkaisema opas Kapeat kaivannot vuonna 2006. Tässä oppaassa kerrotaan selkein kuvin, miten erilaisia kaivantoja voidaan tehdä ja missä olosuhteissa. Seuraava kuvio 2 esittää, miten kaivannot tulee luiskata maan leikkauslujuuden ja kaivannon syvyyden perusteella. Samainen taulukko löytyy myös esimerkiksi KT 02:sta tai RIL:n julkaisuista.

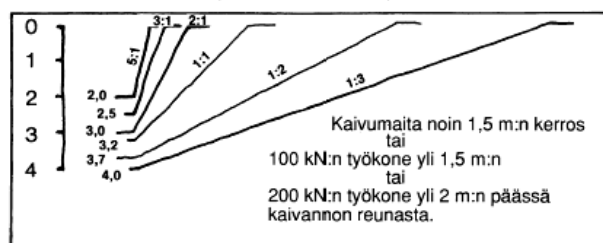
Hyvin pehmeä savi (leikkauslujuus 7–10 kN/m²)



Pehmeä savi (leikkauslujuus 10–25 kN/m²)



Sitkeä savi (leikkauslujuus 25–50 kN/m²)



Kuvio 2: Luiskien enimmäiskaltevuudet maan leikkauslujuuden ja syvyyden perusteella

Kapeat kaivannot ohje jakaa savimaat leikkauslujuuden mukaisesti kolmeen ryhmään, hyvin pehmeään saveen, pehmeään saveen ja sitkeään saveen. Kaivannot on mitoitettu käyttäen kokonaisvarmuutena 1,3. Ohjetta ei saa soveltaa häiriintymisherkkiin saviin. (Kapeat kaivannot 2006,7)¹

¹ Alkuperäinen lähde: RIL 181-1989 Rakennuskaivanto-ohje, Vammalan kirjapaino Oy

3.2 Naulaus

3.2.1 Menetelmän kuvaus

Kaivannon naulaus tarkoittaa sitä, että kaivantoa tai rinnettä vahvistetaan yleensä ohuilla teräs-tangoilla eli vahvikkeilla. Käyttökohteina voivat olla esimerkiksi kaivantojen tukiseinät tai isot melkein pystysuorat rinteet, jotka vaativat vakavuuden parantamista pysyäkseen stabiileina. Naulaus soveltuu sekä pysyviin että väliaikaisiin rakenteisiin. Yleensä naulaus on soveltuva kitkamaalajien kanssa, mutta tässä työssä tutkitaan mahdollisuutta käyttää sitä myös savisissa olosuhteissa. Ulkomailla menetelmää on sovellettu monenlaisiin kohteisiin. Kuviossa 3 on eräs esimerkki ulkomailta. (RIL 166 – Pohjarakenteet, 1986, 344-346)



Kuvio 3: Naulauksella toteutettu penger (Soil-nailing... 2005, figure 1.3)

3.2.2 Naulauksen rakentaminen

Yksi työtapa on suorittaa alkukaivu noin 1,5 m, että pystytään asentamaan ensimmäinen vahvike. Työkoneella tehdään tankoa varten luiskaan tai rinteeseen reikä, joka on suunnilleen tulevan tangon pituinen. Kun kone on päässyt reiän pohjalle, se vetää hitaasti poran takaisin samalla päästäen injektointiainetta reikään. Injektointiaineen käyttäminen on aina tapauskohtaista ja on riippuvainen ankkuroitavan voiman suuruudesta ja maaperän laadusta. Tämän jälkeen reikään asennetaan vahvike eli esim. terästanko. Seuraavaksi vahvikkeen ja rinteiden alusta ruisku-betonoidaan ja vahvikkeeseen asennetaan teräslevy. Kuviossa 4 on vahvikkeen asentamisesta esimerkki.



Kuvio 4: Erilaisia porauskalustoja (Application of Soil Nailing...2008)

Kun vahvikkeita on asennettu luiskaan, niiden päälle kiinnitetään teräsverkko. Verkotettu alue ruiskubetonoidaan, jolloin saadaan tasainen pinta. Verkon sijaan voidaan vahvikkeisiin asentaa myös esimerkiksi betonielementtejä. Mahdollista on myös rakentaa naulauksen eteen erillinen julkisivu. (RIL 166 – Pohjarakenteet, 1986, 344-346)

Vahvikkeiden pitkäaikainen korroosionkestävyys on tärkeä ominaisuus, jotta ne kestäisivät mahdollisimman pitkään. Käytettäessä naulausta pitkäaikaisena rakenteena tuleekin maaperän olosuhteet tutkia huolella mahdollisten korroosiolle altistavien asioiden vuoksi.

3.2.3 Toiminnallinen periaate

Miten terästangot sitten toimivat rakenteena? Yleisissä ohjeissa kerrotaan, että teräkset tulisi asentaa kohtisuoraan liukupintaa vasten jotta ne toimisivat tehokkaasti. Tällöin vahvikkeisiin kohdistuu leikkausvoimaa, joka vahvikkeen tulee kestää. Lisäksi saven tukipinnan kapasiteetin tulee olla riittävä. (RIL 166 Pohjarakenteet, 1986, 345)

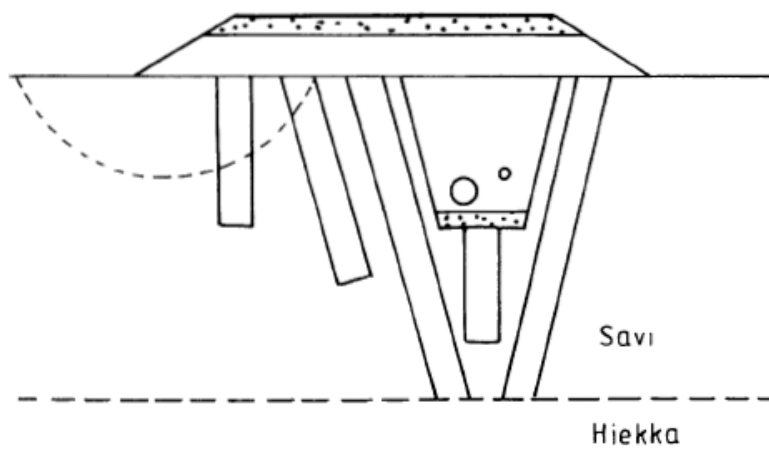
Kaivannon aktiivipuolella voi syntyä siirtymiä pitkittäis- ja poikittaissuunnassa. Tällöin vahvikkeeseen syntyy vetorasitusta. Maanpaine pyrkii vetämään tankoa ulos luiskasta ja samalla saven ja vahvikkeen välillä on kitkavoimaa. Joko liian suuri kitkavoima savessa tai vetorasitus vahvikkeessa tulee määrääväksi tekijäksi. Vahvikkeen niin sanottu ”pull-out”-kapasiteettia voidaan lisätä käyttämällä injektointiainetta asennuksessa tai erimallisia vahvikkeita. Näin passiivipuolella olevan vahvikkeen ympärysala kasvaa, toisin sanoen maa-ainekseksen ja vahvikkeen välinen kitkavoima jakautuu suuremmalle alalle eli vetorasitus pienenee. (Nordic Guideline...2005)

3.3 CSM (Cutter Soil Mixing)

3.3.1 Yleistä saven stabiloinnista

Savimailla kaivantoja voidaan vahvistaa stabiloimalla. Tällöin stabiloituja pilareita on tehty siten, että ne tulevat kaivannon pohjan reunoja pitkin aivan maanpintaan asti yleisesti 10 asteen kulmassa. Kuvio 5 valaisee tilannetta. Jotta voitaisiin torjua vaarallisin liukupinta, pilareita tulisi tehdä myös vinoon kaivannosta poispäin. (RIL 166 – Pohjarakenteet, 1986, 344-346)

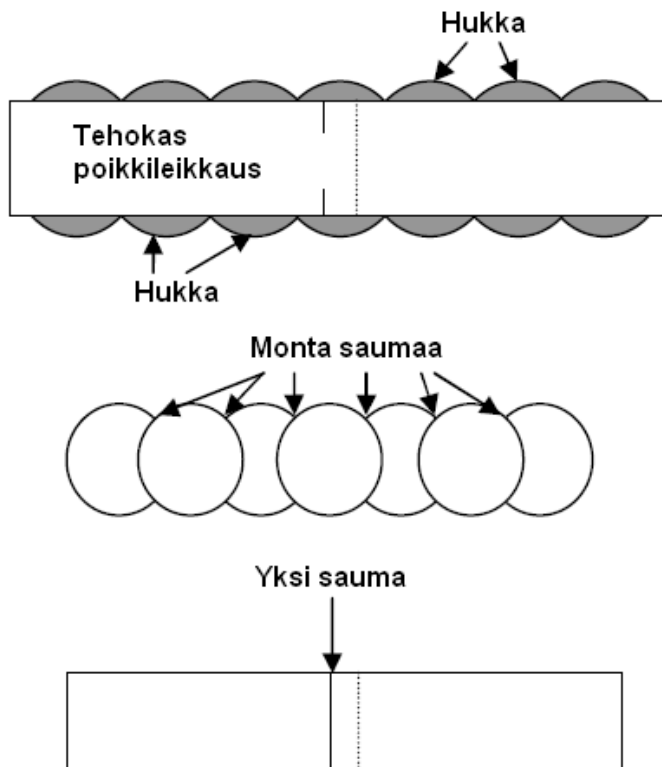
Ongelma stabiloinnin käytössä on sen laadun varmentaminen, toisin sanoen kaikki stabiloidut pilarit eivät saavuta samanlaisia lujuusarvoja. Pilareiden käyttäminen edellyttää suuria laadunvarmistustoimia. Stabiliateettilaskentavaiheessa on siksi vaikea arvioida, mikä pilari kovettuu ja mikä ei. Tällöin voi syntyä tilanne, että laskenta antaisi liukupinta-analyyysissä huomattavasti paremman vakavuusluvun, kuin mikä todellisuudessa vallitsee. Tämä on turvallisuusriski.



Kuvio 5: Kalkkipilareilla stabiloitu kaivanto (RIL 166 – Pohjarakenteet, 1986, 474, kuva 14)

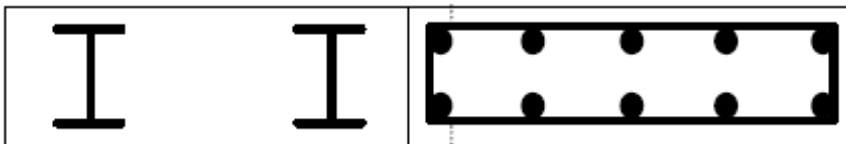
3.3.2 CSM-menetelmän etuudet

CSM-menetelmä perustuu sementin ja bentoniitin käyttöön lujittavana aineena tai pelkästään sementin käyttöön. Tämä tarkoittaa sitä, että lujittumisaika on yhtä pitkä kuin stabiloiduilla pilareilla, yleensä noin 4 viikkoa. Menetelmän suurin ero pilaristabilointiin verrattuna on, että pyöreän pilarin sijaan syntyy laatikko. Laatikkomainen pilari on kaivannon seinämärakenteena parempi vaihtoehto kuin pyöreä pilari. Pyöreässä pilarissa syntyy paljon enemmän hukkaa pilareiden useamman limityksen takia. Laatikkomaisella pilarilla päästään vähempiin limityksiin ja tätä kautta pienempään hukan syntymiseen, kuvio 6.



Kuvio 6: Saumojen ja hukan määrä pyöreillä pilareilla ja laatikkomaisilla paneeleilla

Lisäksi laatikkomaisella pilarilla eli paneelilla voidaan samalla kertaa vahvistaa putkikaivannon pohja ja reunat. Vahvistettuihin reunoihin voidaan upottaa lisäterästä, kun seinältä vaaditaan taivutuskestävyyttä. Paneeleita voidaan terästää esimerkiksi kuvion 7 mukaisesti. Seinämään on mahdollista tehdä myös ylimääräisiä paneeleita kaivannon ulkopuolelle, jolloin seinämälle saadaan suurempi taivutusvastus.



Kuvio 7: Esimerkki paneelin terästyksestä

Kuvion 7 vasemman puoleinen I-palkkiterästäys on paljon todennäköisempi ja taloudellisempi vaihtoehto kuin oikeanpuoleinen. Yksittäisten tankojen saati sitten kokonaisen lisäterästyselementin asentaminen maaperään vahvikkeeksi on työmaaoloissa todella vaikeata. I-profiilin asentaminen on helpompaa ja varmuus, että teräs on oikeassa kohdassa poikkileikkausta, on parempi.

3.3.3 CSM-menetelmän työvaiheet

Laatikkomaisista pilareista ei ole Suomessa kokemuksia, mutta ulkomailla kylläkin. Siksi tässä työssä hyödynnetään ulkomailta saatua tietoa menekeistä ja menetelmäajoista. Seuraavaksi käsitellään Bauer Maschinen kalustoa ja juuri sellaista, joka soveltuisi tämän opinnäytetyön esimerkkikohteeseen. Seuraavat kuvat 8, 9, 10, 11 ja 12 ovat Bauer Maschinen Cutter Soil Mix Presentations CD-levyltä.

CSM-kone muistuttaa ulkonäöllisesti stabilointikonetta, mutta sen keilin (piling rig) alapää on erilainen. Se koostuu kahdesta yhtä suuresta pyörivästä murskaintelasta, joiden välissä on si-deaineita tai -aineita syöttävä suutin.



Kuvio 8: Eräs Bauerin CSM-kone

Sekoitinpäitä (cutting/mixing head) on eri tehoisia ja erilaisia. Näiden valintaan vaikuttavat erityisesti saven ominaisuudet. Esimerkiksi BCM 5 -mallisen vääntömomentti on 0 – 57 kNm. Isomalla mallilla (BCM 10) vääntömomentti voi olla 100 kNm eli noin kaksinkertainen.



Kuvio 9: Erilaisia sekoitinpäitä riippuen maan ominaisuuksista esim. lujudesta

Sekoitinpään valinnalla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka leveätä ja pitkää paneelia tehdään. BCM 5 -mallilla saadaan tehtyä 2,4 metriä leveää ja 0,5–1,0 metriä paksua paneelia. Puolestaan suuremmalla BCM 10:llä paneelin leveys saadaan kasvatettua 2,8 metriin ja paksuus 0,64 – 1,2 metriin. Lisäksi sekoitinpään malli vaikuttaa pyörimisnopeuteen.

Kuviossa 8 esiintyvässä mallissa ei ole omia säiliötä sideaineita varten, vaan työmaalle tulisi perustaa sekoitusjärjestelmä (mixing plant). Kuviossa 10 on yksi esimerkki siitä, miten sekoitusjärjestelmän voisi rakentaa.



Kuvio 10: Sekoitusjärjestelmä (mixing plant)

Kuviossa 10 on seuraavia varusteita 1) Bentoniitti- ja sementtisäiliöt, 2) syöttöruuvi, 3) automaattinen sekoitin ja 4) syöttöpumppu. Työvaiheet on esitelty kuviossa 11.



Kuvio 11: CSM-menetelmän työvaiheet

Ensiksi sekoitinpäättä aletaan laskea kohti muokattavaa maanpintaa telojen pyöriessä ja suuttimen työntäessä paineellisesti bentoniittisementtisekoitusta. Telat pyörivät siten, että kuvion 11 kohdan 1 oikeanpuolinen rulla pyörii vastapäivään ja vasemmanpuolinen myötäpäivään.

Näin edetään aina tavoitellulle pohjatasolle asti. Maanpinnalla tulee sekoituksen seurauksena takaisinvirtausta. Tavoitetasolla jatketaan saven sekoittamista, mutta nyt rullat vaihtavat pyörimissuuntaansa ja niitä vedetään takaisin kohti maanpintaa. Koneen vieressä täytyy olla veden-saantimahdollisuus, jotta ylösnousevaa likaista keiliä voidaan puhdistaa.

Japanista saadun esimerkin perusteella yhden 20 metriä syvän paneelin tekemiseen kului aikaa noin tunti. Työvaiheen sisäiset ajat jakautuvat siten, että noin 2/3 ajasta menee keilin laskemiseen ja 1/3 takaisin vetämiseen. Kuviossa 12 on CSM-kone työmaalla Belgiassa.



Kuvio 12: CSM-kone työmaalla Belgiassa 2004

3.4 Tuentaelementti

Tuentaelementti on kahdesta samankokoisesta levyprofiilista ja poikkitangoista koostuva elementti, joka voidaan laskea kaivantoon. Tällöin laatikon (kuvio 13) sisällä voidaan työskennellä turvallisesti. Laatikon keveyden ansiosta se voidaan nostaa kaivinkoneella kaivantoon.

Laatikoita on erikokoisia ja usein niiden leveyttä voidaan työmaalla muuttaa tarpeen mukaan. Korkeudet vaihtelevat 2,4 m – 3,0 m ja leveydet 0,85 m – 4,8 m. Elementin pituus on tavanomaisesti 3,0 – 4,0 m.

Tuentaelementin käyttö voi tulla kyseeseen, kun halutaan säästää kaivumaita, mutta yleensä syy on kuitenkin työturvallisuuden parantaminen. Kaivumaiden säästäminen edellyttää sitä, että tuentaelementti upotetaan alkukaivun jälkeen maahan, ja loppukaivu tehdään elementin välistä suhteellisen pienellä kaivinkoneella. Jos elementtiä ei saada upotettua maahan, joudutaan kaivamaan paljon ennen elementin turvallista käyttöä.



Kuvio 13: Tuentaelementti valmiina käytettäväksi

Kaivannon syvyyden ollessa suuri voidaan tuentaelementtejä laittaa kaksi päällekkäin, mutta se ei ole suositeltavaa, koska tuentaelementit eivät estä pohjannousua.

Tuentaelementtejä on olemassa myös liukukiskoisina, eli niiden väliin pujotetaan tukilevyjä. Tällöin levyt ovat normaalia kevyempiä ja lisäksi ovat vesitiiviimpiä. Tällaisen käyttäminen voisi tulla kysymykseen esimerkiksi silloin, kun kyseessä on matala ja pitkä kaivanto.

3.5 Teräsponttiseinä

Yleisin kaivannon tukemistapa on teräsponttiseinä. Sitä käytetään pysyviin ja väliaikaisiin rakenteisiin. Putkikaivannoissa savimailla käytetään yleensä kevyitä ja lievästi profiloituja pontteja. Yleisin teräsponttityyppi on Larssen-pontti. Etuja teräsponttiseinän käytössä on sen vesitiiviyys ja tehokas pohjannousun esto. Joskus teräsponttiseinän käytön syynä voivat olla esimerkiksi vie-reiset rakennelmat työmaan lähellä. Lisäksi pontteja voidaan käyttää uudestaan, jos ne vain säilyvät kunnossa edellisestä kerrasta.

Mitä aikaisemmin teräsponttiprofiilit saadaan lyötyä maahan, sitä paremmin ne estävät pohjannousun. Tämä johtuu siitä, että pontin ja saven välille syntyy adheesiovoimia, jotka parantavat pontin stabiiliteettia. Asiaa selventävät kappaleessa 5.5 esiintyvät kaavat 1,2,3 ja 4. (RIL 194-1992 Putkikaivanto-ohje, 1992, 38-41)

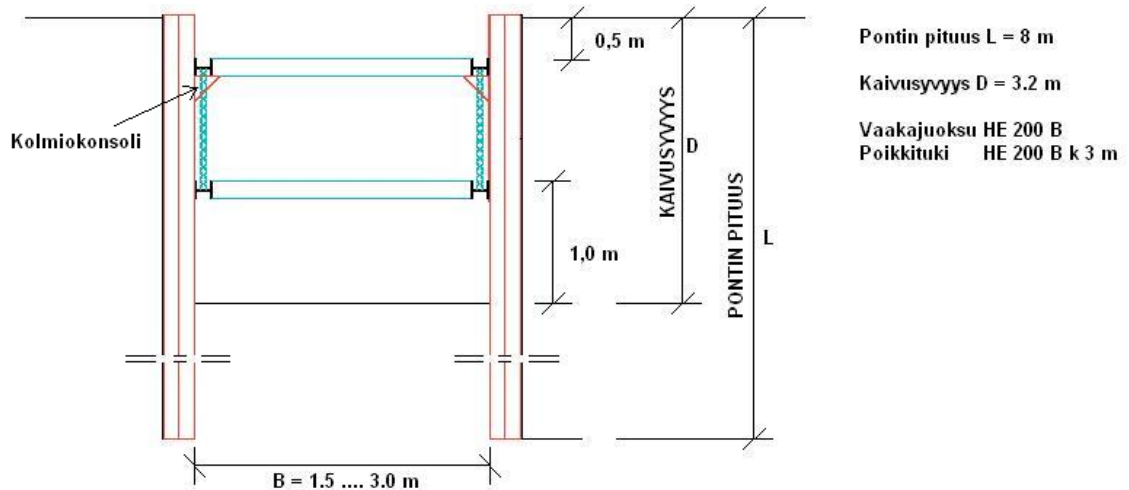
Esimerkki yhdeltä tasolta tuetusta kaivannosta löytyy kuviosta 14 tai KT 02:sta s.203. Tällöin kaivannon maksimisyvyys on 2,5 m. Kaivanto voidaan tukea myös usealta tasolta, jolloin päästään vieläkin syvemmälle, kuvio 15. Toisen tason tuenta hidastaa putkilinjan tekemistä huomattavasti.

Espoon kaupungin geotekniikan yksikkö on julkaissut Putkikaivantojen tuentaohjeen 9704/GT, jossa on monenlaisia esimerkkejä tuetuista kaivannoista. Savimaan suljetun leikkauslujuuden ja kaivannon syvyyden perusteella voi kyseisestä ohjeesta katsoa, miten kaivanto tuetaan ja miten pitkiä pontteja tulee käyttää.



Kuvio 14: Teräsponttiseinä yhden tason tuennalla

Teräsponttiseinän tekeminen alkaa siitä, että teräspalkeista hitsataan kehikkoja. Kehikoista voidaan tehdä esimerkiksi 6 tai 12 m pitkiä. Tämän jälkeen mitataan ja kehikko tai kehikot sijoitetaan oikeaan paikkaan. Seuraavaksi pontin lyöntikalusto asentaa pontit käyttäen paikallistamiseen kehikon reunoja. Nykyisin putkikaivannoissa savimaalla pontinlyöntikalustona käytetään täryvasaralla varustettua kaivinkonetta.



Kuvio 15: Teräsponttiseinä tuettuna kahdelta tasolta saven leikkauslujuuden ollessa 10 kN/m^2 (Espoon putkikaivantojen...1997)

Ponttien lyönnin jälkeen suoritetaan alkukaivu, joka on noin 1 – 1,5 metriä pontin yläreunasta. Tämän jälkeen asennetaan kehikko hitsaamalla asennettujen kolmiokonsolien päälle ja tarkistetaan, että pontit tukeutuvat juoksuihin kunnolla. Seuraavaksi jatketaan kaivamista ponttien välissä ja tehdään putkiasennukset. Kun täytöt on tehty kehikon alapintaan, kehikko voidaan ottaa pois ja jatkaa täyttämistä. Tämän jälkeen pontit voidaan nostaa pois varovasti.

Jos kaivanto tuetaan kahdelta tasolta, on hyvä laittaa kehikon alle toinen kehikko ja sitoa ne kiinni teräsketjulla, kuten kuviossa 15. Kun ylempi kehikko tukeutuu kolmiokonsoleihin, alempi jää roikkumaan ylemmästä kehikosta ketjujen varaan. Näin kehikot tulee asennettua oikealle tasolle helposti.

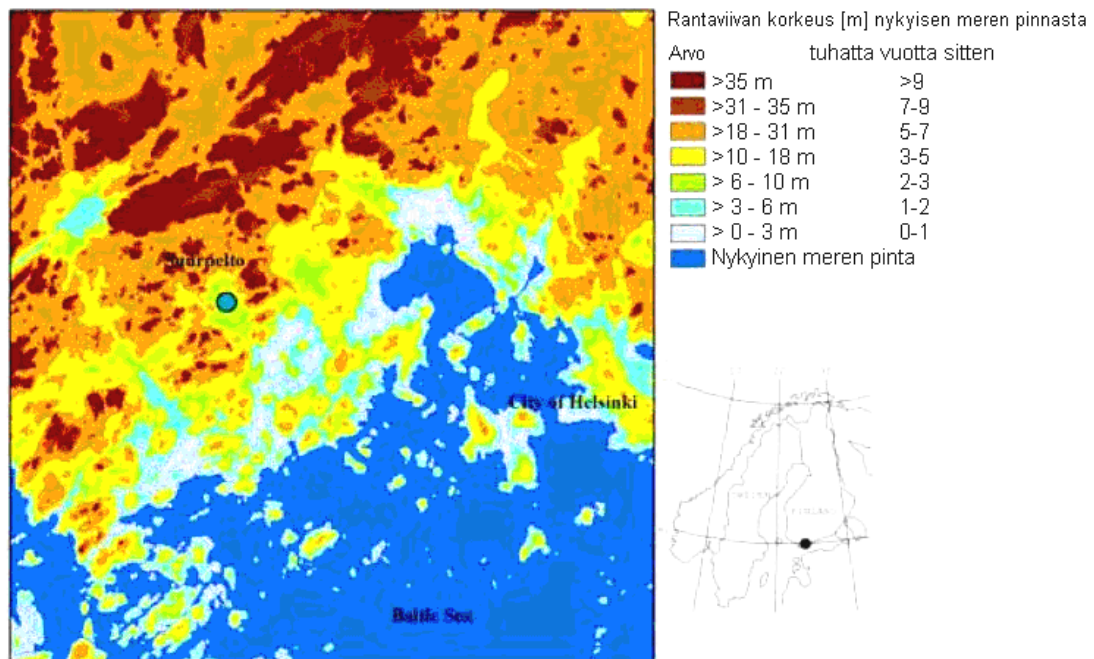
4 Kohteena Suurpelto

4.1 Suurpellostä yleisesti

Tässä työssä käytetään kustannuslaskennan ja vakavuuslaskennan pohjaolosuhteina Suurpellon aluetta. Suurpelto on alue Espoossa Henttaan kaupunginosassa, joka sijaitsee kehä 2 -tien varrella. Naapureina ovat Mankkaa ja Tapiola. Alueelle on tarkoitus rakentaa seuraavien 15 vuoden aikana runsaasti rakennuksia. Eri tahoilla on ollut intressiä aluetta kohtaan, ja kuluvana vuonna olisi tarkoitus rakentaa jo ensimmäiset kerrostalot. Aluetta mainostetaan uniikkina puisto-kaupunkina ja lisää tietoa alueesta löytyy osoitteesta <http://www.suurpelto.fi>.

