

Väinö Löytynoja

## **SILLAN TUKITELINEIDEN PERUSTAMINEN**

# **SILLAN TUKITELINEIDEN PERUSTAMINEN**

Väinö Löytynoja  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, yhdyskuntatekniikka

---

Tekijä: Väinö Löytynoja  
Opinnäytetyön nimi: Sillan tukitelineiden perustaminen  
Työn ohjaaja: Jarmo Erho  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018  
Sivumäärä: 34

---

Tukitelineet kantavat betonista valettavien siltojen muotteihin kohdistuvat kuormat. Opinnäytetyössä perehdyttiin sillan tukitelineiden perustamiseen. Tavoitteena oli esitellä tukitelineiden perustaminen maanvaraisesti havainnollistamalla töiden etenemistä työmaalla. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, kuinka rakentamisessa kohdatut ongelmat ratkaistiin.

Opinnäytetyössä perehdyttiin aluksi sillan tukitelineiden erilaisiin perustusmenetelmiin. Työssä kävi ilmi, että itse sillan perustamistapa ja siltapaikan maaperän olosuhteet vaikuttavat tukitelineiden perustamistavan valintaan. Lisäksi selvitettiin pohjatutkimusmenetelmät, joilla saadaan selville maaperän olosuhteet, ja se, mitä tarkoittaa maan häiriintyminen. Tukitelineiden perustaminen maanvaraisesti esiteltiin käytännön esimerkillä työmaalta. Kempeleessä valtatie 4 Zatel-  
liitin eritasoliittymätyömaalla rakennettiin maanvaraiset tukitelineperustukset kesän 2017 aikana. Moottoritien liikenne ohjattiin kiertotielle siltapaikan kohdalta. Maan häiriintyminen aiheutti pieniä ongelmia töiden edetessä.

Kempeleen siltatyömaalla tukitelineperustusten häiriintynyt pohjamaa asettui nopeasti ja perustusten kantavuudet täyttivät asetetut ehdot. Sillat valettiin onnistuneesti syksyn 2017 aikana ja tukitelineperustusten kanssa ei ollut ongelmia. Opinnäytetyössä kävi ilmi, että tulevaisuudessa olisi hyvä tutkia mahdollisuutta geoverkon käyttämiselle tukitelineperustuksissa. Geoverkkoa voisi käyttää maanvaraisissa tukitelineperustuksissa arinan ja pohjamaan välissä suodatinkankaan sijasta. Näin voitaisiin ehkäistä pohjamaan häiriintymistä, koska geoverkko estää murskeen sivuttaissiirtymiä ja parantaa kantavuutta.

---

Asiasanat: silta, perustus, tukiteline

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää työmaapäällikkö Marko Leppästä sekä kaikkia muita Zateeliitin työmaalla työskennelleitä hienosta kesästä 2017. Kiitän myös lehtori Jarmo Erhoa opinnäytetyön ohjaamisesta.

Väinö Löytynoja

15.3.2018

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
1 JOHDANTO	6
2 SILLAN PERUSTUKSET	7
2.1 Maan- ja kallionvaraiset perustukset	7
2.2 Paaluille perustaminen	8
2.3 Geotekniset luokat	8
2.4 Pohjatutkimukset	9
3 TUKITELINEIDEN PERUSTAMISTAVAT	11
3.1 Perustaminen maan varaan	12
3.1.1 Arinan varaan perustaminen	12
3.1.2 Kallion varaan perustaminen	14
3.2 Paaluille perustaminen	15
3.3 Kaivannon kuivatus	15
3.4 Maan häiriintyminen	17
4 TUKITELINEPERUSTUKSET ZATELLIITIN TYÖMAALLA	18
4.1 Siltapaikka	19
4.2 Tukitelineperustusten rakentaminen	20
4.2.1 Moottoritien rakenteiden purku	22
4.2.2 Perusmaan leikkaus	23
4.2.3 Murskeperustuksen rakentaminen	25
4.3 Perustusten purkaminen	29
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	31
LÄHTEET	33

# 1 JOHDANTO

Betoni on yleinen sillanrakennusmateriaali. Työmaalla betonista valettava silta vaatii valumuotit ja tarvittaessa niitä kannattelevat tukitelineet. Muottien ja telien kustannusosuus sillan kokonaiskustannuksista voi olla jopa 30 prosenttia. Tukitelineiden perustamistapa vaikuttaa paljon teliekustannuksiin. (1.)