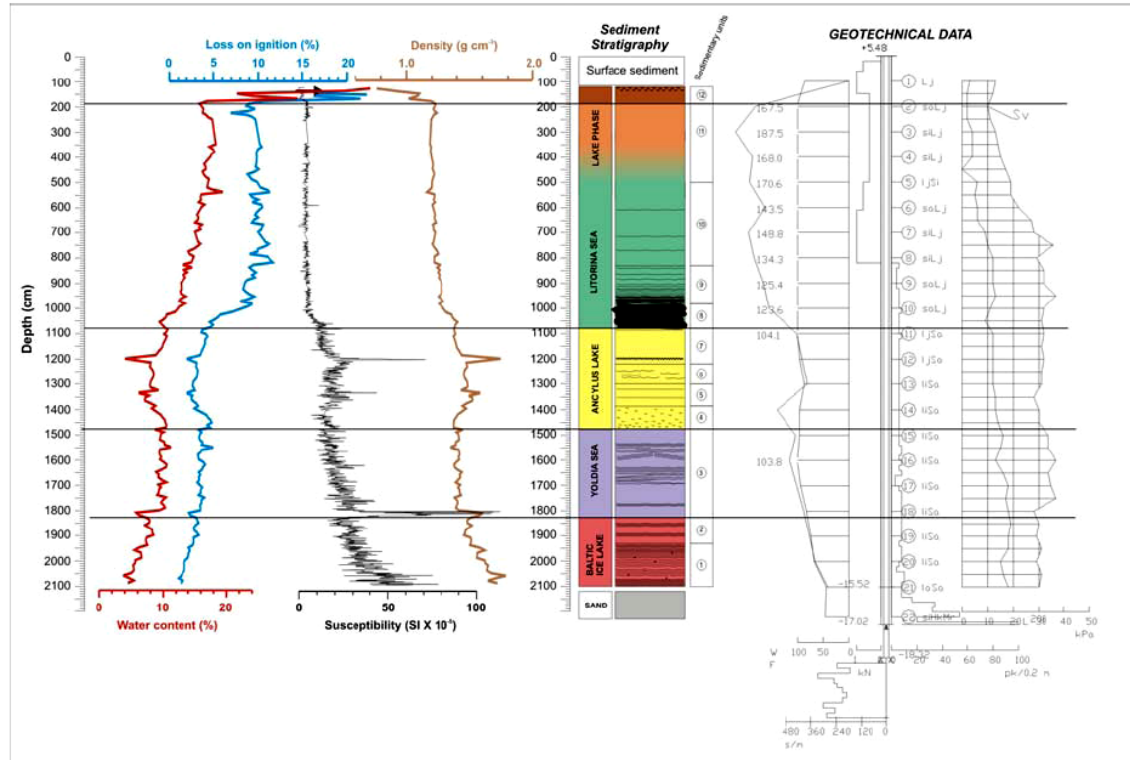
4.2 Alueella tehdyt pohjatutkimukset

Espoon kaupungin toimesta alueella on suoritettu erilaisia maaperätutkimuksia. Muun muassa kairauksia, yllilentoja, maaperän resissiivisyystutkimuksia ja jne. Tutkimusalue on pinta-alaltaan noin 2 x 3 km:n alue, joka on noin 5 – 10 m meren pinnan yläpuolella. Postglasiaalinen maanous on noin 2 mm vuodessa. Kuvioista 16 selviää, miten Itämeren vedenpinta on muuttunut ja miten Suurpelto on sijainnut merenpintaan nähden tuhansien vuosien aikana. (Combining geophysical...2006)



Kuvio 16: Suurpellon sijainti ja rantaviivan siirtymä viimeisen 9000 vuoden aikana (Combining geophysical...2006)

Kuviosta 17 voi nähdä, miten Itämeren eri vaiheet näkyvät kairausdiagrammista ja miten savien eri ominaisuuden eroavat toisistaan. Surface Sediment eli maakerrostumat on jaettu historiallisten merien ja järvien perusteella maakerrokseen kuviossa 17.



Kuvio 17: Pohjatutkimustietoa Suurpellon alueelta (Combining Geophysical... 2006)

Litoriinameren ja Ancylusjärven kerrokset ovat kerrallista savea eli lustosavea. Nämä kerrokset ovat syntyneet hienoista aineksista mannerjäätikön eteen sen sulaessa. Yoldiameren ja Baltian jäärven kerrokset ovat puolestaan postglasiaalista savea (Jääskeläinen, Rantamäki & Tamminrinne 1999, 41-43).

Suurpellon alueella maakerrokset yleisesti koostuvat 20 metrisestä savikerroksesta, jonka alapuolella on ennen kallion pintaa silttiä, hiekkaa tai moreenia.

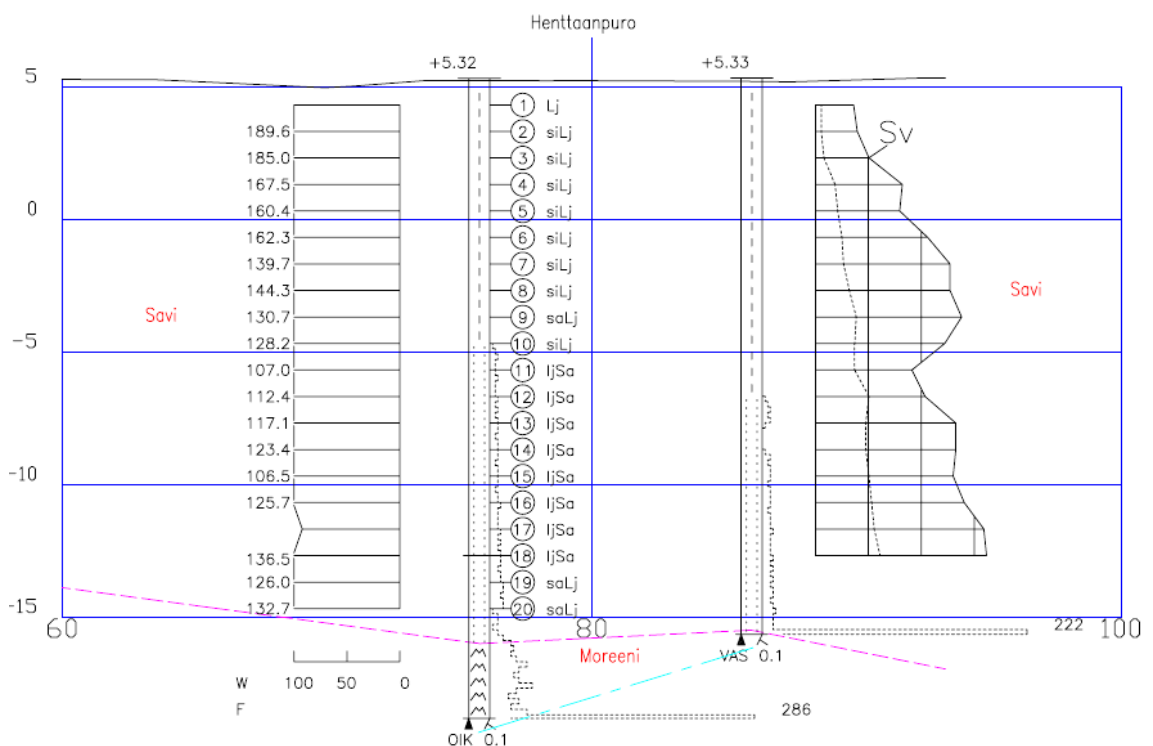
Leikkauslujuudessa ei näy suurta vaihtelua 7 – 21 metrin syvyydellä. Maa-aines on luokiteltu pääosin liejuiseksi saveksi. Muutama kerros näyttäisi olevan savista liejua. Tämän jälkeen maanpintaa lähestyttäessä leikkauslujuus pienenee noin kolmannekseen.

Tiheydessä ei havaita mitään erityisen poikkeavaa. Se kasvaa syvyyden funktiona noin 1,0 – 1,6 g/cm³. Sen sijaan humuspitoisuus kasvaa suuremmaksi tultaessa kohti maanpintaa. Humuspitoiset kerrokset ovat myös vesipitoisempia. Nämä tyypilliset ominaisuudet liittyvät siihen, miten postglasiaaliset savikerrostumat ovat muodostuneet (Jääskeläinen ym. 1999, 43).

4.3 Pohjaolosuhteet työkohteessa

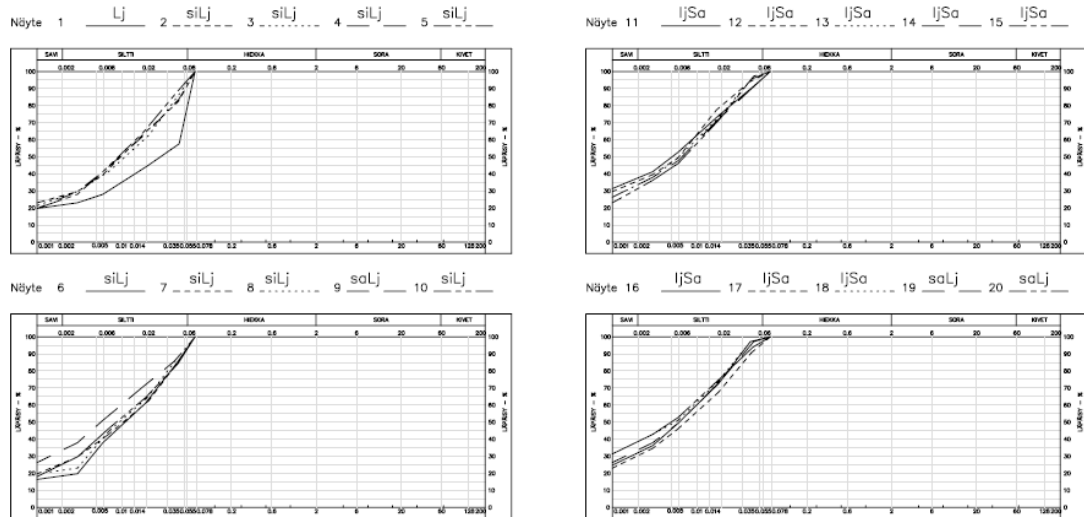
Vakavuuslaskennassa käytetään Suurpellon Liilhemtinpuiston pohjaolosuhteita. Ramboll on tehnyt pohjatutkimuksia alueella 6/2007. Kairaukset ovat syvimmillään noin 25 metriä maanpinnasta. Pohjavedenpinta on kuivakuorikerroksen alapuolella.

Kairaukset ovat päättyneet kiveen, lohkareseen tai kallioon. Ne on suoritettu käyttäen paino- ja siipikairausta, kuviossa 18 nämä kairausdiagrammit. Lisäksi metrin välein on otettu näytteitä, joista on laadittu rakeisuuskäyrät kuviossa 19.



Kuvio 18: Liilhemtinpuiston kairausdiagrammit (Ramboll pohjatutkimukset...2007)

Maanpinnasta 5 metriä alaspäin olevan saven leikkauslujuus näyttäisi olevan ~7-15 Kpa. Syvemmällä leikkauslujuus kasvaa samankaltaisesti kuin Suurpellon yleistutkimuksessa. Vesipitoisuudet ovat myös samanlaisia suurusluokaltaan.



Kuvio 19: Näytteiden perusteella laaditut rakeisuuskäyrät (Ramboll pohjatutkimukset... 2007)

Maalajit ovat pääosin siltistä liejua ja liejuista savea. Pohjakerroksissa ennen moreenia on savista liejua.

5 Laskentamalli ja vakavuuslaskenta

5.1 Lähtökohdat ja perusteet

Skanska Infran kanssa on sovittu, että tässä työssä tutkitaan 2 ja 3,5 metriä syviä kaivantoja. Kaivannon leveydeksi on sovittu 2,5 metriä. Kaivannon pituutena käytetään 40 metriä, koska eroavaisuuksia ei synny muilla pituuksilla. Syynä on se, että kustannuslaskenta suoritetaan kuvitteellisen urakan osalle, jolloin mobilisaatiokustannuksia ei synny.

Kaivantojen suunnitteleminen on jaettu esimerkiksi RIL 194-1992 Putkikaivanto-ohjeen sivun 13 taulukon 1 perusteella kolmeen erilaiseen työluokituksiin: helppoihin, vaativiin ja hyvin vaativiin työkohteeseen. Luokitus riippuu muun muassa kaivannon syvyydestä, maalajista, pohjavedenpinnan korkeudesta ja mahdollisesti lähellä sijaitsevista rakennuksista. Näyttäisi siltä, että 2,0 metriä syvä kaivanto olisi vaativa tai jopa hyvin vaativa kaivantokohde. Taas puolestaan 3,5 metriä syvä kaivanto on poikkeuksetta hyvin vaativa kaivantokohde.

Kaivantojen tuentamalleja on esitetty niin KT02:ssa kuin Espoon Putkikaivantojen tuentaohjeessa. Nämä mallit ovat ns. varman päälle ja perustapauksille mitoitettuja. Ne eivät ota huomioon alueella olevia erityisolosuhteita jotka pitää miettiä aina tapauskohtaisesti.

Kaivannon vakavuuteen vaikuttavat muutkin asiat. Tyypillinen jo mitoituksessakin huomioon otettava asia on maksimikaivupituus. Esimerkiksi 2.1.2 TOT-raportin esimerkissä kaivanto sortui mitä todennäköisimmin juuri sen takia, että sitä pidettiin enemmän auki kerralla kuin oli sovittu. Kaivupituuden vaikutuksista on enemmän kappaleessa 5.3.

Kaivannon lähellä olevat maanrakennuskoneet ja maa-ainekset, jotka aiheuttavat lisäkuormitusta, otetaan huomioon jo mitoituksessa ja niistä annetaan ohjeistus työmaalle. Lähistöllä olevat paalutustyöt, louhinnat ja erilaiset tärinää aiheuttavat työt ovat asioita, jotka liittyvät olennaisesti kaivannon stabiliteettiin. Vuodenajalla on myös merkitystä. Sateiset ajat tai roudan sulamisaika luovat erityisolosuhteita, jotka tulee hallita.

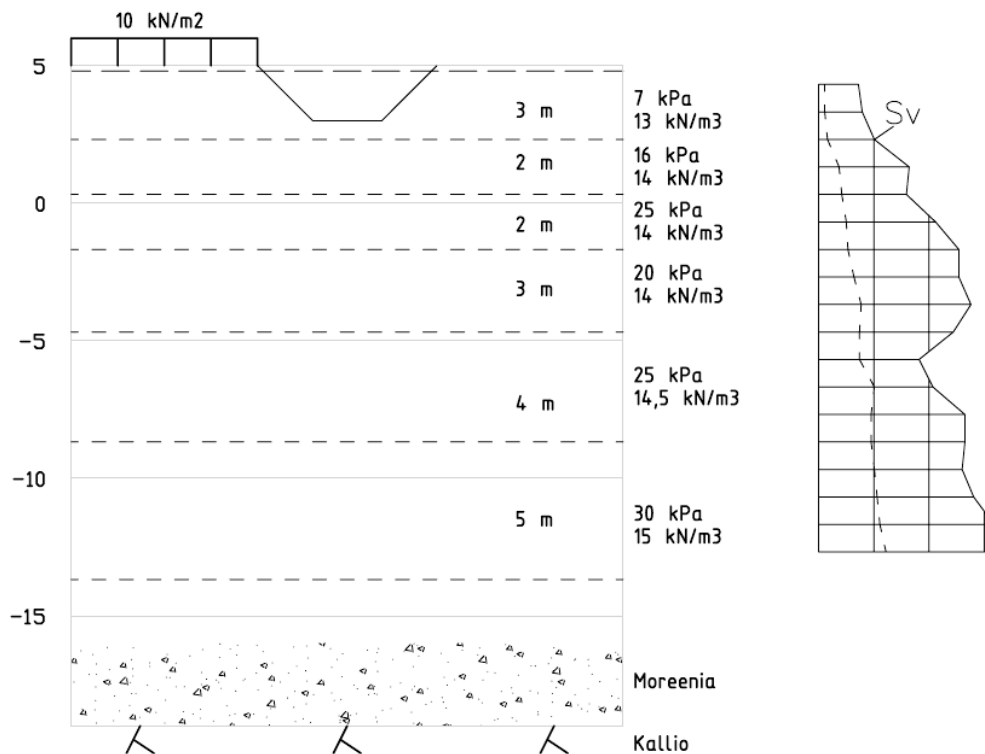
Vakavuuslaskenta perustuu siihen, että annettujen normien ja lakien perusteella vakavuuden tulee saavuttaa tietynlainen varmuusluku. Tämän varmuusluku riippuu laskettavasta kohteesta. Suomen rakentamismääräyskokoelman B3 (2004) Pohjarakenteet, määräykset ja ohjeet taulukosta 4.1 nämä vakavuusluvut esimerkiksi löytyvät. Kaivannot mitoitetaan pääasiassa rakennusaikaisesti liukusortumaa ja pohjannousua vastaan kokonaisvarmuusmenetelmänä. Tällöin varmuusluku on 1,5. Jos sortuman vaikutusalueella olisi muita rakennuksia, varmuusluku tulisi olla tällöin 1,8, mutta tässä tapauksessa niitä ei ole.

Murtorajatilassa mitoitettaessa puolestaan käytetään koheesion osavarmuuslukuna 1,3 työnäykäisissä rakenteissa ja pysyvissä rakenteissa osavarmuusluku on 1,5. Tällöin kokonaisvarmuuden tulisi olla 1,0 tai tätä suurempi.

Luiskattujen kaivantojen ja ponttiseiniä laskenta suoritetaan käyttäen Nova Pointin Geocalc-ohjelmistoa versiota 2.0.1. Luiskattua kaivantoa tutkittiin 10, 20 ja äärettömän pitkänä kaivantona. Laskentamenetelmänä käytetään alalla yleisesti käytettyä Bishopin liukupintamenetelmää. Tuentaelementin käyttöä voidaan arvioida jo aikaisemmin mainitun Espoon putkikaivantojen tuentaohjeen perusteella. CSM-menetelmän vakavuus arvioidaan likimääräisesti kuten myös naulauksen.

5.2 Laskentamalli

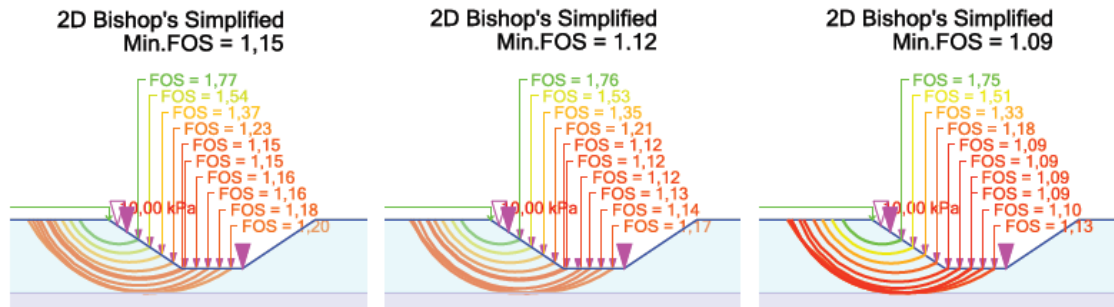
Pohjatutkimuksen perustella on laadittu kohteesta geotekninen laskentamalli. Laskentamallissa kohde jaetaan syvyysuunnassa lohkoihin. Lohkoille on määritetty leikkauslujuudet ja tilavuuspainot. Pohjaveden pinta on maanpinnan tasolla. Saven ollessa hyvin vesipitoista voidaan tilavuuspainoa arvioida Tiehallinnon teknisten ohjeiden perusteella. Teiden pohjarakenteiden perusteet sivulla 73 kuvassa 10.1 on esitetty taulukko, josta voi tilavuuspainoja arvioida. Näiden ohjeiden avulla on laadittu kuvio 20, jota käytetään laskentamallina. Mahdolliset työkoneet ja maansiirtokalusto otetaan huomioon laittamalla 10 kN/m^2 kuorma kaivannon reunalle.



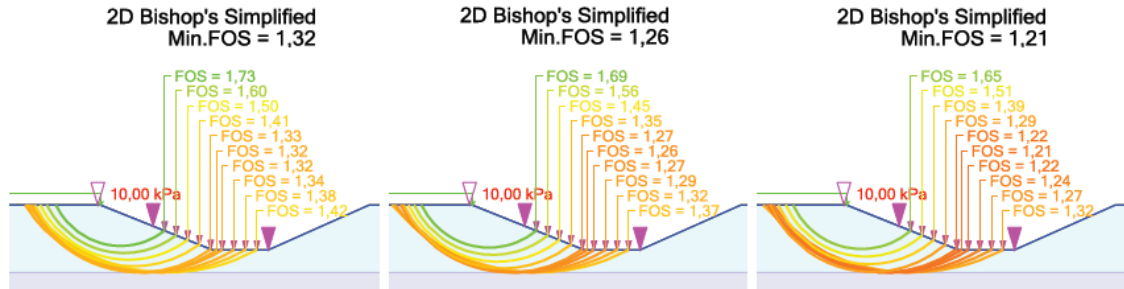
Kuvio 20: Laadittu laskentamalli esimerkiksi luiskatulle kaivannolle

5.3 Luiskatun kaivannon stabiliteettilaskelmat

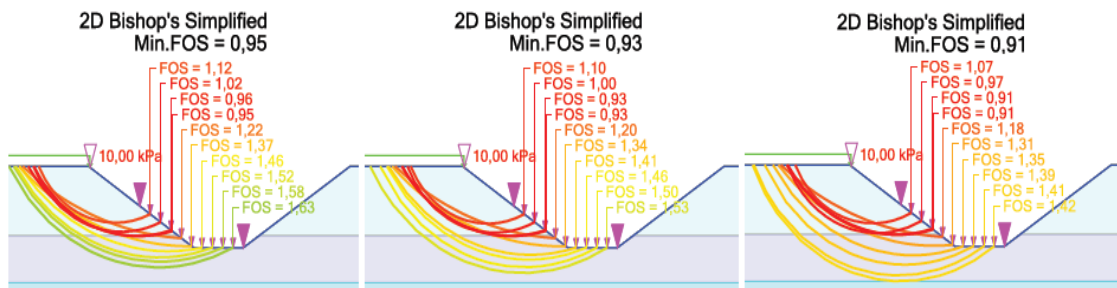
Geocalcilla laskettiin luiskatuille kaivannoille stabiliteetit käyttäen erilaisia pituuksia ja kahta kaltevuutta 1:1,5 ja 1:2,5. Seuraavaksi on esitetty kuvioissa 21 – 26 yhteenvedot laskelmista eli kokonaisvarmuusluvut (FOS). Esimerkiksi 2,0 m syvällä kaivannolla kokonaisvarmuusluku on 1,15, kun kaivannon pituus on 10 metriä ja kaltevuus 1:1,5. Laskelmat ovat liitteessä 2.



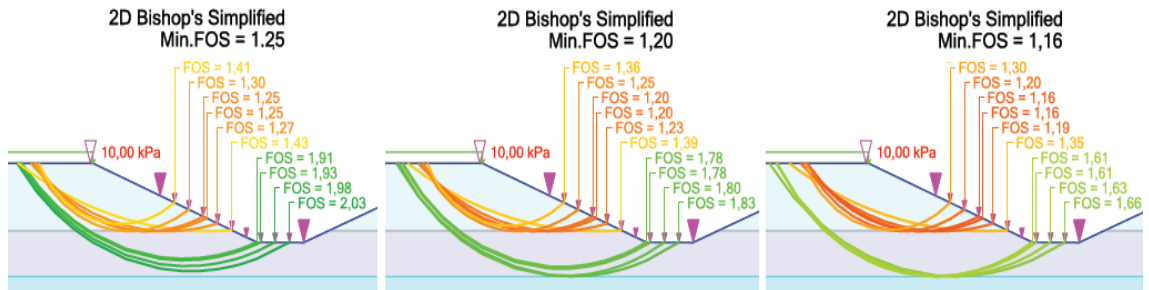
Kuvio 21: Kaivantojen stabiliteetit 10 m, 20 m ja äärettömän pituisilla kaivannoilla luiskan kaltevuuden ollessa 1:1,5 ja syvyyden 2,0 m.



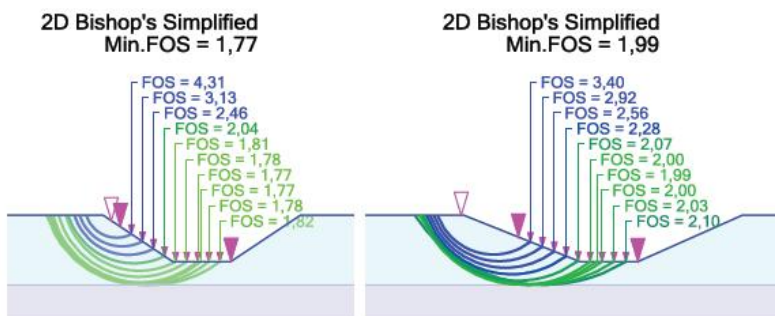
Kuvio 22: Kaivantojen stabiliteetit 10 m, 20 m ja äärettömän pituisilla kaivannoilla luiskan kaltevuuden ollessa 1:2,5 ja syvyyden 2,0 m.



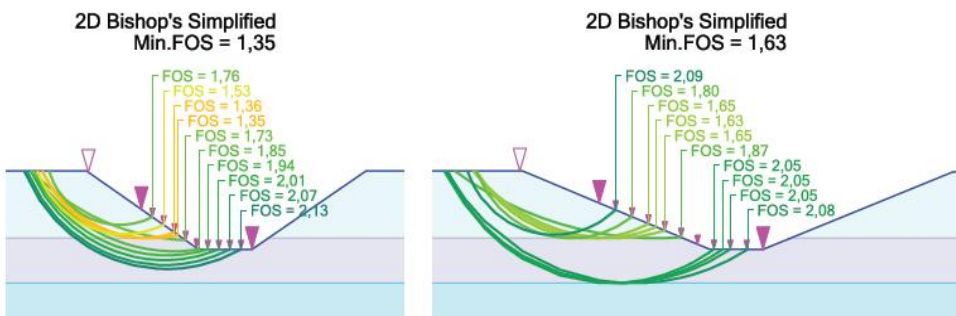
Kuvio 23: Kaivantojen stabiliteetit 10 m, 20 m, ja äärettömän pituisilla kaivannoilla luiskan kaltevuuden ollessa 1:1,5 ja syvyyden 3,5 m.



Kuvio 24: Kaivantojen stabiilitetit 10 m, 20 m, ja äärettömän pituisilla kaivannoilla luiskan kaltevuuden ollessa 1:2,5 ja syvyyden 3,5 m.



Kuvio 25: Kaivantojen stabiilitetit 10 m pituisilla ja 2,0 syvillä kaivannoilla luiskan kaltevuuden ollessa 1:1,5 ja 1:2,5 ilman kuormaa.



Kuvio 26: Kaivantojen stabiilitetit 10 m pituisilla ja 3,5 syvillä kaivannoilla luiskan kaltevuuden ollessa 1:1,5 ja 1:2,5 ilman kuormaa.

Laskelmista käy ilmi, että 2,0 metrin syvyinen kaivanto ei saavuta varmuustasoa 1,5 millään luiskakaltevuudella tai kaivantopituudella, ellei ylimääräistä kuormaa poisteta. Eikä varmuustaso muutu kuin keskimäärin 0,15 yksikköä muuttaessa kaivannon luiskakaltevuutta. Vaarallisin liukupinta hakeutuu luiskan reunan ja kaivannon pohjan leikkauskohtaan. Kun kuorma 10 kN/m² otetaan pois kaivannon reunalta, varmuustaso kasvaa keskimäärin 0,69 yksikköä matalammas-

sa kaivannossa alkuperäiseen verrattuna. Syvämpi kaivanto ei myöskään saavuta varmuustasoa 1,5 ilman kuorman poistamista.

Varmuustaso muuttuu enemmän luiskakaltevuuden muutoksesta 3,5 kuin 2,0 metriä syvällä kaivannolla, keskimäärin 0,27 yksikköä. Vaarallisin liukupinta hakeutuu lähemmäksi leikkauslujuuden muutosvyöhykettä kuin kaivannon pohjan ja luiskan leikkauskohtaa. Tämä johtuu siitä, että liukupinnan pysyvyyteen vaikuttavat voimat kasvavat merkittävästi, kun liukupinta hakeutuu suuremman leikkauslujuuden omaavalle vyöhykkeelle. Kuorman poisto kaivannon reunalta tässäkin tapauksessa vaikuttaa suuresti stabiliteettiin. Kokonaisvarmuustaso kasvaa keskimäärin 0,42 yksikköä syvemmissä kaivannoissa.

Kuorman poisto aiheutti sen, että molemmat kaivantosyvyydet pystyisi toteuttamaan luiskattuna kaivantona teoriassa. Tällöin kaivannon reunalle ei saisi tulla kuormaa lainkaan. Ainoastaan syvämpi 1:1,5 luiskattu kaivanto ei täytä vaatimusta tällöinkään. Tämän kaivannon luiskaaminen 1:2,5 on puolestaan niin loiva, että siitä syntyvä maa-aineksen määrä on mittava. Todellisuudessa kuitenkin kaivannon reunalla on kuormaa, jonka vaikutus on suuri kokonaisvarmuuteen.

Alan ohjeet, kuten aikaisemmin esitelty kuvio 2, eivät edes anna mahdollisuutta mennä 3,5 metriin tällaisissa olosuhteissa. Saven leikkauslujuuden tulisi kasvaa 2,5-kertaiseksi, ennen kuin tämä olisi mahdollista.

Matalampi kaivanto täyttää vaatimuksen 1,5 molemmilla luiskauksilla, kun kuorma otettiin pois. Kun kaivanto luiskataan 1:2,5 kaltevuuteen, voidaan aikaisemmin kuvion 2 perusteella interpoloida, kuinka syvä kaivanto tällä luiskauksella voidaan tehdä. Tällöin päädytään 2,0 metriä syvään kaivantoon. Jos interpoloidaan miten syväälle voidaan kaivaa, kun luiskaus on tehty 1:1,5 kaltevuuteen, päädytään syvyyteen 1,8 metriä. Voidaan siis todeta, että 2,0 metriä syvä kaivanto voisi olla mahdollinen toteuttaa käytännössä. Tällöin kaivumaat tulee sijoittaa pois kaivannon läheisyydestä eivätkä työkonet saa työskennellä kaivannon reunalla, jotta kaivanto pysyisi stabiilina. Tällöin kaivetaan kaivannon päästä.

5.4 Naulauksen laskenta

Laskettaessa naulauksen stabiliteettia saadaan tulokseksi, että vahvikkeiden pituuksien tulisi olla suuria tai niiden määrän. Esimerkiksi metrin kaistalle tulisi asentaa jopa 11 kappaletta 6 metrisiä teräksiä. Syynä tähän on se, että saven ja vahvikkeen välinen kitka on niin pieni, että vahvikkeen täytyy tämän takia olla todella pitkä toimiakseen stabiilina rakenteena. Lopputulos on se, että naulaus ei sovellu tämän työn vaativiin olosuhteisiin. Laskelma on liitteessä 6.

5.5 Tuentaelementin stabiliteetti

Tuentaelementin käyttämistä arvioidaan Espoon putkikaivantojen tuentaohjeen liitteen 10 perusteella. Ohjeessa on esitetty taulukko, josta voi saven leikkauslujuuden perusteella arvioida suurinta mahdollista kaivussyvyyttä. Kaivannon leveys on rajattu 1,5 metristä 3,0 metriin. Pohjannousulaskelmat on esitetty kappaleissa 5.6.1 ja 5.6.2.

Taulukko 1: Suurimmat sallitut kaivussyvydet saven leikkauslujuuden perusteella (Espoon putkikaivanto-ohje... 1997)

S_u (kN/m ²)	D max (m)	q_{sall} (kN/m ²)
5	1.6	0
7	2.1	0
10	3.0	0
15	3.5	10

Tuentaelementin käyttäminen näyttäisi olevan mahdollista 2,0 syvyisessä kaivannossa. Tällöin ei kuitenkaan kaivannon reunalla saa olla mitään mikä aiheuttaa kuormitusta. Lisäksi putkikaivantoa saa tehdä vain 6 pituisina osuuksina.

Syvempään kaivantoon tuentaelementin käyttö voisi tulla kysymykseen, mutta saven leikkauslujuuden tulisi olla 15 kN/m².

5.6 Teräsponttiseinän stabiliteetit

5.6.1 Hydraulinen pohjannousu

Hydraulisen pohjannousun vaara tutkitaan RIL 194-1992 Putkikaivanto-ohjeen sivun 38 kaavan 4.4 ja 4.5 avulla. Nämä kaavat ovat esitetty seuraavaksi:

$$F_s = \frac{(\gamma - \gamma_w) \times h_s + \frac{2 \times s_a \times D + 2 \times s_u \times (h_s - D)}{B}}{\gamma_w \times H_w} \quad (1)$$

$$s_a = \beta \times s_u \quad (2)$$

Samaisessa Putkikaivanto-ohjeessa todetaan, että kun käytetään voimakkaasti profiloituja pontteja, adheesioksi maan ja tukiseinän välillä voidaan otaksua noin puolet maan suljetusta leikkauslujuudesta. Tällöin adheesio mobilisotumisaste olisi siis 0,5 ja tämä saavutettaisiin noin viikon päästä siitä, kun pontit on lyöty maahan. Laskennassa on ajateltu mobilisotumisasteeksi 0, koska se on varmalla puolella.

Näillä laskenta-arvoilla saadaan kokonaisvarmuudeksi $F_s = 5,5$. Vaatimus 1,5 täyttyy siis reilusti. Laskelma on liitteessä 5.

5.6.2 Leikkausjännitysten aiheuttama pohjannousu

Leikkausjännitysten aiheuttamaa pohjannousua koheesiomaassa puolestaan tutkitaan RIL 194-1994 Putkikaivanto-ohjeen s.39-40 kaavojen 4.6, 4.7, 4.8 ja 4.9 avulla. Nämä kaavat on esitetty alapuolella:

$$F_s = \frac{N_{cb}}{N_b} \quad (3)$$

$$N_b = \frac{\gamma \times H + q}{s_u} \quad (4)$$

$$N'_b = \frac{\gamma \times (H + D) + q - \gamma \times D - \frac{2 \times s_a \times D}{B}}{s_u} \quad (5)$$

$$F_s = \frac{N'_{cb}}{N'_b} \quad (6)$$

Putkikaivanto-ohjeen sivulta 40 löytyvää nomogrammia hyödynnetään kriittisen vakavuusluvun löytämiseksi. Tästä nomogrammista voidaan lukea kaivannon vakavuusluvut, kun pontti on lyöty kaivannon pohjan alapuolelle tai kun pontteja ei ole lyöty lainkaan.

Kokonaisvarmuusluvuksi saadaan $F_s = 1,6$, kun pontteja ei ole lyöty. Kun pontit on löyty, kokonaisvarmuusluvuksi saadaan $F_s = 1,8$. Molemmissa tapauksissa vaatimus 1,5 täyttyy.

5.6.3 Poikkituet

Poikkituet mitoitettiin käyttäen WinStatik-kehäohjelmaa. Tällöin käytetään rakennemallia, jossa, molemmat päät ovat jäykkiä. Palkkiin vaikuttaa normaalivoima 360 kN, joka saatiin Geocalcin laskentatuloksena, kun käytettiin k3000 palkkiväliä. Mitoituksen perusteella voidaan todeta, että poikkituet kestävät jopa k6000-jakovälillä. Mitoitukset ovat liitteessä 6.

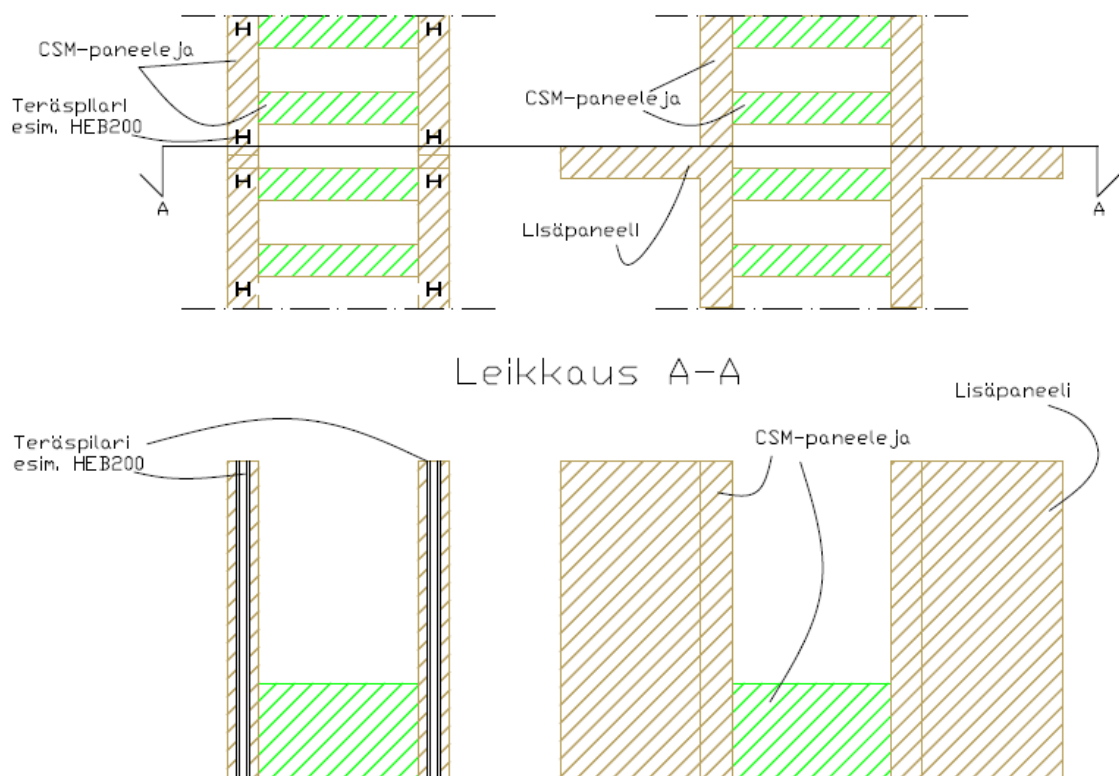
5.6.4 Vaakapalkit

Vaakapalkit mitoitettiin käyttäen samaista WinStatik-ohjelmaa. Tällöin rakennemallina toimi palkki, joka on yksiaukkoinen. Saatujen tukireaktioiden kautta saatiin palkille tasainen kuorma.

Mitoituksen perusteella saadaan selville, että k4000 ja k6000 tuenta ei käy. Tällöin rasitukset ovat liian suuria. Valittaessa vaakapalkkia tulee HEB 200-teräsprofiilille valita k3000 tuentaväliksi.

5.7 CSM-stabiiliteetin arvioiminen

CSM-menetelmässä on muutama vaihtoehto miten kaivanto tuetaan. Paneeliseinä voidaan rakentaa laittamalla paneelien sisään teräksiä jotta saadaan taivutuskestävyyttä kasvattettua. Toinen mahdollisuus on kasvattaa seinämän taivutusvastusta laittamalla kaivannon seinämien ulkopuolelle paneeleita kohtisuoraan seinämää vasten. Kuviossa 27 on selvennetty CSM:n käyttöä kaivannon tuentana.



Kuvio 27: CSM-menetelmän tuentamahdollisuudet

Liitteessä 6 on mitoitettu CSM-menetelmä käyttäen paneelien taivutusvastusta. Tällöin saadaan tulokseksi, että kun lisäpaneeleita sijoitetaan kaivannon ulkopuolelle, seinä kestää maanpaineen.

Liitteessä 6 on mitoitettu CSM-menetelmä myös siten, että paneelisiin on sijoitettu lisäraudoitusta. Tällöin oletetaan, että teräs hoitaa taivutusrasituksen ja teräksiä tulisi sijoittaa 2,5 m:n välein.

6 Kustannuslaskenta

6.1 Vertailun lähtökohdat

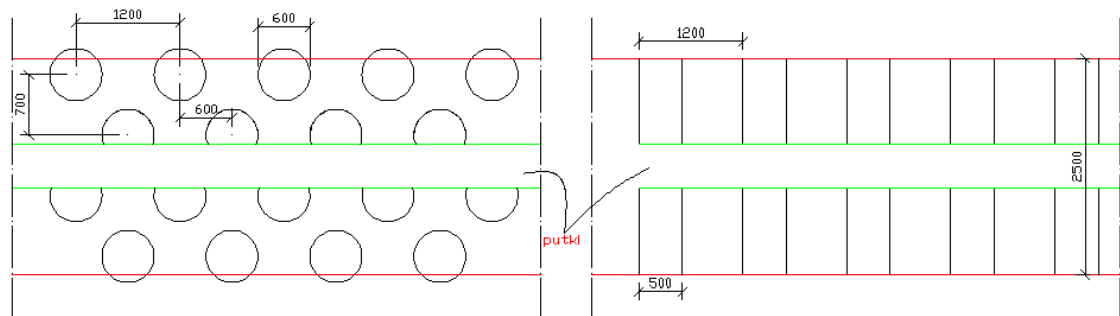
Kustannuslaskenta voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin: maankaivu, tuenta, täytöt, putken asentaminen ja kaivumaiden poiskuljetus. Jotta voidaan laskea tarkasti, täytyy olla tiedossa jokaisen menetelmän työvaiheet.

Taulukko 2: Työvaiheet työmenetelmissä

Työmenetelmä	Työvaiheet
Luiskattu kaivanto	pohjanvahvistus, mittaus, maankaivu, arina, putken asentaminen, alkutäyttö ja lopputäyttö
Tuentaelementti	pohjanvahvistus, mittaus, maankaivu ja elementin asentaminen, arina, putken asentaminen, alkutäyttö, tuentaelementin nostaminen ja lopputäyttö
Teräsponsittiseinä	pohjanvahvistus, mittaus ja keuhikon rakentaminen, ponttien lyöminen, alkukaivu, keuhikon asennus, loppukaivu, arina, putken asentaminen, alkutäyttö ja lopputäyttö
CSM	mittaus, CSM, teräksien upotus, alkukaivu, välituen hitsaus, loppukaivu, arina, putken asennus, alkutäyttö ja lopputäyttö

Maankaivuun on sisällytetty kaivumaiden poiskuljettaminen. Lisäksi täytöt sisältävät vaadittavat tiivistystyöt.

Pohjanvahvistusta ei ole erikseen huomioitu kuin CSM:ssä, koska kyseisessä menetelmässä se tehdään samalla kertaa. Muissakin menetelmissä otetaan huomioon pohjanvahvistuksen hinta, jotta saadaan vertailtavia tuloksia. Kuviossa 28 on esitetty miten pohjanvahvistus tehdään eri tapauksissa.



Kuvio 28: Pohjanvahvistuskuviot pilaristabiloinnilla (vas.) ja CSM-menetelmällä (oik.)

Kustannuksia tutkitaan 40 metriä pitkälle, matalalle, syvälle ja kahdelle erilaiselle rakennevaihtoehdolle. Putken pituutena käytetään 6 metriä.

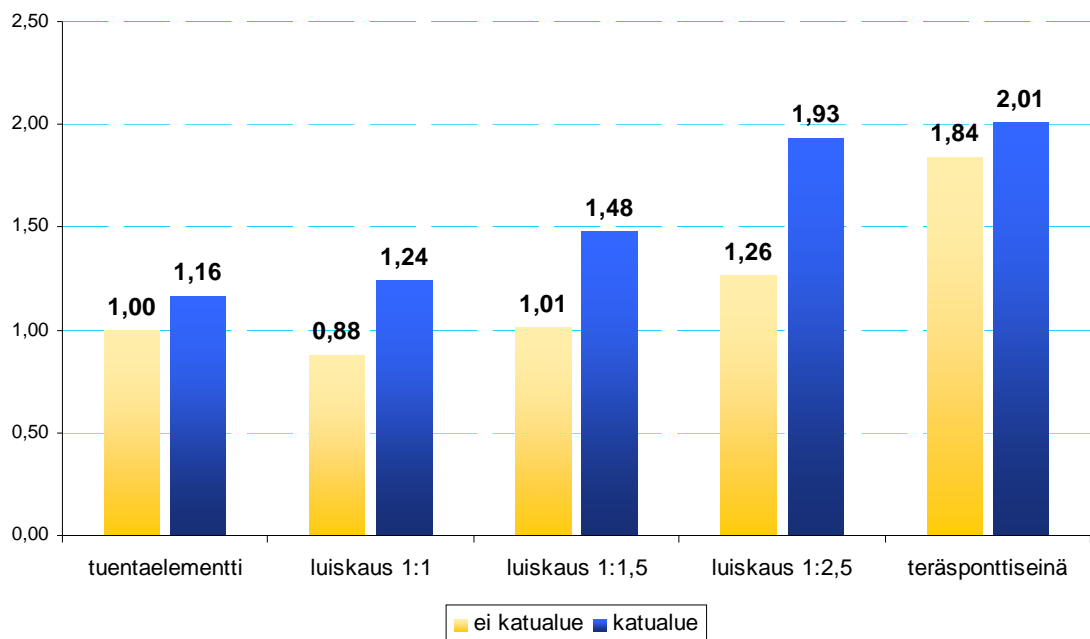
Toisen tapauksen oletetaan linjan tulevan suoraan pehmeikölle siten, että kaivumaita voidaan käyttää täyttötyöhön. Toinen tapaus oletetaan olevan tiealue, jolloin kaikki kaivumaat viedään kaatopaikalle ja täyttömaat ostetaan ulkopuolelta.

Kaatopaikkakustannuksina käytetään Espoon hinnastoa, eli 18,78 € kaatopaikkalappu. Riippuen ajettavasta tavarasta kaatopaikkalappujen määrä vaihtelee, mutta tässä työssä oletuksena on, että yhden autokuormallisen savea saa vietyä kolmella kaatopaikkalapulla.

6.2 Matala kaivanto

Tutkittavat menetelmät matalassa kaivannossa ovat tuentaelementti, teräsponttiseinä, luiskaus 1:1, luiskaus 1:1,5 ja luiskaus 1:2,5. Liitteessä 22 on näiden menetelmien kustannuslaskelmat. Lopputuloksena saadaan seuraavanlainen kuvio 29, jossa on suhteelliset kustannukset eri menetelmien kesken 40 metriä pitkälle putkikaivannolle.

Matalien kaivantojen suhteelliset kustannukset



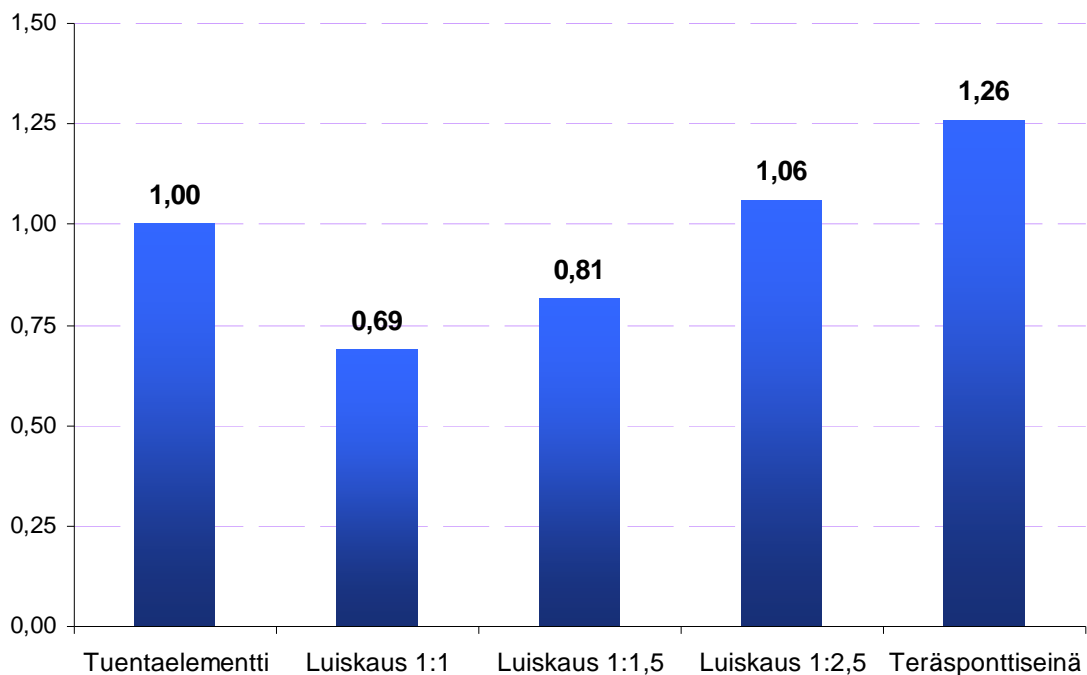
Kuvio 29: Matalien kaivantojen suhteelliset kustannukset

Kuviosta 29 selviää miten eri menetelmien kustannukset jakautuvat. Luiskaus 1:1 on halvempi vaihtoehto, kun kaivanto ei tule katualueelle. Kaivannossa ollessa katualueella, tulee tuentaelementti edullisemmaksi. Syynä on se, että luiskattaessa kaivumaita syntyy enemmän ja kaatopaikkakustannukset kasvavat.

Teräsponttiseinän suuri hinta tuentaelementtiin nähden selittyy ponttien ja palkkien hankintahintana. Jos putkikaivanto olisi pidempi, teräsponttiseinän suhteellinen hinta voisi hieman madaltua, koska teräsponttitarvikkeita ei tarvitsisi enää ostaa uudestaan.

Ajat jakautuvat kuvion 30 mukaisesti. Kuviossa 30 on otettu vain itse putkikaivannon tekemiseen kuluva aika, ilman pohjanvahvistusta. Pohjanvahvistuksesta tulee noin 24 päivää lisää työaika.

Matalien kaivantojen suhteelliset työajat



Kuvio 30: Matalien kaivantojen väliset suhteelliset ajat

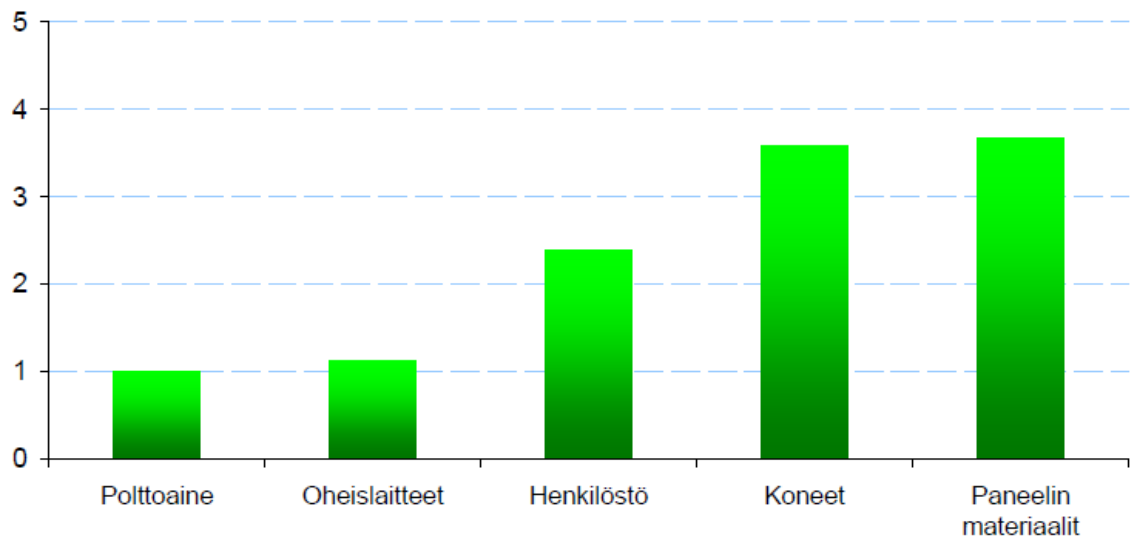
Teräsponttiseinän hitaus näkyy kuviosta 30 selvästi. Tämä johtuu siitä, että teräsponttiseinän tekemisessä on enemmän työvaiheita kuin muissa menetelmissä. Luiskatut kaivannot on nopeampi kaivaa kuin tuetut kaivannot pääasiallisesti. Kuitenkin luiskan loivetessa putkilinjan tekeminen hidastuu.

6.3 Syvä kaivanto

Syvämmässä kaivannossa ei tutkita tukemattomia kaivantoja lainkaan. Tutkittavat menetelmät tässä tapauksessa ovat tuentaelementti, teräsponttiseinä, CSM 1 ja CSM 2. CSM 1 on menetelmä, jossa kaivannon seinämiin upotetaan teräspalkkeja vahvistukseksi. CSM 2 -menetelmässä ei upoteta teräksiä, vaan kaivannon ulkopuolelle tehdään ylimääräisiä paneeleita, joilla saadaan kaivannon seinämälle tarpeeksi taivutusvastusta. Kappaleessa 5.7 on esitelty tarkemmin tämä asia.

Käytettäessä CSM-menetelmää sen sisäiset kustannukset jakautuvat kuvion 32 mukaisesti. Voidaan huomata, että suurimmat kustannukset aiheutuvat koneista ja paneelin materiaaleista. Menetelmän kustannuksiin seossuhteella on siis merkittävä vaikutus. Paneeleihin ei ole laskettu lisäterästyä yms. lainkaan. Kyseessä on vertailu, joka on tehty yhden paneelin kustannuksille.

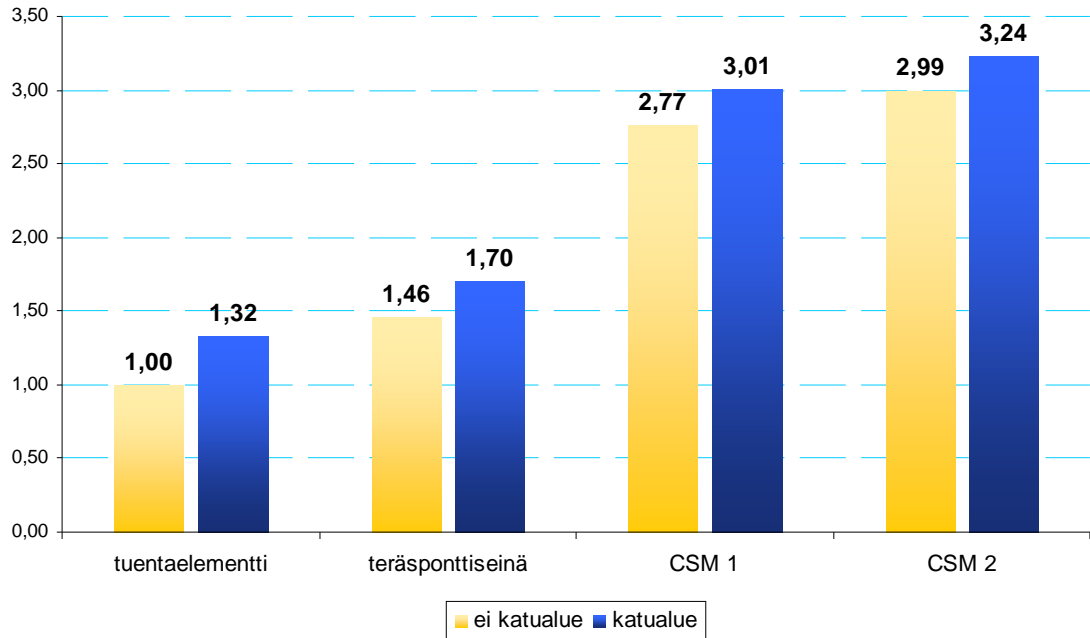
CSM-menetelmän sisäiset suhteellisten kustannuksien jakautuminen



Kuvio 32: CSM-menetelmän sisäiset suhteelliset kustannuksien jakautuminen

Syvässä kaivannossa eri menetelmien väliset kustannukset jakautuvat kuvion 33 mukaisesti, kun verrataan kustannuksia tuentaelementtiin ei katualueella. Tuentaelementti on tässä tapauksessa edullisin vaihtoehto. Tämä edellyttää sitä, että kaivaminen voidaan suorittaa elementin sisältä. Myös maa-aineksen tulee olla koossapysyvää, että se ei valu elementin sisään missään tilanteessa. Teräsponttiseinä tulee seuraavana vaihtoehtona tuentaelementin jälkeen. CSM-menetelmän hinta on reilusti yli kaksinkertainen verrattuna väliaikaisiin tuentamenetelmiin. Pysyvien rakenteiden tekeminen tulee siis kalliiksi. Muutaman yksikön halvemmaksi tulee se, että CSM-paneeleit terästetään eikä tehdä vahvistukseksi ylimääräisiä paneeleita.

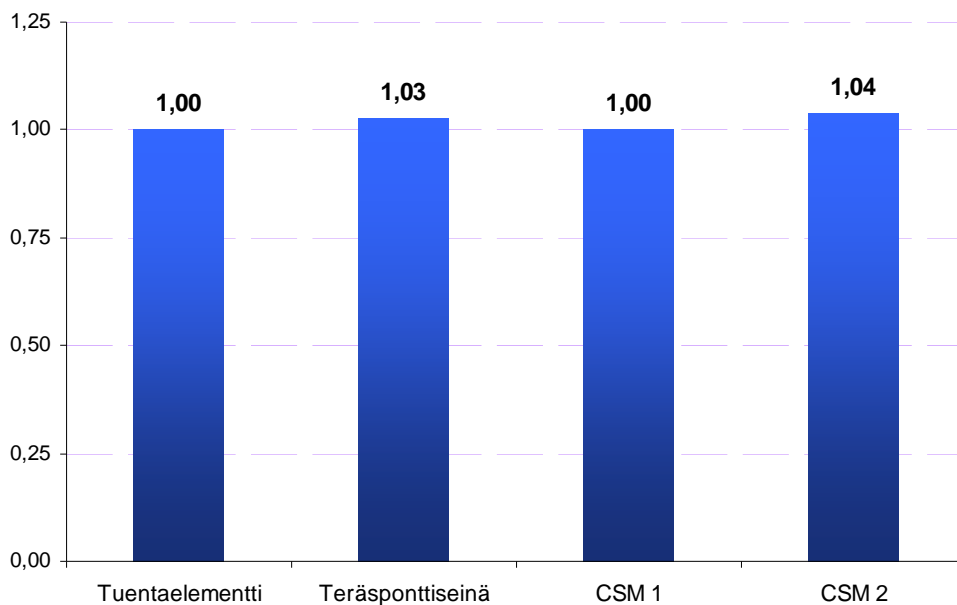
Syvien kaivantojen suhteelliset kustannukset



Kuvio 33: Syvien kaivantojen väliset suhteelliset kustannukset

Ajallisesti syvän kaivannon eri menetelmät eivät eroa juurikaan toisistaan. Menetelmät ovat kokonaisajaltaan yhtä nopeita.

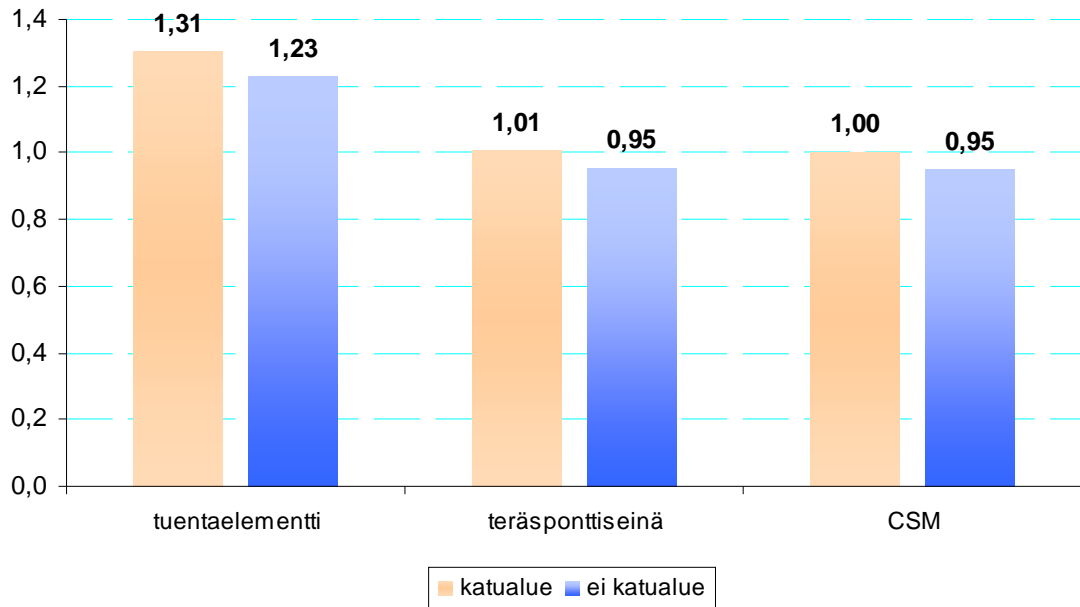
Syvien kaivantojen suhteelliset työajat



Kuvio 34: Syvien kaivantojen suhteelliset työajat

Menetelmissä sisäiset ajat jakautuvat erilailla. Kun poistetaan työajat jotka kuluvat tuntojen tekemiseen, työajat jakautuvat kuvion 35 mukaisesti.

Putkilinjan tekemiseen kuluvat suhteelliset ajat eri menetelmien kesken



Kuvio 35: Putkilinjan tekemiseen kuluvat suhteelliset ajat eri menetelmien kesken

Tuentaelementissä putkilinjan tekemiseen kuluva aika on paljon suurempi kuin muissa menetelmissä. Tämä johtuu siitä, että menetelmissä kaivutyö on hidasta johtuen tuentatapojen vaatimista välituista. CSM-menetelmässä ei ole välitukia joten kaivaminen on nopeampaa. Täytyy kuitenkin muistaa, että kaivutyö vaatii keskittymistä, sillä paneeleita pitää varoa koko ajan.

7 Johtopäätökset

Naulauksen käyttäminen putkikaivannon tuentana ei onnistunut näissä olosuhteissa. Syynä oli se, että saven leikkauslujuus oli niin heikko maapäällisillä savikerroksilla. Tätä leikkauslujuutta ei voida täysin hyödyntää, koska ei voida olla varmoja, miten paljon leikkauslujuudesta voidaan ottaa huomioon. Jotta tämä asia voitaisiin laskea, tulisi olla empiiristä tietoa siitä, miten nopeasti ja kuinka suuri määrä saven leikkauslujuudesta kehittyy teräksen ja saven väliseksi kitkavoimaksi.

Naulauksen laskeminen on haastavaa ja vaatii paljon tietämystä asiasta. Yksinkertaisilla laskutoimituksilla saatiin vain selville, että tankoja tulisi olla todella monta kaivannon luiskassa tai tankojen olla pitkiä, jotta kaivanto pysyisi stabiilina. Pitkien tankojen asentaminen työmaalla on lähes mahdotonta ja epätaloudellista. Samaan tapaan myös tankojen suuri lukumäärä tulee epätaloudelliseksi.

Tuentaelementti tulee edulliseksi vaihtoehdoksi, kun kyseessä ei ole matala kaivanto alueella jossa voidaan kaivumaita käyttää kaivannon täyttämiseen. Tuentaelementin käyttäminen voi kuitenkin osoittautua huonoksi vaihtoehdoksi, jos kaivantoon pääsee valumaan maa-aineksia elementtien saumoista tai jos elementtiä ei pystytä upottamaan maahan. Tuentaelementti voi olla huono vaihtoehto, kun tehdään putkilinjaan pidemmällä kuin 6 metrin putkilla.

Tuentaelementin hintaan vaikuttaa myös se, mistä elementit on saatavissa. Skanskan rakennuskoneelta vuokrattaessa elementin hinta muodostuu viideltä työpäivältä viikossa. Muualla vuokrausehdot voivat olla erilaiset, eli veloitus voi muodostua jokaiselta päivältä. Vertailusta käy hyvin ilmi se, että jos tuentaelementin käyttäminen ei onnistu, niin kustannukset nousevat kaksinkertaisiksi matalassa kaivannossa käytettäessä teräsponttiseinää. Syvässä kaivannossa noin puolitoistakertaiseksi.

Matalissa kaivannoissa luiskaus tulee nopeammaksi ja loivalla luiskalla edulliseksi vaihtoehdoksi. Rajoittavia tekijöitä ovat kaivannon maksimipituus ja se, että kaivannon reunalle ei saa laittaa ylimääräisiä kuormia. Kaivaminen tulisi tehdä 10 metrin pätkissä ja kaivannon päästä.

CSM-menettelyn kustannukset tulevat moninkertaiseksi verrattuna tuentaelementtiin vaikka laskenta on suoritettu käyttäen maksimaalista tehoa. Pohjanvahvistuksen materiaalihinta on vielä kohtuullinen, mutta menetelmän vaatimat kone- ja henkilökustannukset nostavat hintaa paljon. Työntekijöitä vaaditaan vähintään 3 erilaisiin tehtäviin. Halvemmassa vaihtoehdoksena näyttäisi tulevan se, että CSM-paneeleita lisäterästetään eikä kaivannon ulkopuolelle tehdä lisä-paneeleita. Täytyy kuitenkin muistaa, että CSM-menelmästä ei ole Suomesta minkäänlaisia kokemuksia, joten kustannukset ovat suuntaa-antavia.

Lähteet

Painetut lähteet

K. Aitomaa, T. Luoto, M. Rajamäki, T. Niskanen, H. Patrikainen, K. Päivärinta, (2007),
Rakennustöiden turvallisuusmääräykset selityksineen 2007

K.V. Helenelund,(1974), Maanrakennusmekaniikka 137

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y., (2005),
RIL 121-2004 Pohjarakennusohjeet

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y., (1986),
RIL 166 Pohjarakenteet

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y., (1992),
RIL 194-1992 Putkikaivanto-ohje

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y., (1989),
RIL 181-1989 Rakennuskaivanto-ohje

Työsuojeluhallinto, (2006), Kapeat kaivannot

Sähköiset lähteet

Combining geophysical, sedimentological and geotechnical information to characterize geological history of Suurpelto construction site in Espoo, Southern Finland. [pdf.tiedosto].[viitattu 12.1.2009]

Liiheminpuisto, S102 Nysäsiltä, 5758/1061A, Ramboll 06/2007. [dwg.tiedosto].[viitattu 2.2.2009]

Nordic Guidelines for Reinforced Soil and Fill. [pdf-tiedosto].[viitattu 02.02.2009] Saatavissa:
http://www.sgy.fi/common/load_ext_file.asp?Source=ext_pagesx&ContainerID=8654&id=2

Saveen hautautunut mies selvisi murtumilla. [online].[viitattu 10.2.2009] Saatavissa:
http://yle.fi/uutiset/alueelliset_uutiset/varsinais-suomi/2009/02/saveen_hautautunut_selvisi_murtumilla_578157.html?origin=rss

Soil-Nailing Best Practice Guidance. [pdf-tiedosto].[viitattu 02.02.2009] Saatavissa:
<http://www.ciria.org.uk/acatalog/c637.pdf>

Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet TIEH 2100002-01. [pdf-tiedosto].[viitattu 13.02.2009] Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100002-01i.pdf>

Valtioneuvoston päätös rakennustyön turvallisuudesta. 23.6.1994 /629. [online] [viitattu 17.3.2009] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940629>

Julkaisemattomat lähteet

Hakanen, Tommi, DI, Haastattelu 12.3.2009. Tampere.

Työmaan nimi/numero	Työvaihe
TURVALLISUUSASIAT KAIVUTÖIDEN SUUNNITTELUSSA	

<i>Huomioitava asia</i>	<i>OK</i>	<i>Lisätietoja / Huomautuksia</i>	<i>Asia hoidettu</i>
Suunnittelijan antamat ohjeet ja lähtötiedot (mm. maaperätiedot, kaivutyöselitys, tuentasuunnitelma)	<input type="checkbox"/>		
Tiedot turvallisuusasiakirjasta/tilaajalta	<input type="checkbox"/>		
Riskienarvioinnissa esille tulleet tiedot/vaatimukset	<input type="checkbox"/>		
Maan laadun selvittäminen (esim. pohjavesi, häiriöherkkyys, kuormitukset, aikaisemmat kaivutyöt)	<input type="checkbox"/>		
Maassa olevien varottavien rakenteiden selvittäminen (mm. kaapelit, johdot, putket, viemärit)	<input type="checkbox"/>		
Kaivannon luokkavaatimus (leveys ja syvyys)	<input type="checkbox"/>		
Kaivantosuunnitelman tarve (laatija, suunnitelman sisältö, ohjeet)	<input type="checkbox"/>		
Kaivannon sortuman estäminen (mm. tuenta, luiskaus huomioiden kuormitukset, vesi, liikenne, tärinä)	<input type="checkbox"/>		
Kaivannon erottaminen/suojaaminen muusta työmaasta (mm. putoamissuojaus)	<input type="checkbox"/>		
Sää- ja keliolosuhteiden vaikutus (esim. roudan sulaminen, sade, kuivuminen)	<input type="checkbox"/>		
Kaivannon lähellä olevat toiminnot (mm. yleisen liikenteen ja työmaaliikenteen ja työkoneiden rasitukset, varastot ja rakennukset kaivannon lähellä)	<input type="checkbox"/>		
Kaivutyöstä aiheutuvat vaarat ympäristölle (esim. jalankulkuliikenteelle, muille työvaiheille, yleiselle liikenteelle, rakenteille), tarkkailumittaukset	<input type="checkbox"/>		
Maarakennuskoneiden työalueen eristäminen muusta toiminnasta (vaara-alueet, peruuttaminen)	<input type="checkbox"/>		
Maarakennuskoneiden havaittavuus (varoitusalaisimet, peruutushälyttimet)	<input type="checkbox"/>		
Työntekijöille ja maarakennuskoneiden kuljettajille annettava opastus ja ohjaus (ohjeet)	<input type="checkbox"/>		
Turvallisuustoimenpiteet käytettäessä kaivukonetta yms. viemäriputken tai muun elementin asentamiseen	<input type="checkbox"/>		
Kaivutyö rakennuksen tai rakennelman alla (tukitoimenpiteet)	<input type="checkbox"/>		
Kaivannon suojaaminen liikenteeltä (suojavyöhyke, suojausjärjestelyt, kulkuesteet), nopeusrajoitukset	<input type="checkbox"/>		

Laatimispäivämäärä

Laatijat

Stabiliteettilaskelmat luiskatuille kaivannoille ja ponttiseinille

Sisällysluettelo

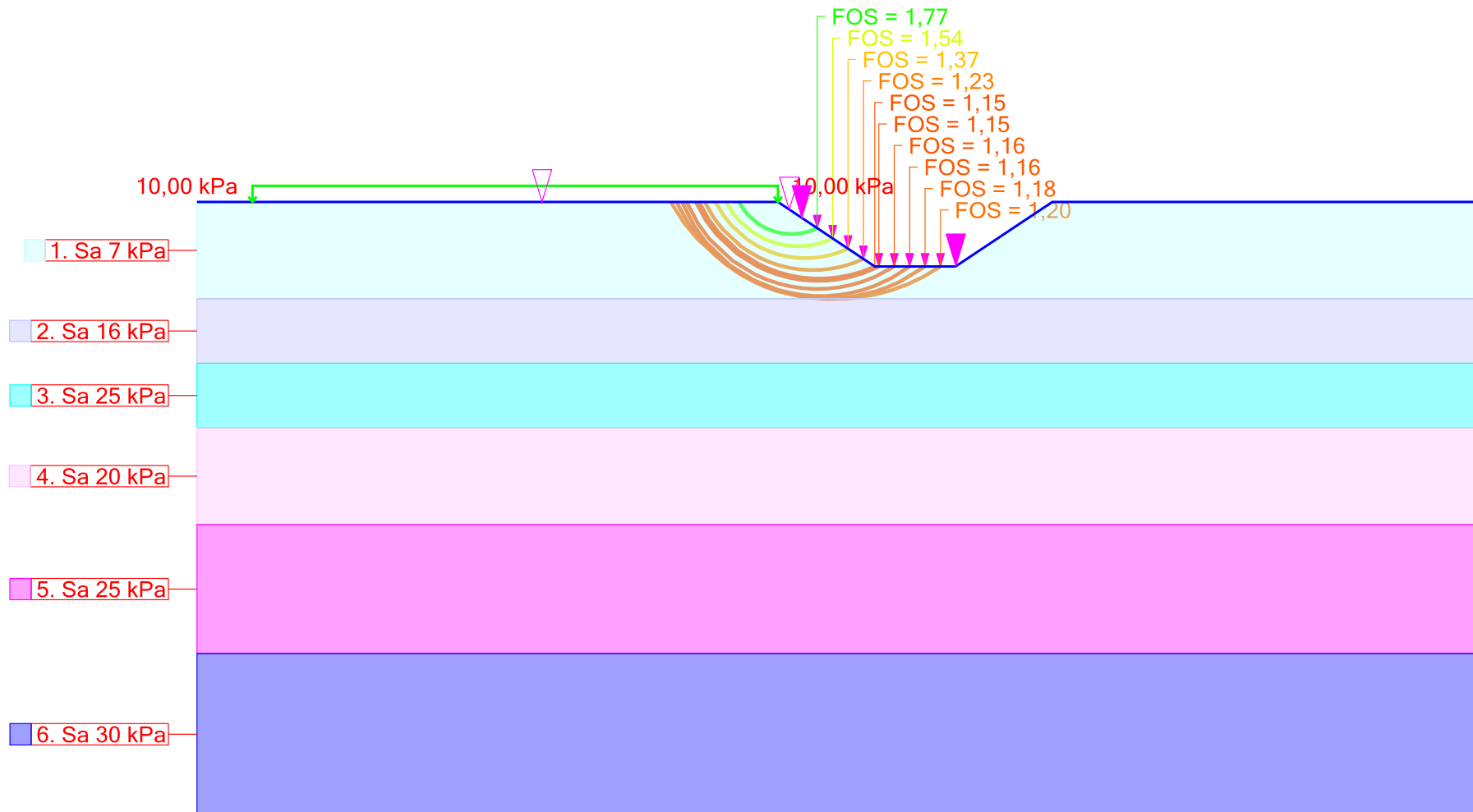
Luiskatut kaivannot

Syvyys 2 m, pituus 10 m, luiska 1:1,5	3
Syvyys 2 m, pituus 10 m, luiska 1:1,5, ei kuormaa	4
Syvyys 2 m, pituus 10 m, luiska 1:2,5	5
Syvyys 2 m, pituus 10 m, luiska 1:2,5, ei kuormaa	6
Syvyys 2 m, pituus 20 m, luiska 1:1,5	7
Syvyys 2 m, pituus 20 m, luiska 1:2,5	8
Syvyys 2 m, pituus ääretön, luiska 1:1,5	9
Syvyys 2 m, pituus ääretön, luiska 1:2,5	10
Syvyys 3,5 m, pituus 10 m, luiska 1:1,5	11
Syvyys 3,5 m, pituus 10 m, luiska 1:1,5, ei kuormaa	12
Syvyys 3,5 m, pituus 10 m, luiska 1:2,5	13
Syvyys 3,5 m, pituus 10 m, luiska 1:2,5, ei kuormaa	14
Syvyys 3,5 m, pituus 20 m, luiska 1:1,5	15
Syvyys 3,5 m, pituus 20 m, luiska 1:2,5	16
Syvyys 3,5 m, pituus ääretön, luiska 1:1,5	17
Syvyys 3,5 m, pituus ääretön, luiska 1:2,5	18

Ponttiseinät

Tukiseinä, kaivanto 2 m	19
Kuvaaja kaivanto 2 m	20
Tukiseinä, kaivanto 3,5	21
Kuvaaja kaivanto 3,5 m	22

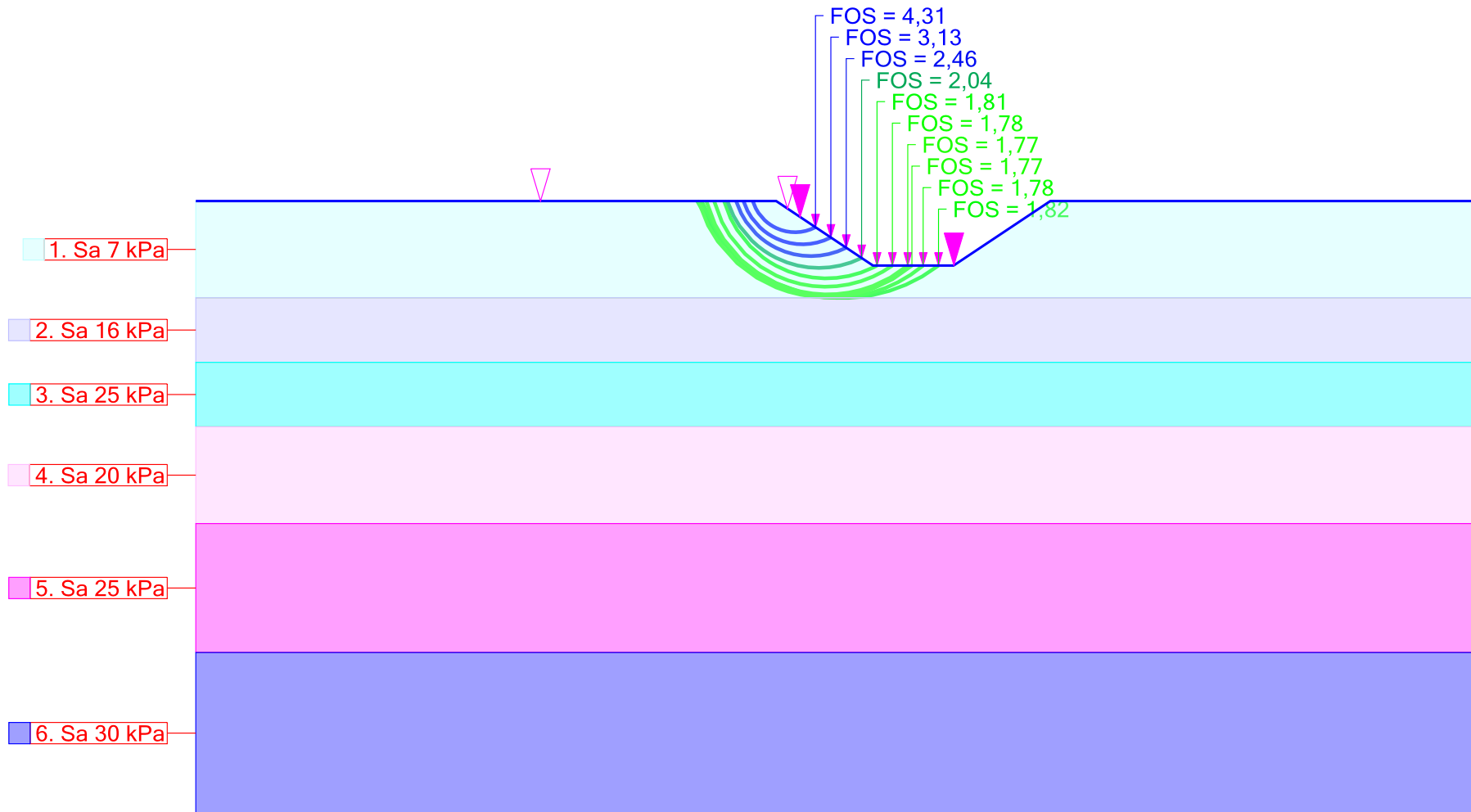
2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 1,15



Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ [°/m]	Material Type	r_u	r_{uq}
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
6	Sa 30 kPa	15,00	-999,00	30,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 2,0 m, pituus 10 m, luiska 1:1,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy



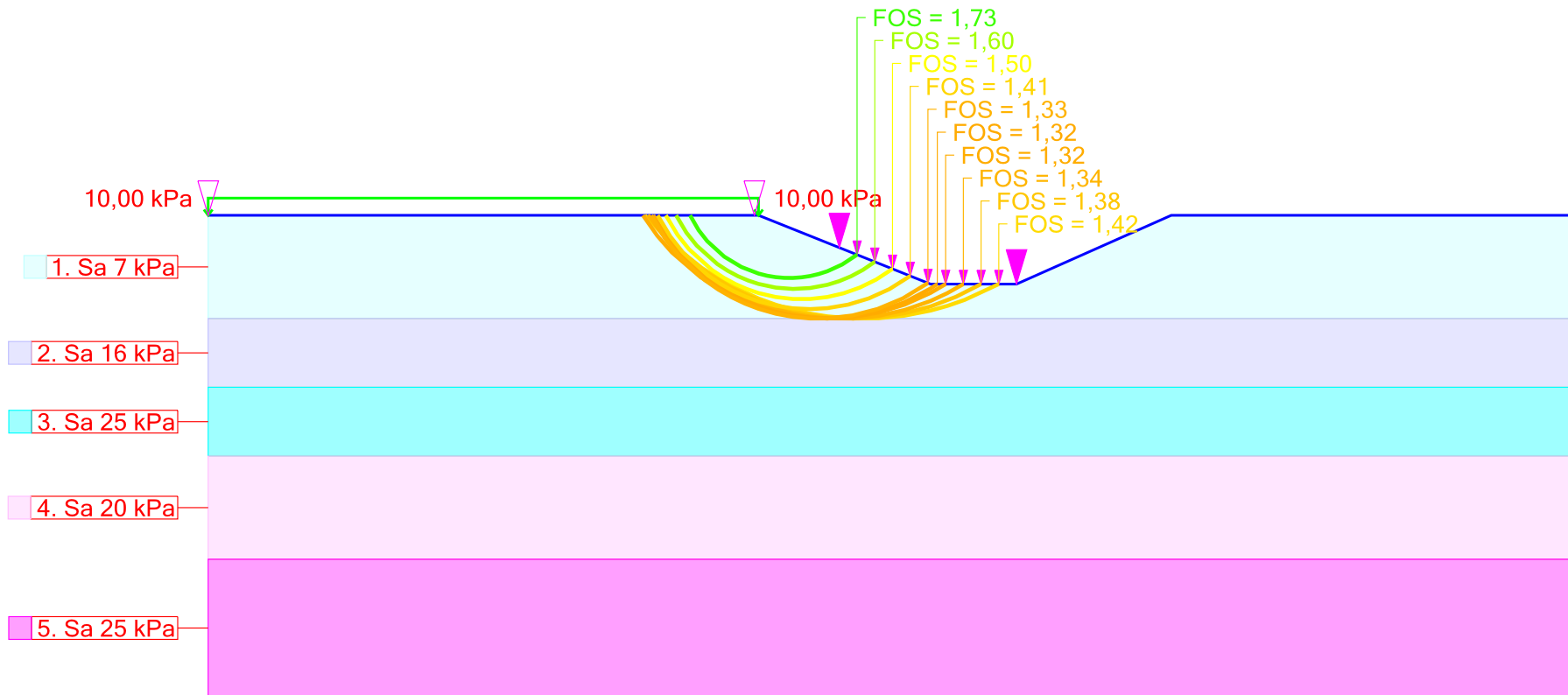
Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ [°/m]	Material Type	r_u	r_{uq}
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
6	Sa 30 kPa	15,00	-999,00	30,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ei kuormaa

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 2,0 m, pituus 10 m, luiska 1:1,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 1,32

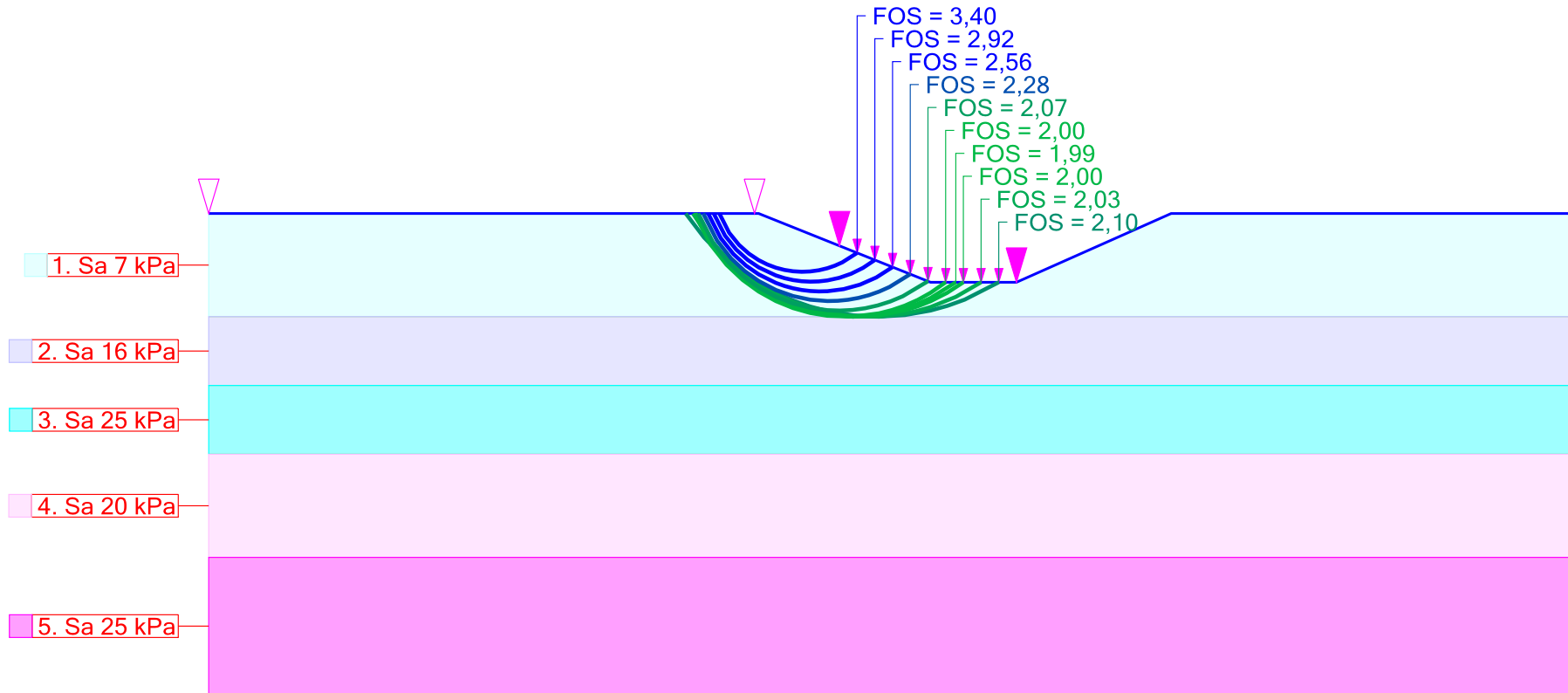


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ [°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 2,0 m, pituus 10 m, luiska 1:2,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 1,99



Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ [°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

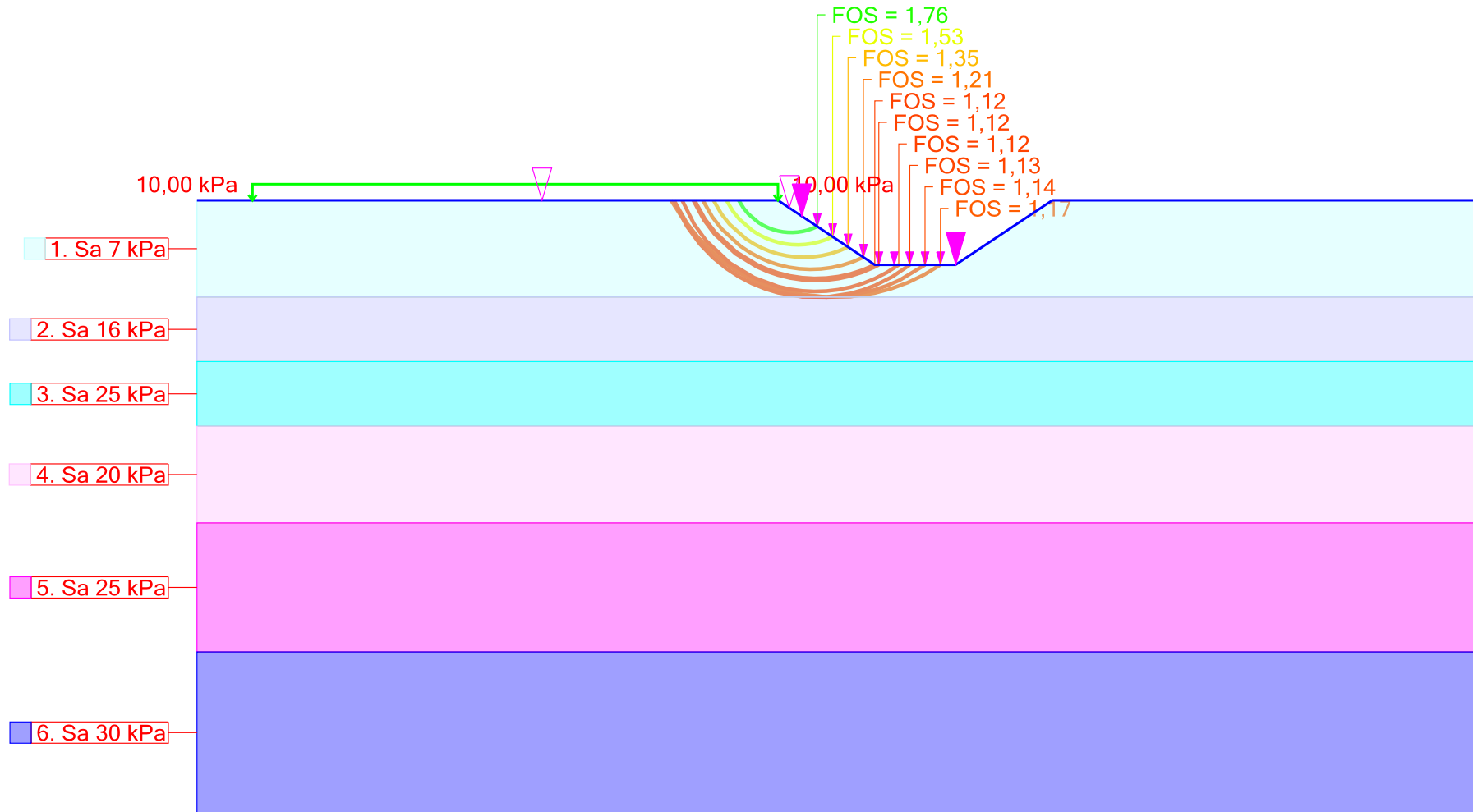
Ei kuormaa

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiilitetti

Syvyys 2,0 m, pituus 10 m, luiska 1:2,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

Novapoint GeoCalc 2.0.1 (03.03.2009 15:00)

2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 1,12

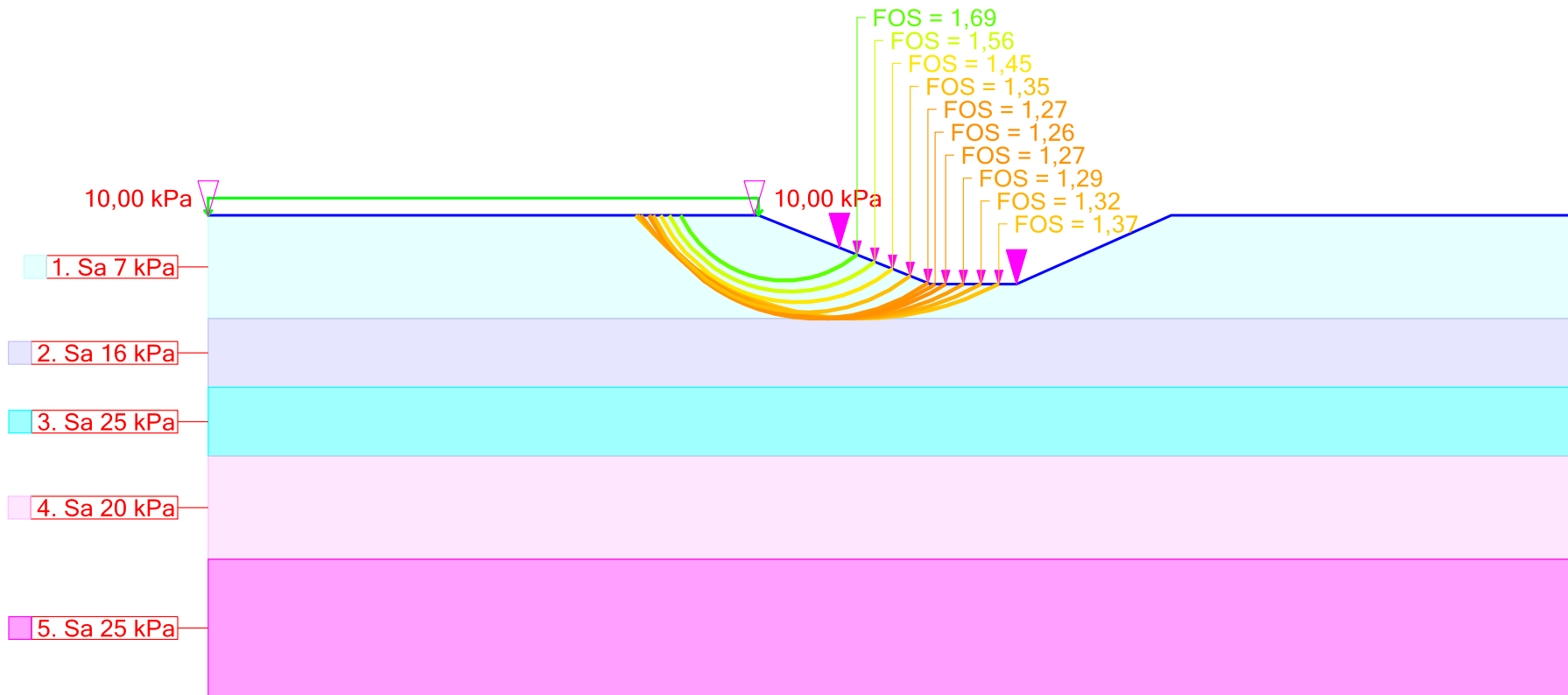


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ [°/m]	Material Type	r_u	r_{uq}
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
6	Sa 30 kPa	15,00	-999,00	30,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiilitetti

Syvyys 2,0 m, pituus 20 m, luiska 1:1,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 1,26

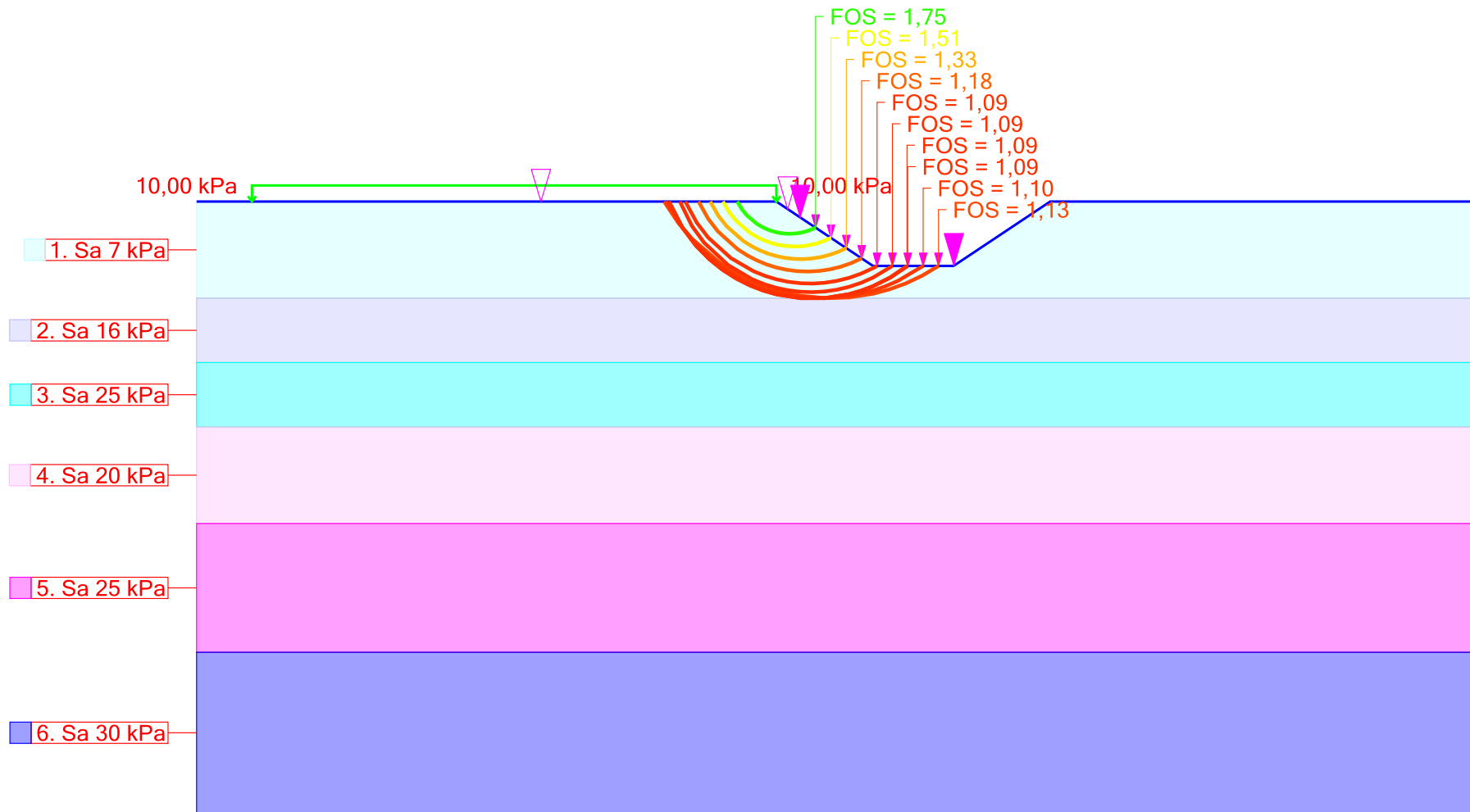


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ '[°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ '[°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 2,0 m, pituus 20 m, luiska 1:2,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 1,09

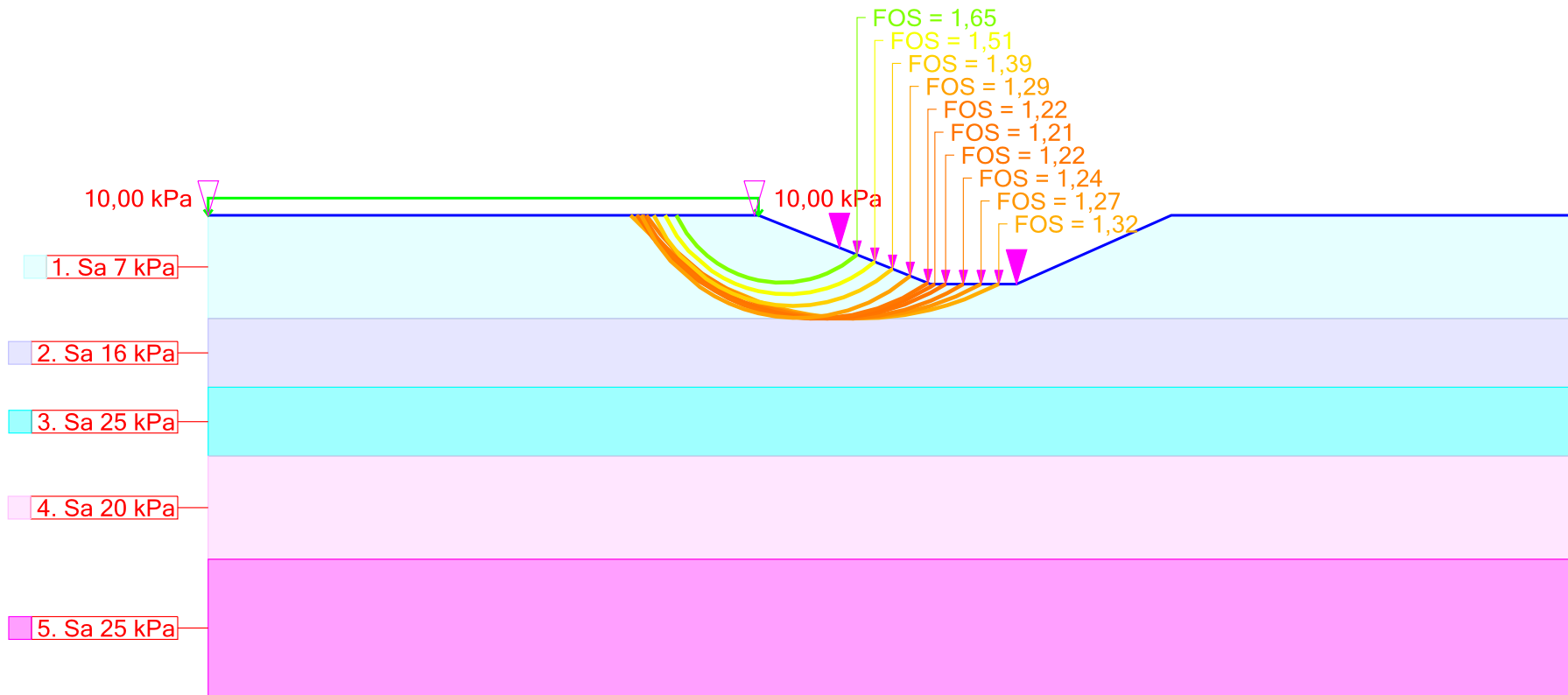


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ [°/m]	Material Type	r_u	r_{uq}
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
6	Sa 30 kPa	15,00	-999,00	30,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiilitetti

Syvyys 2,0 m, pituus ääretön, luiska 1:1,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 1,21

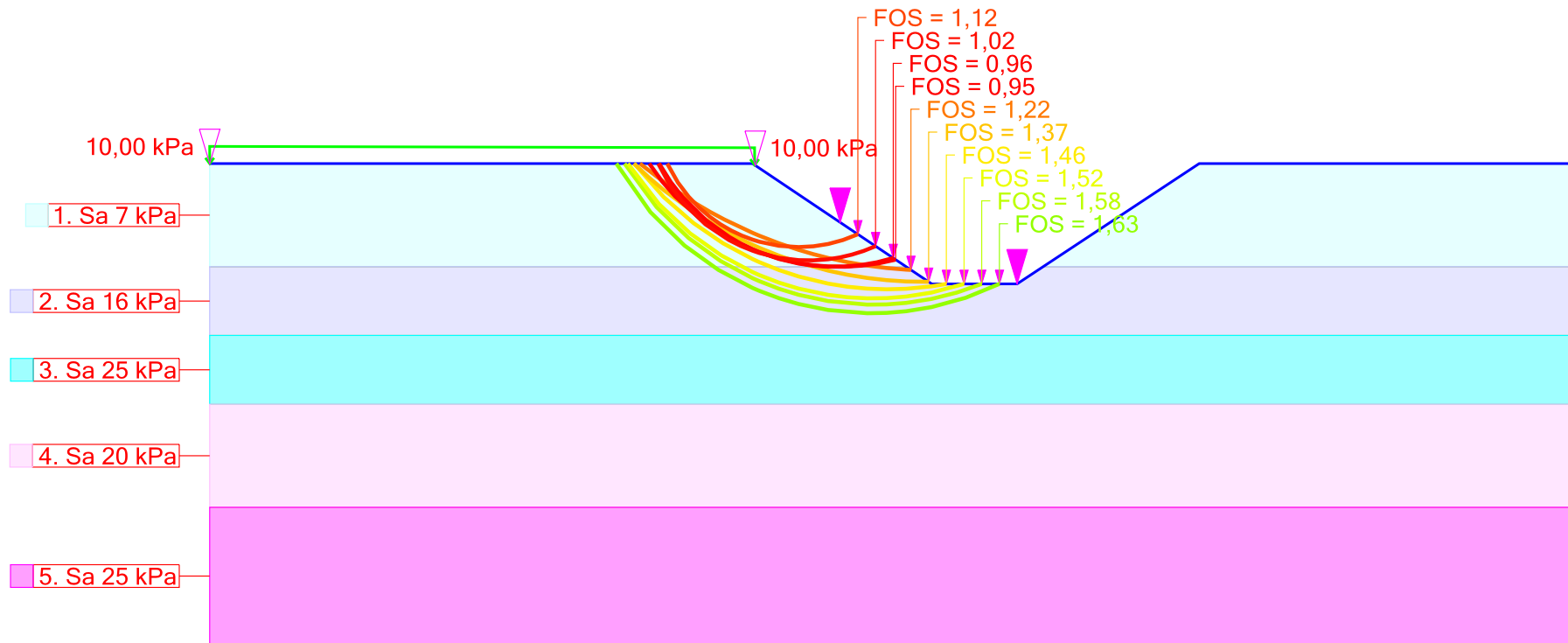


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ ' [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ ' [°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 2,0 m, pituus ääretön, luiska 1:2,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

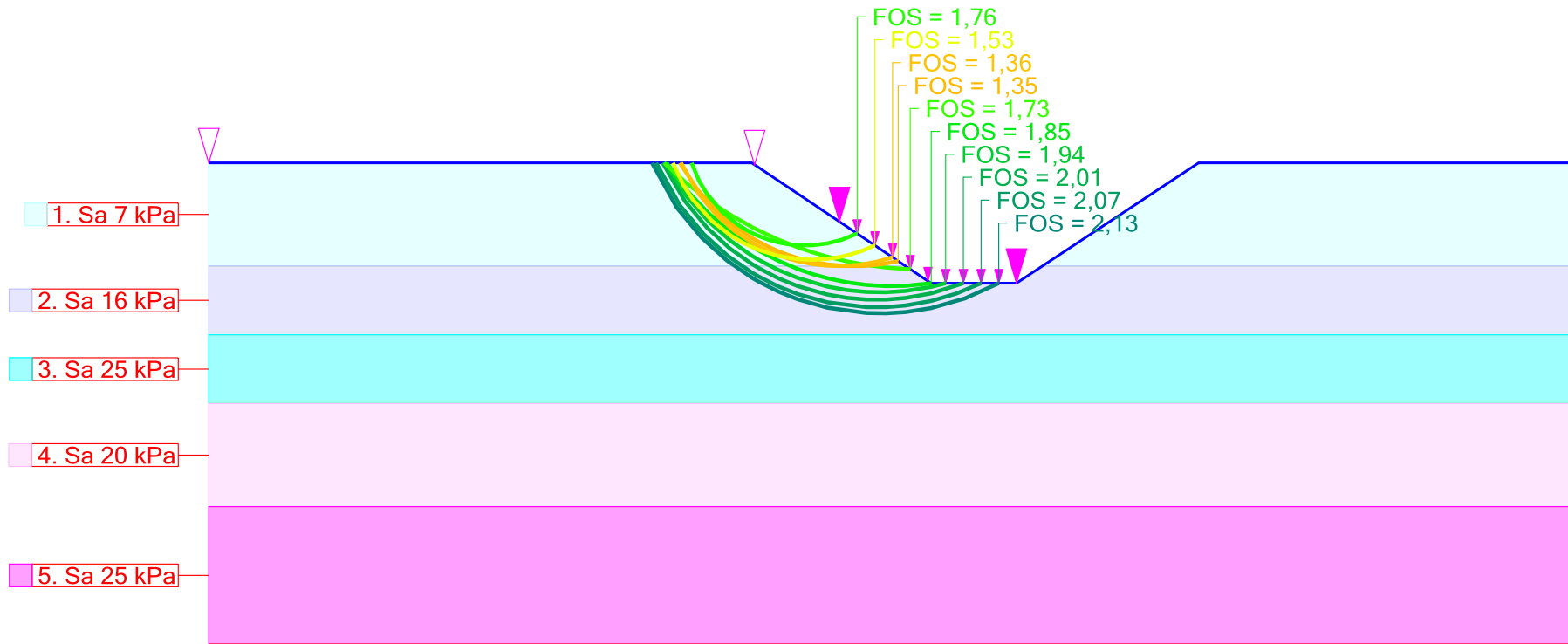
2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 0,95



Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ ' [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ ' [°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 3,5 m, pituus 10 m, luiska 1:1,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy



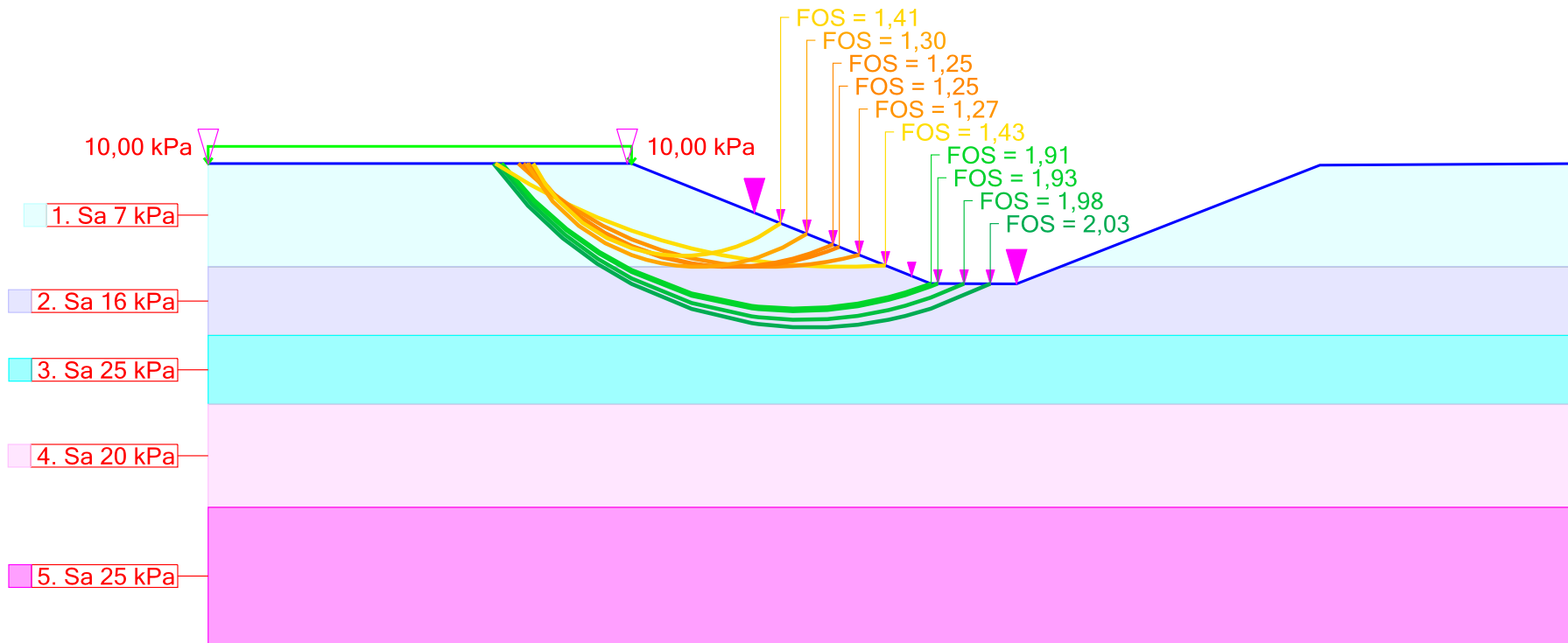
Ei kuormaa

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiilitetti

Syvyys 3,5 m, pituus 10 m, luiska 1:1,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ [°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

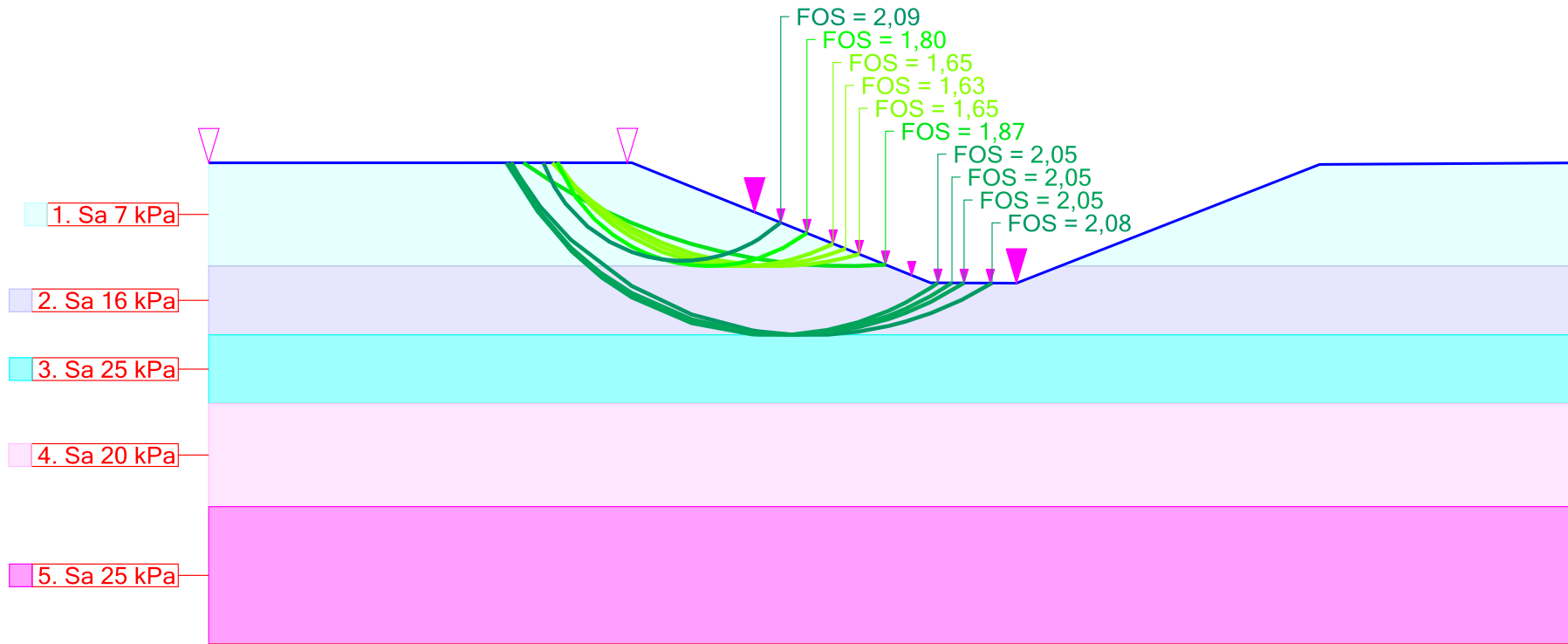
2D Bishop's Simplified Min.FOS = 1,25



Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ ' [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ ' [°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 3,5 m, pituus 10 m, luiska 1:2,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy



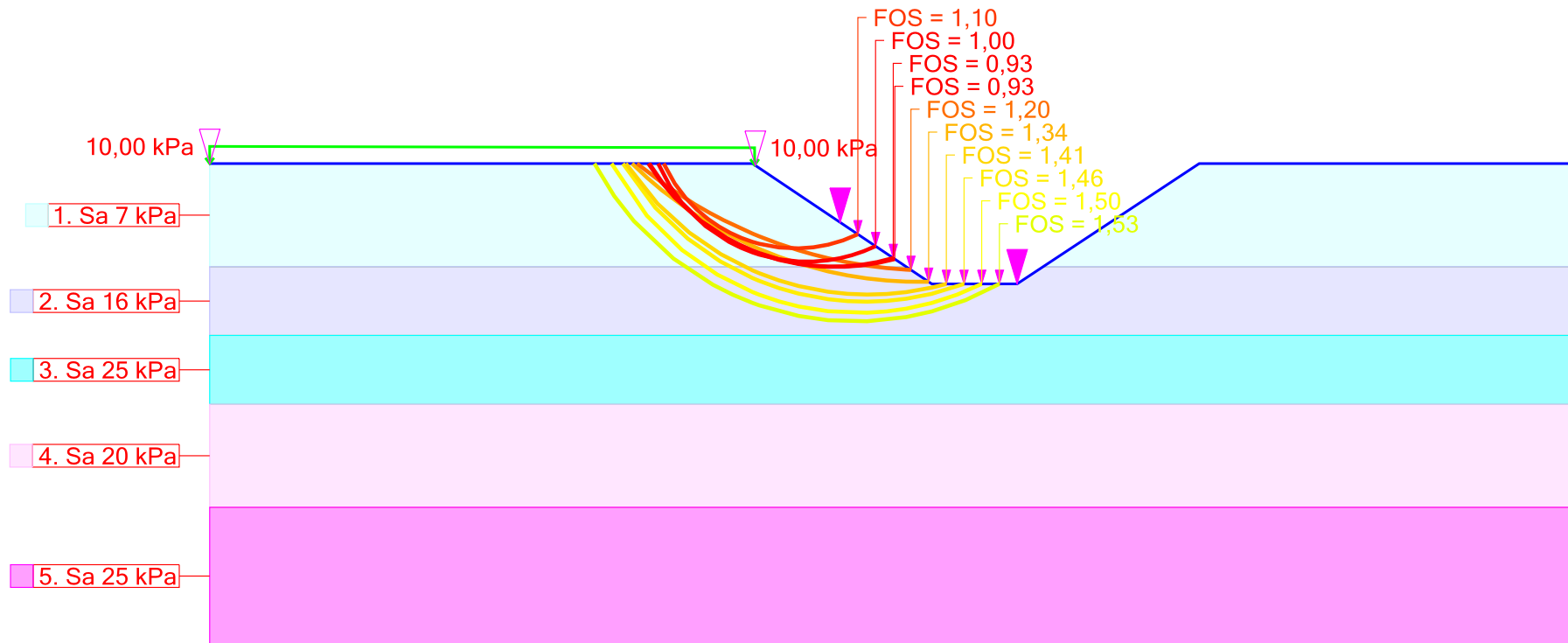
Ei kuormaa

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 3,5 m, pituus 10 m, luiska 1:2,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ [°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

2D Bishop's Simplified Min.FOS = 0,93

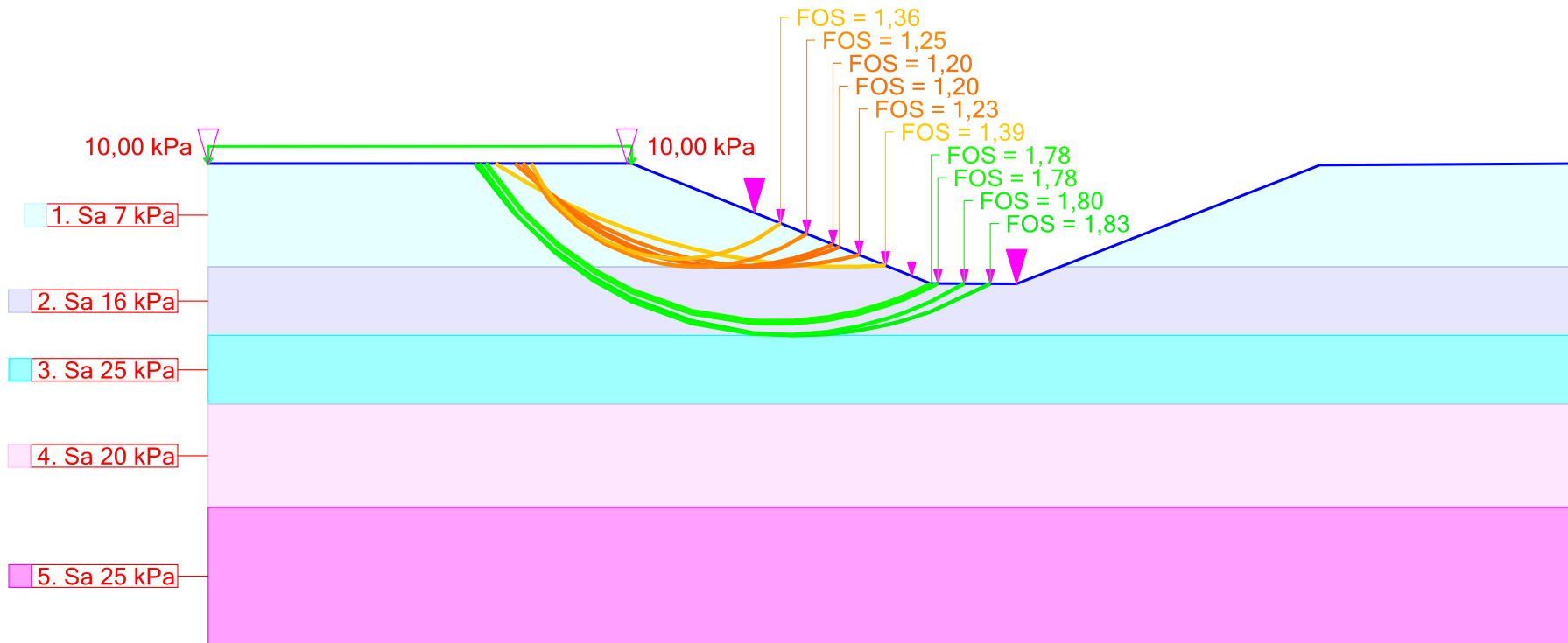


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ ' [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ ' [°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 3,5 m, pituus 20 m, luiska 1:1,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

2D Bishop's Simplified Min.FOS = 1,20

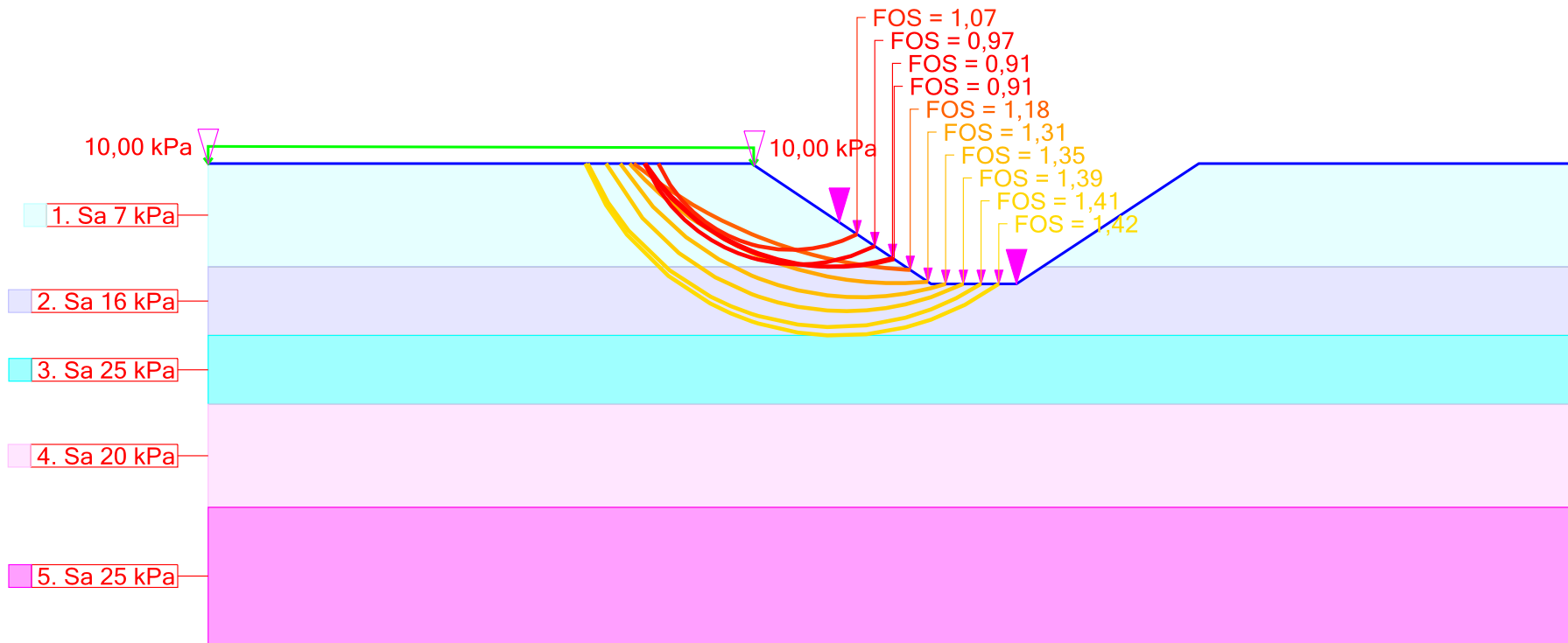


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ' [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi'$ [°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 3,5 m, pituus 20 m, luiska 1:2,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

2D Bishop's Simplified
Min.FOS = 0,91

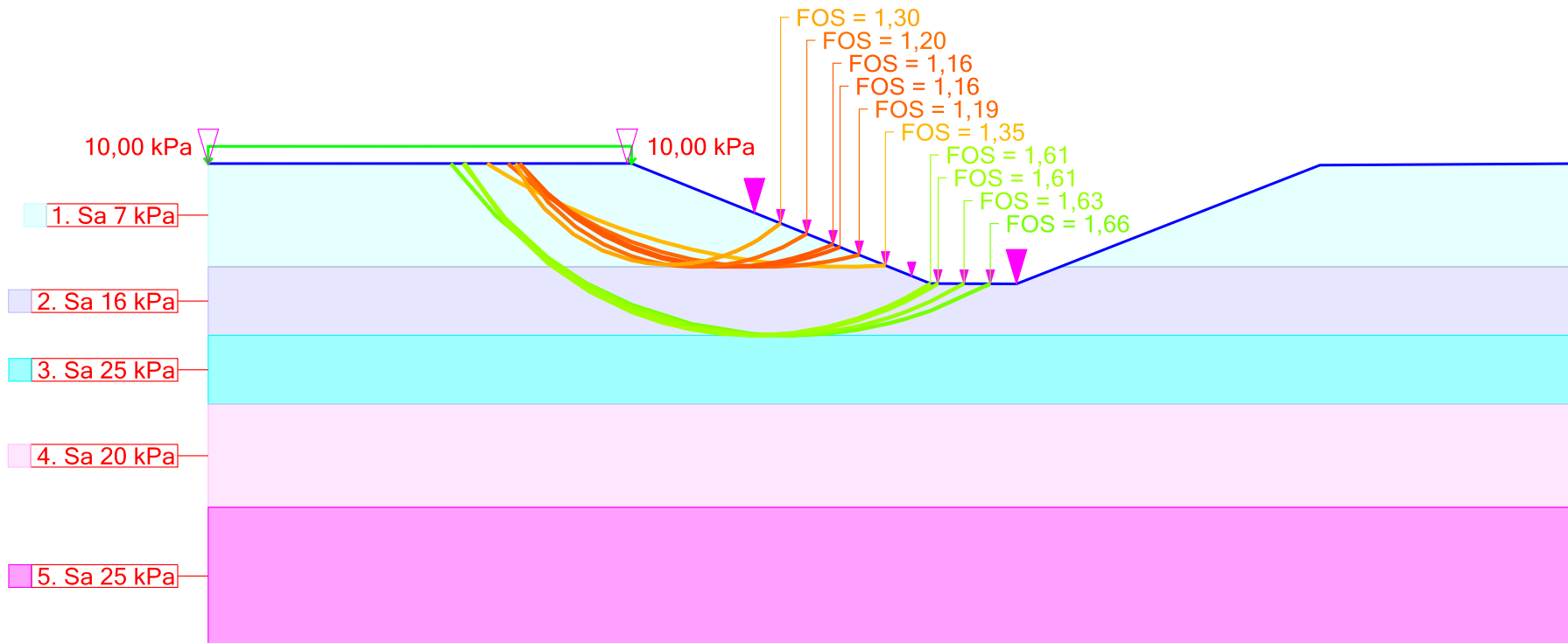


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ '[°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ '[°/m]	Material Type	ru	ruq
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 3,5 m, pituus ääretön, luiska 1:1,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

2D Bishop's Simplified Min.FOS = 1,16

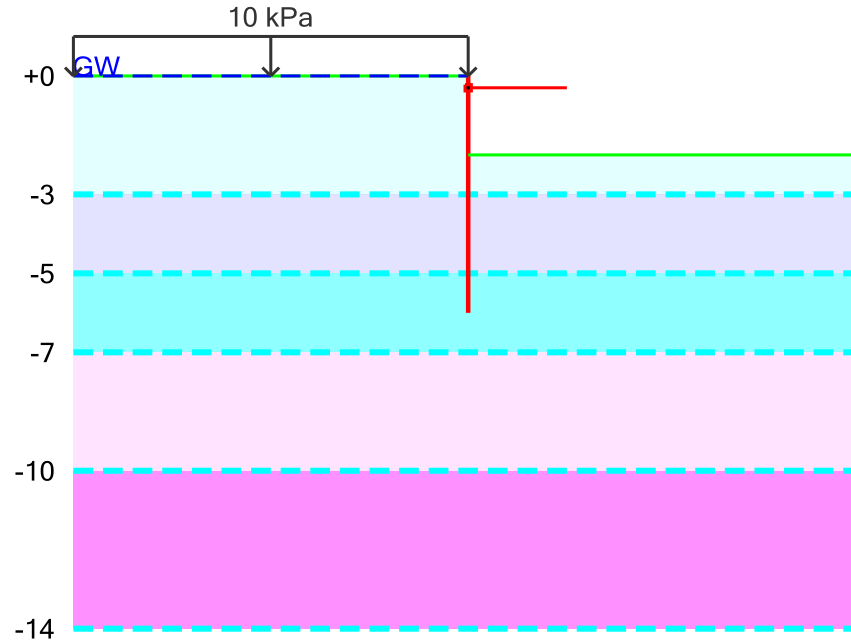


Id	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ' [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi'$ [°/m]	Material Type	r_u	r_{uq}
1	Sa 7 kPa	13,00	-999,00	7,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
2	Sa 16 kPa	14,00	-999,00	16,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
3	Sa 25 kPa	14,00	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
4	Sa 20 kPa	14,00	-999,00	20,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00
5	Sa 25 kPa	14,50	-999,00	25,00	0,00	0,00	0,00	Independent on depth	0,00	0,00

Ins.työ Kujansuu/Kaivannon stabiliteetti

Syvyys 3,5 m, pituus ääretön, luiska 1:2,5
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

Result	Value
Anchor 1: Max. force [kN]	260
Max. bending moment [kNm]	57,5
Max. horizontal displacement [mm]	113,4



Wall Type	Sheetpile
Name	PU 12
Manufacturer	Arcelor
Cross Section Area [m ²]	0,014
Calculation Width [m]	1
Inertia Modulus [m ⁴]	0,000216
Section Modulus [m ³]	0,0012
Elastic Modulus [kPa]	210000000
Flexural Stiffness [kNm ²]	45360
Axial Stiffness [kNm ² /m ²]	2940000

Name	A [mm ²]	L [m]	α [°]	h [m]	F [kN]	Elastic Modulus [kPa]	Overdig [m]	Horizontal distribution [m]
Palkki HE200B	7808	2,5	-180	0,3	0	210000000	0,2	6

Id	Layer Name	z [m]	h [m]	γ [kN/m ³]	Φ [°]	c [kPa]	Δc [kPa/m]	K0ud	d/ud	Material Model	δ_{ya}	δ_{yp}	ξ_{50a}	ξ_{50p}	m	n	k
1.	Sa 7 kPa	0	3	13	0	7	0	0,9	Undrained	MCM					10	-0,5	0
2.	Sa 16 kPa	-3	2	14	0	16	0	0,9	Undrained	MCM					15	-0,3	0
3.	Sa 25 kPa	-5	2	14	0	25	0	0,9	Undrained	MCM					25	-0,1	0
4.	Sa 20 kPa	-7	3	14	0	20	0	0,9	Undrained	MCM					25	-0,1	0
5.	Sa 25 kPa	-10	4	14,5	0	25	0	0,9	Undrained	MCM					30	0	0

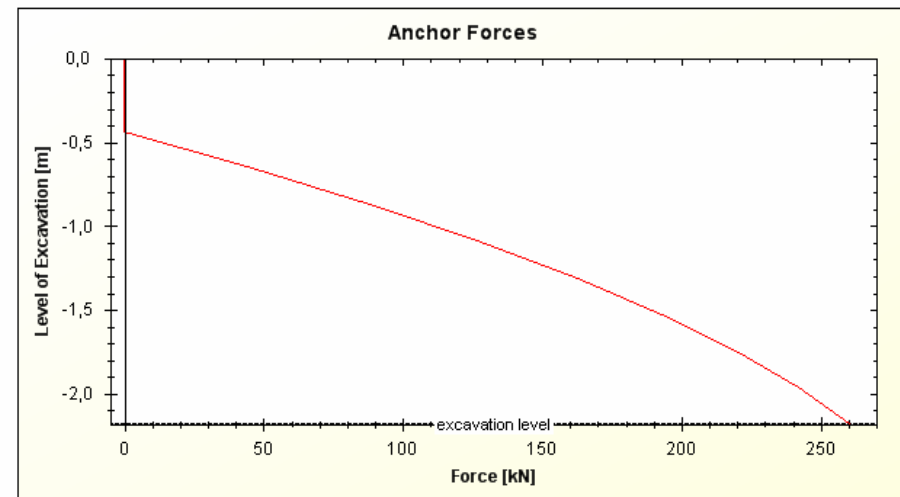
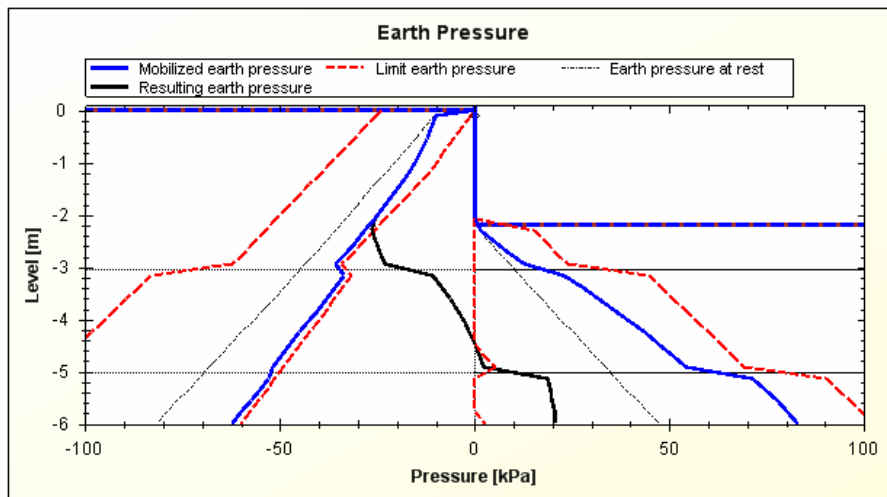
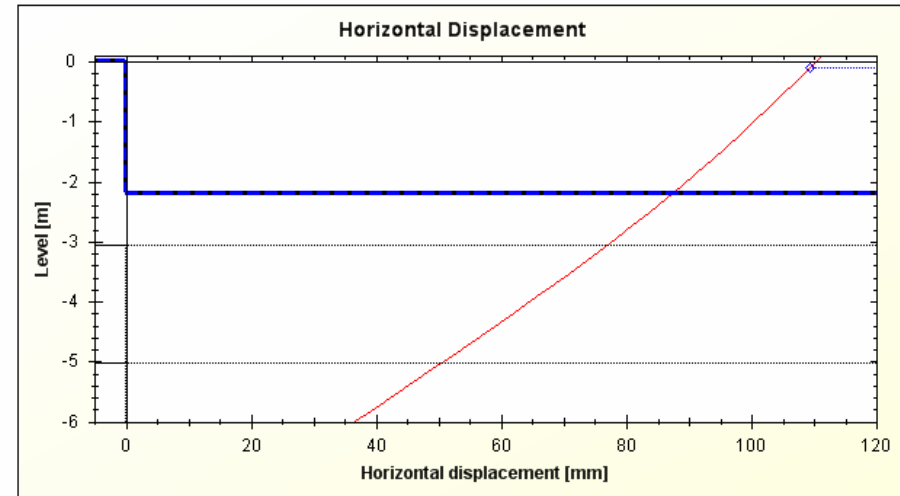
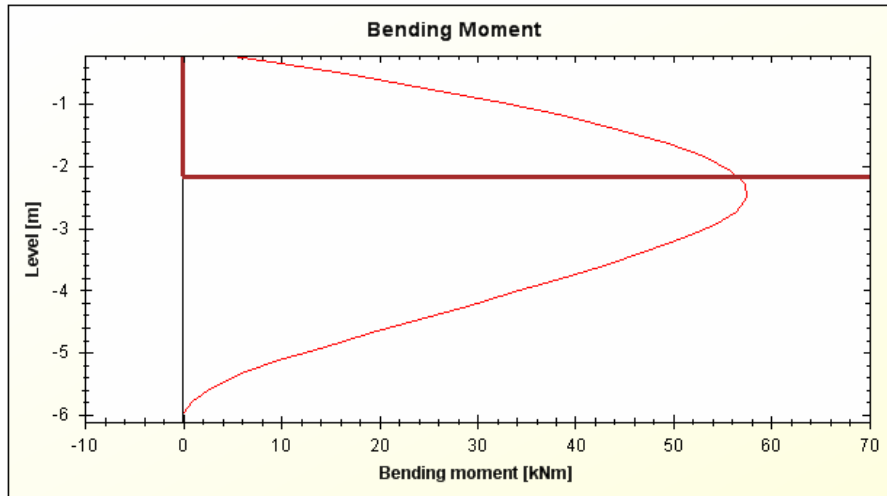
Ins.työ Kujansuu/Teräsponttiseinän mitoitus
Kaivannon syvyys 2 m, pontti 6 m
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy
Novapoint GeoCalc 2.0.1 (08.04.2009 10:08)

KAIVANTO 2,0 m

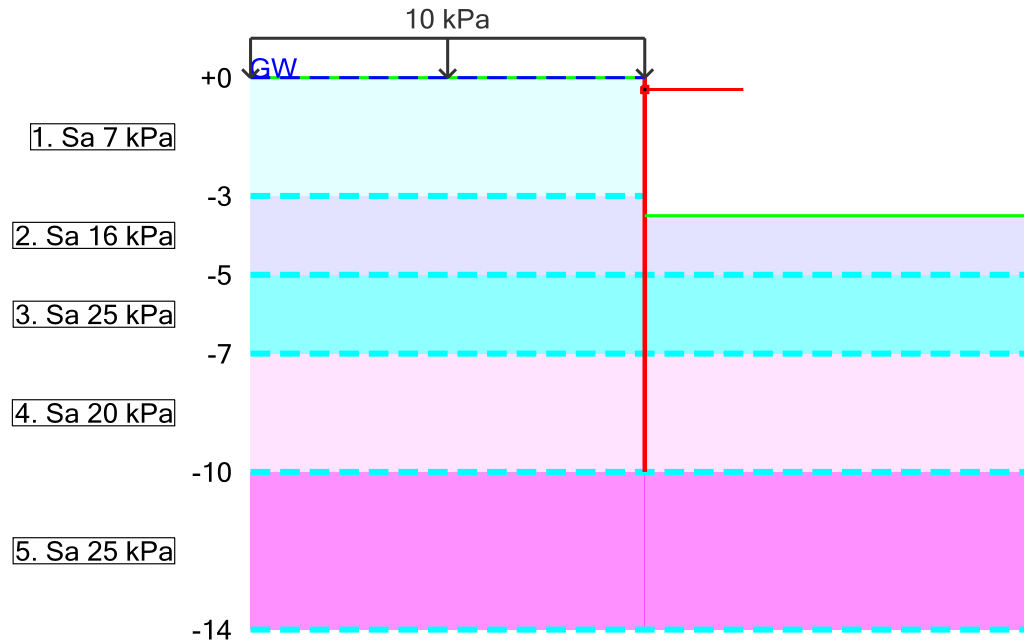
Calculation Graphs Excavation Level -2,18 m

Ins.työ Kujansuu/Teräsponttiseinän mitoitus

Kaivannon syvyys 2 m, pontti 6 m
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy
Novapoint GeoCalc 2.0.1 (08.04.2009 10:56)



Result	Value
Anchor 1: Max. force [kN]	254,7
Max. bending moment [kNm]	173,3
Max. horizontal displacement [mm]	78,5



Wall Type	Sheetpile
Name	PU 12
Manufacturer	Arcelor
Cross Section Area [m ²]	0,014
Calculation Width [m]	1
Inertia Modulus [m ⁴]	0,000216
Section Modulus [m ³]	0,0012
Elastic Modulus [kPa]	210000000
Flexural Stiffness [kNm ²]	45360
Axial Stiffness [kNm ² /m ²]	2940000

Name	A [mm ²]	L [m]	α [°]	h [m]	F [kN]	Elastic Modulus [kPa]	Overdig [m]	Horizontal distribution [m]
Palkki HE200B	7808	2,5	-180	0,3	0	210000000	0,2	3

Id	Layer Name	z [m]	h [m]	γ [kN/m ³]	Φ [°]	c [kPa]	Δc [kPa/m]	K0ud	d/ud	Material Model	δ_{ya}	δ_{yp}	ξ_{50a}	ξ_{50p}	m	n	k
1.	Sa 7 kPa	0	3	13	0	7	0	0,9	Undrained	MCM					10	-0,5	0
2.	Sa 16 kPa	-3	2	14	0	16	0	0,9	Undrained	MCM					15	-0,3	0
3.	Sa 25 kPa	-5	2	14	0	25	0	0,9	Undrained	MCM					25	-0,1	0
4.	Sa 20 kPa	-7	3	14	0	20	0	0,9	Undrained	MCM					25	-0,1	0
5.	Sa 25 kPa	-10	4	14,5	0	25	0	0,9	Undrained	MCM					30	0	0

Ins.työ Kujansuu/Teräspontiseinän mitoitus

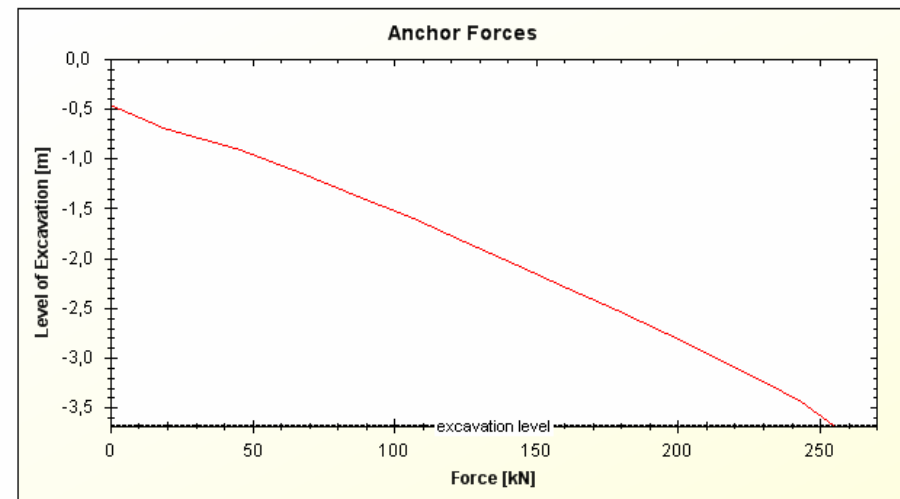
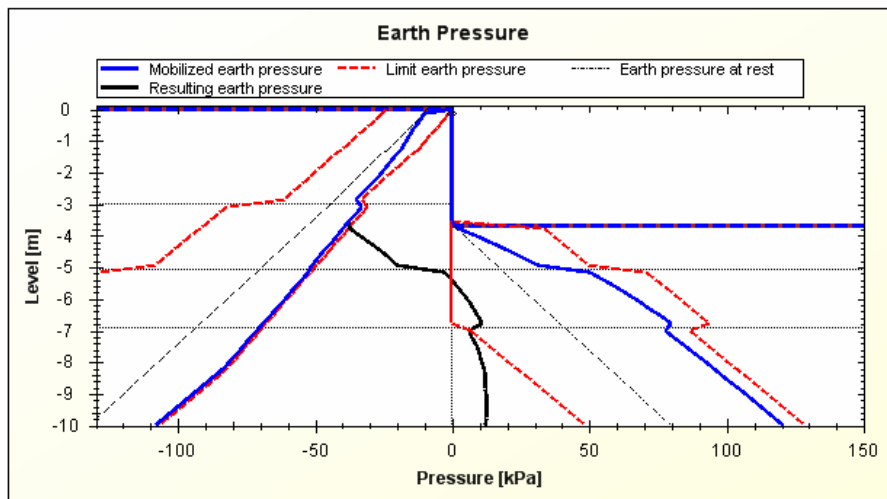
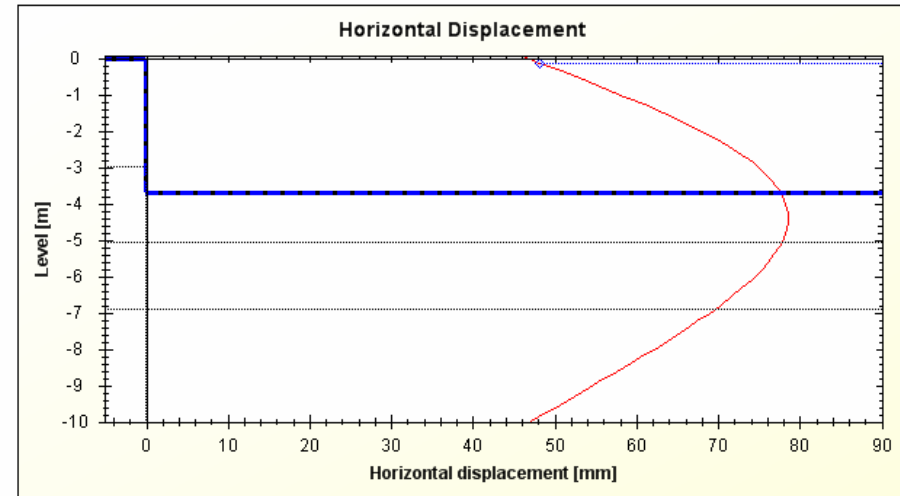
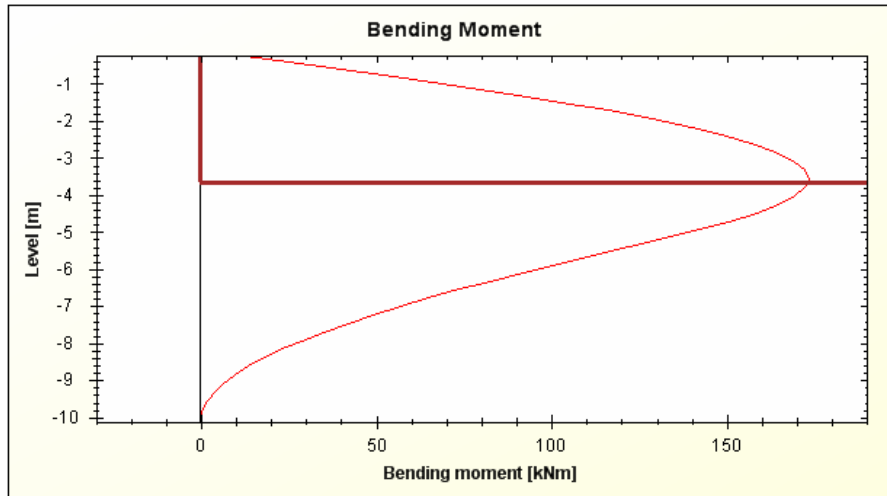
Kaivannon syvyys 3,5 m, pontti 10 m
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy

KAIVANTO 3,5 m

Calculation Graphs Excavation Level -3,68 m

Ins.työ Kujansuu/Teräspontiseinän mitoitus

Kaivannon syvyys 3,5 m, pontti 10 m
DI Tommi Hakanen/Skanska Infra Oy
Novapoint GeoCalc 2.0.1 (08.04.2009 10:53)

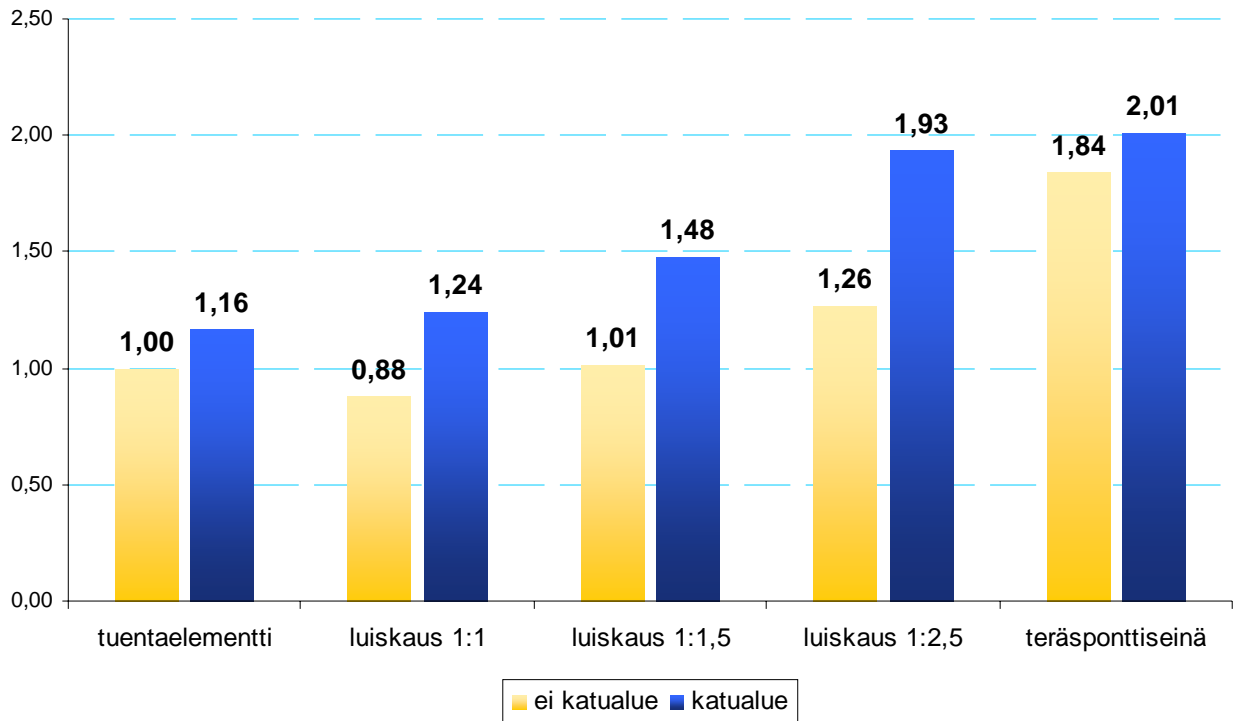


Suhteelliset kustannukset

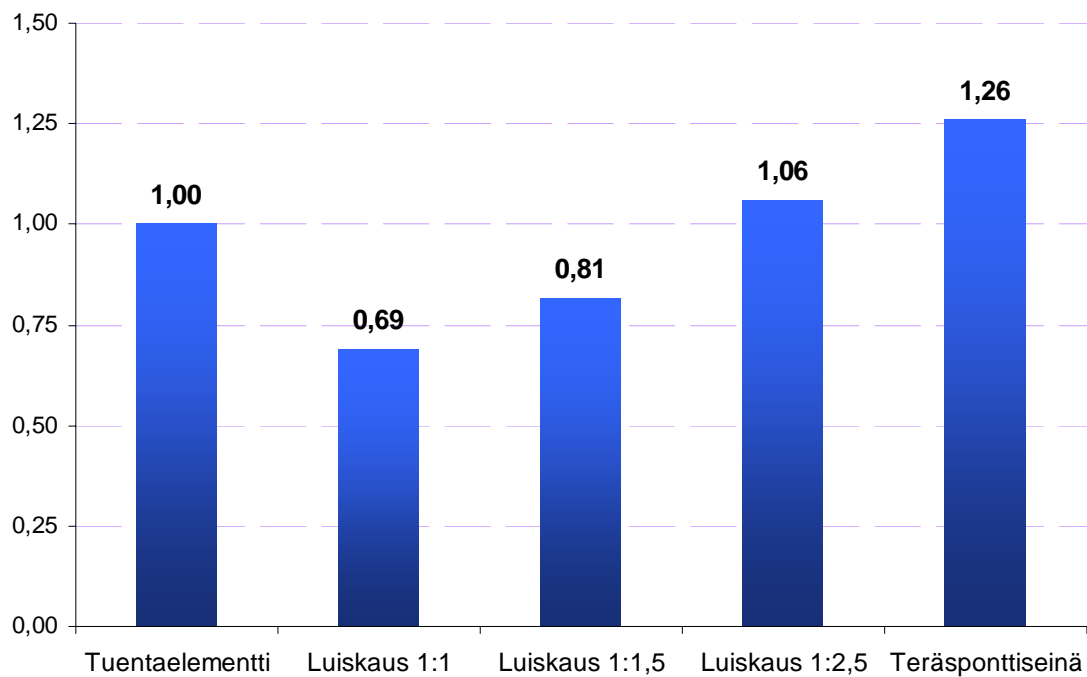
Sisällysluettelo:

Yhteenvedot	
Matalien kaivantojen suhteelliset kustannukset	3
Matalien kaivantojen suhteelliset työajat	3
Syvien kaivantojen suhteelliset kustannukset	4
Syvien kaivantojen suhteelliset työajat	4
Kaivu- ja täyttötöihin kuluvat suhteelliset ajat eri menetelmien kesken	5

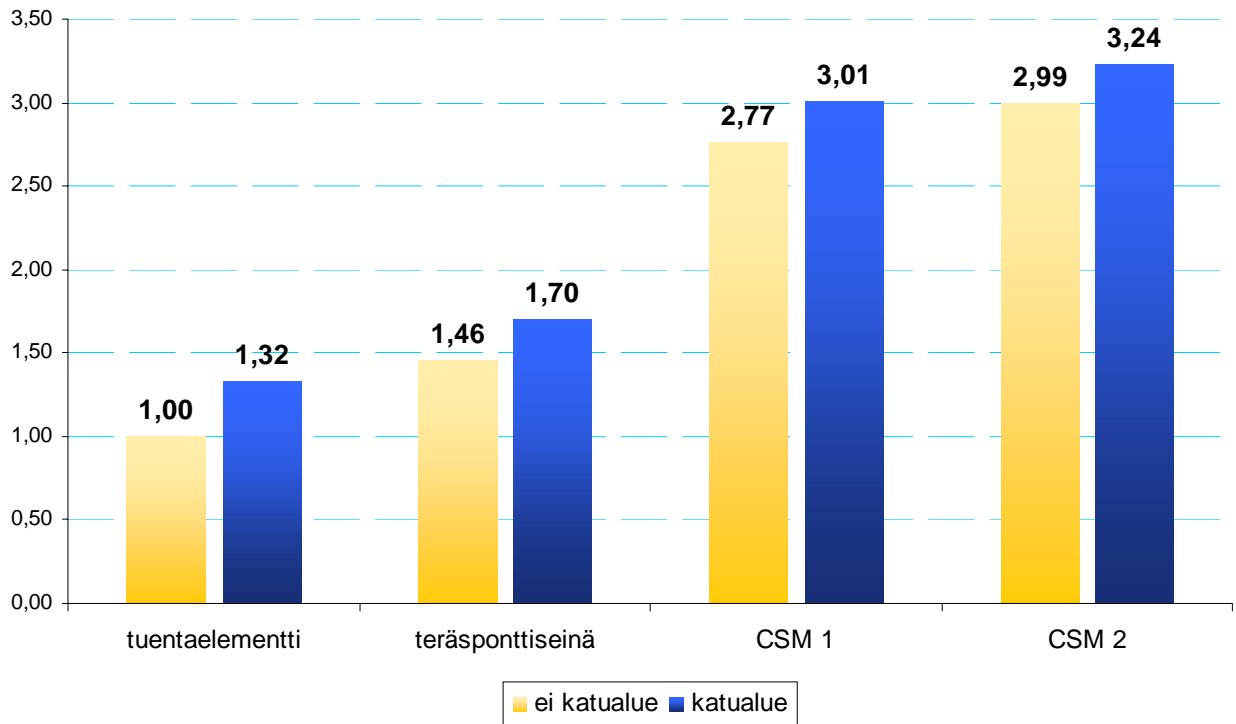
Matalien kaivantojen suhteelliset kustannukset



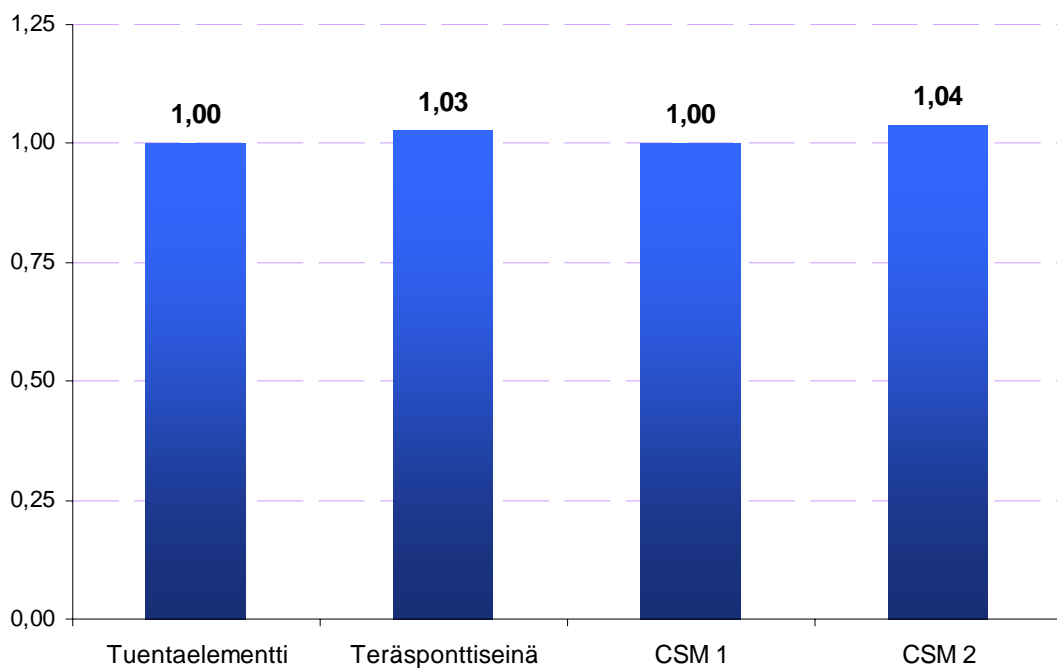
Matalien kaivantojen suhteelliset työajat



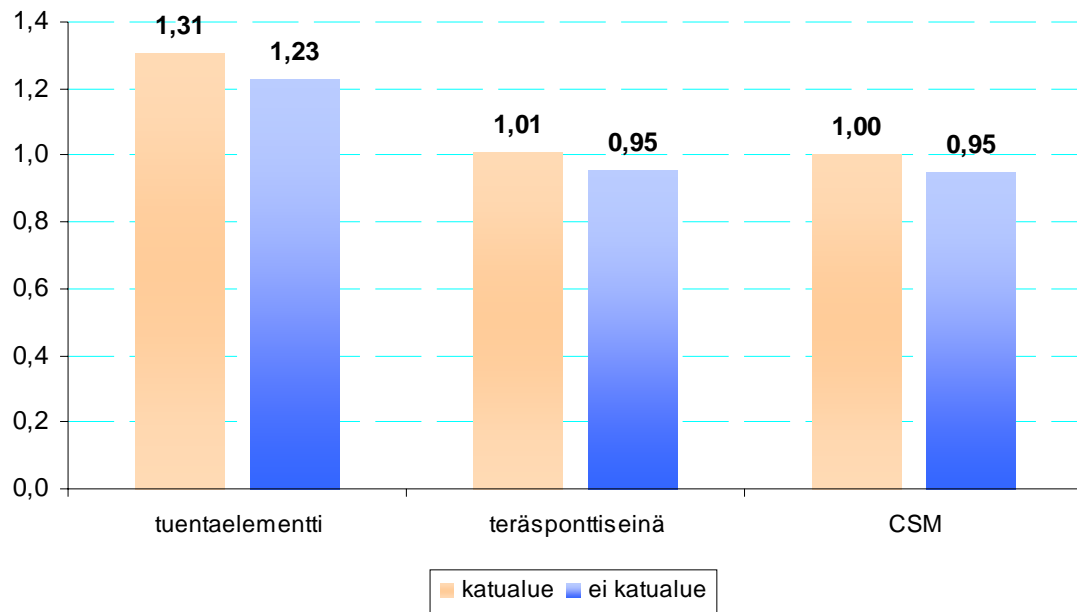
Syvien kaivantojen suhteelliset kustannukset



Syvien kaivantojen suhteelliset työajat



Putkilinjan tekemiseen kuluvat suhteelliset ajat eri menetelmien kesken



Pohjannousulaskelmat

Sisällysluettelo:

Hydraulinen pohjannousu	3
Leikkausjännitysten aiheuttama pohjannousu	4

Hydraulisen pohjannousun tutkiminen RIL 194-1992 mukaisesti koheesiomaassa

$$F_s = \frac{(\gamma - \gamma_w) \times h_s + \frac{2 \times s_a \times D + 2 \times s_u \times (h_s - D)}{B}}{\gamma_w \times H_w} = 7,071429 \text{ ok}$$

$$s_a = \beta \times s_u = 0$$

$h_s = 16,5$ etäisyys kaivannon pohjalta vettäläpäisevään kerrokseen, m

$s_a = 0$ adheesio maan ja pontinvälillä, kN/m^2

$s_u = 15$ maan suljettu leikkauslujuus, kN/m^2

$D = 0$ pontin lyöntisyvyys kaivannon pohjan alapuolelle, m

$B = 2,5$ kaivannon leveys, m

$H_w = 3,5$ etäisyys pohjavedenpinnasta kaivannon pohjaan, m

$\beta = 0$ pontin ja maan välisen adheesio mobilisointisaste

$\gamma = 13$ maan tilavuuspaino, kN/m^3

$\gamma_w = 10$ veden tilavuuspaino, kN/m^3

Juha Kujansuu

1.2.2009

Leikkausjännitysten aiheuttaman pohjannousun tutkiminen RIL 194-1992 mukaisesti koheesiomaassa

$$F_s = \frac{N_{cb}}{N_b} = 1,584 \text{ ok}$$

$$N_b = \frac{\gamma \times H + q}{s_u} = 4,17$$

$$F_s = \frac{N'_{cb}}{N'_b} = 1,75 \text{ ok}$$

$$N'_b = \frac{\gamma \times (H + D) + q - \gamma \times D - \frac{2 \times s_a \times D}{B}}{s_u} = 4,17$$

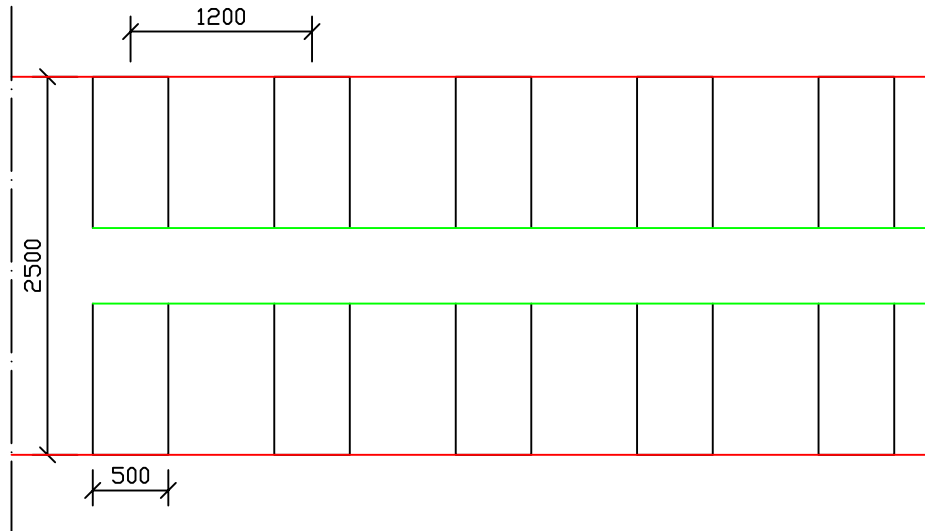
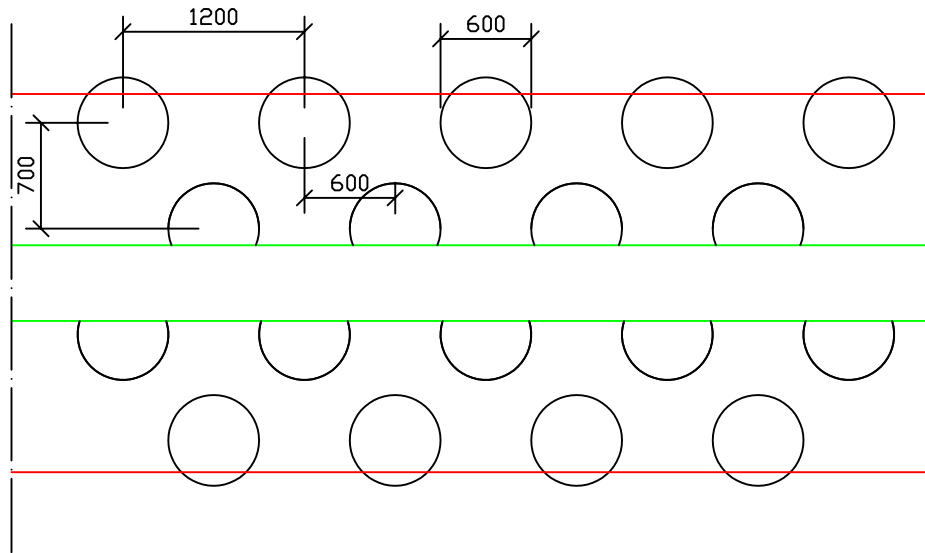
s_a	=	0	adheesio maan ja pontinvälillä, kN/m^2
s_u	=	15	maan suljettu leikkauslujuus, kN/m^2
D	=	0	pontin lyöntisyvyys kaivannon pohjan alapuolelle, m
B	=	2,5	kaivannon leveys, m
H_w	=	3,5	etäisyys pohjavedenpinnasta kaivannon pohjaan, m
β	=	0	pontin ja maan välisen adheesio mobilisointumaste
γ	=	15	maan tilavuuspaino, kN/m^3
H	=	3,5	kaivannon syvyys, m
q	=	10	maanpäällinen kuorma, kN/m^2
N_{cb}	=	6,6	kriittinen vakavuusluku, kun $D = 0$
N_{cb}'	=	7,3	kaivannon kriittinen vakavuusluku, kun pontti on lyöty kaivannon pohjan alapuolelle, -
N_b'	=	4,17	kaivannon vakavuusluku, kun pontti on lyöty kaivannon pohjan alapuolelle, -
N_b	=	4,17	kaivannon todellinen vakavuusluku, kun $D = 0$

Juha Kujansuu
1.2.2009

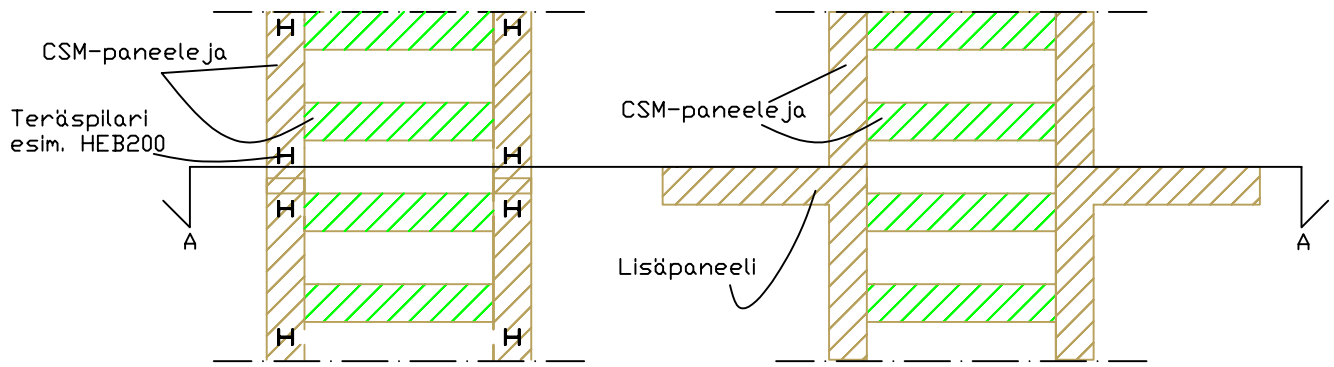
Pohjanvahvistus ja CSM-paneelien tuentamahdollisuudet

Sisällysluettelo:

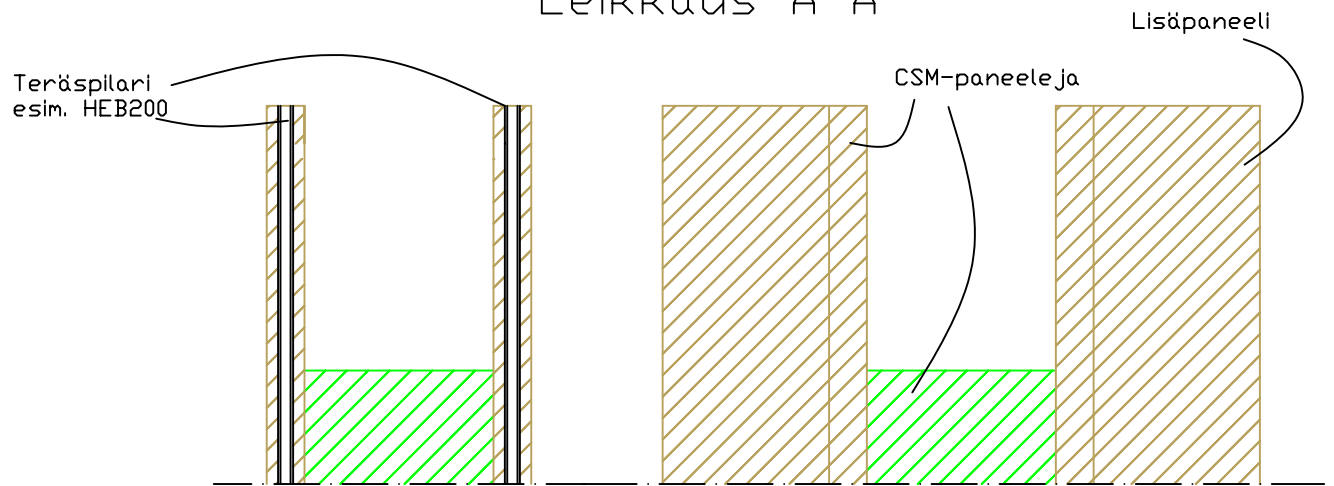
Pohjanvahvistus putkilinjojen alla	3
CSM-paneelien tuentamahdollisuudet	4



Kaupunginosa/Kylä Kortteli/Tila	Tontti/Nro	Viranomaisten merkintöjä	
Rakennuksen numero/Rakennuksien numerot/Rakennusteunnus/Rakennustunnukset			
Rakennustoimenpide Pohjanvahvistus	Piirustuslaji	Juokseva numero	
Rakennuskohde Opinnäytetyö "Putkikaivantojen tuentamenetelmien vertailu"	Piirrustuksen sisältö Putkiliinjoiden vahvistus	Mittakaava 1:50	
Suunnittelijan yhteistiedot:yritys, osoite ja puhelinnumero	Työnumero	Piirrustuksen tunnus	Muutos
Vastuullinen suunnittelija: nimi, tutkinto, allekirjoitus ja päiväys Juha Kujansuu, 20.3.2009	Suunnitteluala	Tiedosto	



Leikkaus A-A



Kaupunginosa/Kylä Kortteli/Tila	Tontti/Nro	Viranomaisten merkintöjä	
Rakennuksen numero/Rakennuksien numerot/Rakennusteunnus/Rakennustunnukset			
Rakennustoimenpide Pohjanvahvistus ja tuenta	Piirrustuslaji	Juokseva numero	
Rakennuskohde Opinnäytetyö "Putkikaivantojen tuentamenetelmien teknistaloudellinen vertailu"	Piirrustuksen sisältö CSM-paneelit	Mittakaava 1:50	
Suunnittelijan yhteistiedot: yritys, osoite ja puhelinnumero	Työnumero	Piirrustuksen tunnus	Muutos
Vastuullinen suunnittelija: nimi, tutkinto, allekirjoitus ja päiväys Juha Kujansuu, 20.3.2009	Suunnitteluala	Tiedosto	

CSM-menetelmän, naulauksen ja teräsponttiseinän palkkien laskennat

Sisällysluettelo:

CSM 1	3
CSM 2	4
Naulaus	5
Teräsponttiseinän laskelmat (Winstatikin lopputulokset)	6

CSM-menetelmän likimääräinen stabiliteettilaskelma

CSM 1 = paneelit terästetään

Kokeillaan HEB 200 S355, tällöin parametrit:

$$\begin{aligned} W &= 570 \text{ cm}^3/\text{m} \\ W &= 570000 \text{ mm}^3/\text{m} \end{aligned}$$

pohjaolosuhteet:

tilavuuspaino = 13 kN/m³
saven leikkauslujuus = 7 kPa

aktiivisen maanpaineen resultantti, kuormitusleveyden ollessa 2,5:

$$137,8125 \text{ kN}$$

taivutusmomentti syvyydellä 3,5 m:

$$\begin{aligned} &160,78125 \text{ kNm} \\ &160781250 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

vaadittava W

$$452905 \text{ mm}^3$$

Käyttöaste:

$$79 \%$$

Lopputulokset:

Ok!

CSM-menetelmän likimääräinen stabiiliteettilaskelma

CSM 2 = paneelit terästetään

Alkutiedot:

seinämän poikkitukiväli = 6
paneelin leveys = 0,5
paneelin pituus = 2,4

Paneelien I

I seinämä	=	0,0625	m ⁴
I tuki	=	0,576	m ⁴
I yhteensä	=	0,6385	m ⁴

Paneelin painopiste

0,66 m

Paneelin W

0,96 m³
961182796 mm³

pohjaolosuhteet:

tilavuuspaino = 13 kN/m³
saven leikkauslujuus = 7 kPa

aktiivisen maanpaineen resultantti, kuormitusleveyden ollessa 2,5:

330,75 kN

taivutusmomentti syvyydellä 3,5 m:

385,875 kNm
385875000 Nmm

Rasitus

0,40 N / mm²
401 kPa

Sallittu rasitus

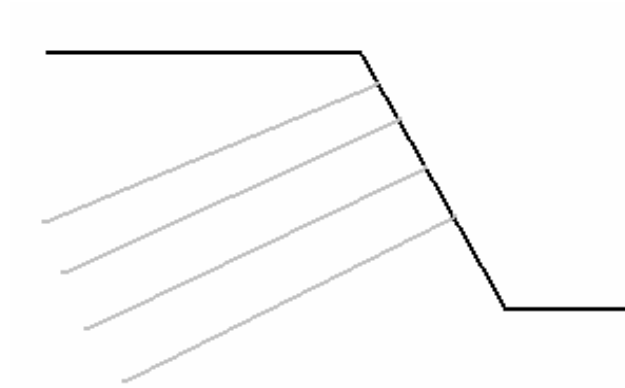
1000 kPa

Lopputulokset:

Ok!

Naulauksen stabiliteetin laskeminen **LIKIMÄÄRÄISESTI**

Kaivannon syvyys	=	2 m
tilavuuspaino	=	13 kN/m ³
koheesio	=	7 Kpa
lisäkuorma	=	10 Kpa
teräksen pituus	=	6 m
halkaisija	=	0,032 m
kokonaisvarmuus	=	1,5
Maanpaineen x_0	=	1,1 m
Maanpaine resultantti	=	31 kN
Yhden terästangon max. ankkurointivoima	=	4,2 kN
Metrin kaistalla olevien vahvikkeiden määrä	=	11 kpl



"Putkikaivantojen tuentamenetelmien teknistaloudellinen vertailu"

Juha Kujansuu

1.4.2009

Palkkien stabiliteetin tarkistaminen

k3000 HEB 200 S355J2G3

Kestävyystarkistus

Taivutus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$M_x/M_{Ry} = 129.8/220.4 = 0.59 < 1 \quad \text{Ok !}$$

Leikkaus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$V_y/V_{Ry} = 259.5/354.6 = 0.73 < 1 \quad \text{Ok !}$$

Stabiliteettitarkistus

Kiepahdus (Mit. leikkaus 3.00 m)

$$C \cdot M_x/M_{Rl} = 1.00 \cdot 129.8/224.1 = 0.58 < 1 \quad \text{Ok!}$$

k4000 HEB 200 S355J2G3

Kestävyystarkistus

Taivutus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$M_x/M_{Ry} = 230.7/207.7 = 1.11 > 1 \quad \text{!!} \quad \text{Ei käy}$$

Leikkaus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$V_y/V_{Ry} = 346.0/354.6 = 0.98 < 1 \quad \text{Ok!}$$

Stabiliteettitarkistus

Kiepahdus (Mit. leikkaus 4.00 m)

$$C \cdot M_x/M_{Rl} = 1.00 \cdot 230.7/219.5 = 1.05 > 1 \quad \text{!!} \quad \text{Ei käy!}$$

k6000 HEB 200 S355J2G3

Kestävyystarkistus

Leikkaus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$V_y/V_{Ry} = 519.0/354.6 = 1.46 > 1 \quad \text{!!} \quad \text{Ei käy!}$$

Stabiliteettitarkistus

Kiepahdus (Mit. leikkaus 6.00 m)

$$C \cdot M_x/M_{Rl} = 1.00 \cdot 519.0/210.1 = 2.47 > 1 \quad \text{!!} \quad \text{Ei käy!}$$

Juha Kujansuu
"Putkikaivantojen tuentamenetelmien teknistaloudellinen vertailu"
21.04.2009

Välitukien stabiiliteetin tarkastaminen

k3000

HEB 200 S355J2G3

Kestävyystarkistus

Puristus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$N/N_{R_V} = 260.0/1065.0 = 0.24 < 1.00 (\delta)$$

Puristus ja taivutus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$M_y/M_{R_V} + (1-(1-N/N_{R_V})/(1-\delta)) = 0.5/40.9 + (1-(1-260.0/1065.0)/(1-\delta))^2 = 0.23 < 1$$

Leikkaus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$V_y/V_{R_y} = 0.8/1278.0 = 0.00 < 0.25$$

Stabiiliteettitarkistus

Taivutusnurjahdus x-akselin ympäri (Mit. leikkaus 1.25 m)

$$N/N_{R_{Cx}} + C*M_y/M_{R_y} * K_e * 1/(1-N/N_R * N_{R_{Cx}}/N_{elx}) = 260.0/2742.5 + 1.00 * 0.5/85.2 * 1.02 * 1/(1-260.0/2771.8 * 2742.5/52469.4) = 0.10 < 1$$

Taivutusnurjahdus y-akselin ympäri (Mit. leikkaus 1.25 m)

$$N/N_{R_{Cy}} + C*M_y/M_{R_y} * 1/(1-N/N_R * N_{R_{Cy}}/N_{ely}) = 260.0/2310.5 + 1.00 * 0.5/85.2 * 1/(1-260.0/2771.8 * 2310.5/10378.6) = 0.12 < 1$$

k4000

HEB 200 S355J2G3

Kestävyystarkistus

Puristus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$N/N_{R_V} = 350.0/1065.0 = 0.33 < 1.00 (\delta)$$

Puristus ja taivutus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$M_y/M_{R_V} + (1-(1-N/N_{R_V})/(1-\delta)) = 0.5/40.9 + (1-(1-350.0/1065.0)/(1-\delta))^2 = 0.23 < 1$$

Leikkaus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$V_y/V_{R_y} = 0.8/1278.0 = 0.00 < 0.25$$

Stabiiliteettitarkistus

Taivutusnurjahdus x-akselin ympäri (Mit. leikkaus 1.25 m)

$$N/N_{R_{Cx}} + C*M_y/M_{R_y} * K_e * 1/(1-N/N_R * N_{R_{Cx}}/N_{elx}) = 350.0/2742.5 + 1.00 * 0.5/85.2 * 1.03 * 1/(1-350.0/2771.8 * 2742.5/52469.4) = 0.13 < 1$$

Taivutusnurjahdus y-akselin ympäri (Mit. leikkaus 1.25 m)

$$N/N_{R_{Cy}} + C*M_y/M_{R_y} * 1/(1-N/N_R * N_{R_{Cy}}/N_{ely}) = 350.0/2310.5 + 1.00 * 0.5/85.2 * 1/(1-350.0/2771.8 * 2310.5/10378.6) = 0.16 < 1$$

Juha Kujansuu

"Putkikaivantojen tuentamenetelmien teknistaloudellinen vertailu"

21.04.2009

k6000

HEB 200 S355J2G3

Kestävyystarkistus

Puristus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$N/N_{R_V} = 520.0/1065.0 = 0.49 < 1.00 (\delta)$$

Puristus ja taivutus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$M_y/M_{R_V} + (1 - (1 - N/N_{R_V})/(1 - \delta)) = 0.5/40.9 + (1 - (1 - 520.0/1065.0)/(1 - \delta))^2 = 0.23 < 1$$

Leikkaus (Mit. leikkaus 0.00 m)

$$V_y/V_{R_y} = 0.8/1278.0 = 0.00 < 0.25$$

Stabiileettitarkistus

Taivutusnurjahdus x-akselin ympäri (Mit. leikkaus 1.25 m)

$$N/N_{R_{Cx}} + C * M_y/M_{R_y} * K_e * 1 / (1 - N/N_R * N_{R_{Cx}}/N_{elx}) = 520.0/2742.5 + 1.00 * 0.5/85.2 * 1.04 * 1 / (1 - 520.0/2771.8 * 2742.5/52469.4) = 0.20 < 1$$

Taivutusnurjahdus y-akselin ympäri (Mit. leikkaus 1.25 m)

$$N/N_{R_{Cy}} + C * M_y/M_{R_y} * 1 / (1 - N/N_R * N_{R_{Cy}}/N_{ely}) = 520.0/2310.5 + 1.00 * 0.5/85.2 * 1 / (1 - 520.0/2771.8 * 2310.5/10378.6) = 0.23 < 1$$