Tukitelineiden perustamisella on suuri merkitys valutöiden onnistumisen kannalta. Perustuksiin liittyvät ongelmat ovat yleisiä syitä sillan tukitelineiden vaurioiden syntyyn johtaneissa tapauksissa. Tukitelineiden vaurioiden tai painumien korjaaminen on kallista, ja niiden syntyminen sillan valuvaiheessa voi vaikuttaa sillan lopullisiin ominaisuuksiin laadun, ulkonäön, pitkäaikaiskestävyyden ja kantavuuden osalta. On siis tärkeää varmistaa tukitelineperustusten toimivuus niiden suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. (1.)

Tämän työn tavoitteena on perehtyä siltojen tukitelineiden perustamiseen ja käydä läpi maanvaraisten tukitelineperustusten rakennustyön vaiheet. Rakennusvaiheisiin ja niihin liittyviin ongelmiin työssä perehdytään havainnoimalla ja kuvaamalla tukitelineperustusten rakentamista silloille S4 -itäinen ja -läntinen, jotka olivat osa valtatie 4 Zateeliitin eritasoliittymä-urakkaa. Kyseisellä työmaalla tukitelineperustukset rakennettiin maanvaraisesti kaivantoon murskeesta.

## 2 SILLAN PERUSTUKSET

Rakennettavan uuden sillan tulee kestää käytössä vaurioitumattomana vuosikymmeniä. Liikenteen määrä, kuormat ja nopeudet kasvavat ja ne edellyttävät sillan perustamista siten, että itse sillan päällysrakenteet kestävät. Sillan alusrakenteet ja päällysrakenteet muodostavat kokonaisuuden, joka toimii yhdessä kantaen sillan kuormitukset. Sillan perustamistapa pyritään valitsemaan niin, että estetään haitalliset painumat ja kiertymien syntyminen. Suurten painumien syntyminen ehkäistään perustamalla silta paaluille maanvaraisen perustamisen sijaan. (2.)

Sillan perustukset kuuluvat sillan alusrakenteisiin. Päällysrakenteen oma paino ja sillä oleva liikennekuorma, alusrakenteiden oma paino ja peruslaatan päälliset kuormitukset aiheuttavat alusrakenteille kuormituksia. Muita kuormituksia syntyy alusrakenteille sillan kansirakenteiden muodonmuutoksista ja kiertymistä, laakerointivoimien vaakakomponenteista, jään paineesta, maanpainekuormituksista ja mahdollisista siltaan osuvista jäiden tai liikenteen törmäyskuormista. (2.)

Sillan perustamistapaa valittaessa huomioidaan eri perustustapojen edut ja haitat teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Suuri tekijä perustustapaa valittaessa on siltapaikan geotekniset olosuhteet. Yleisimpiä siltojen perustustapoja ovat

- maanvarainen laattaperustus
- kallionvarainen laatta- tai anturaperustus
- lyöntipaalutettu laattaperustus
- suurpaalut ilman peruslaattaa tai peruslaattaan kiinnittyen
- erikoispaaluperustukset
- teräspaaluperustukset
- kasuuniperustukset ja uppokaivoperustukset. (2.)

### 2.1 Maan- ja kallionvaraiset perustukset

Maan- ja kallionvaraisissa perustuksissa sillan kuormat johdetaan perustusten kautta maapohjalle tai kalliolle. Maan varaan perustettaessa on tärkeää varmis-

taa geoteknisillä mitoituksilla, ettei maapohja murru eikä synny rakenteille haitallisia painumia. Routa ei saa vaurioittaa perustuksia. Silta tulee perustaa niin syvälle, ettei routa ulotu perustuksiin tai perustukset tulee lämpöeristää. Perustamissyvyys tai käytettävien eristeiden paksuus määräytyy paikkakuntaakohtaisen pakkasmäärän perusteella. Perustuksien ja maapohjan liukuminen toistensa suhteen ei tule olla mahdollista. (2.)

## **2.2 Paaluille perustaminen**

Sillan paaluperustuksia on paalujen toimintaperiaatteelta kahdenlaisia; tukipaaluja ja kitkapaaluja. Tukipaalut siirtävät sillan kuormitukset pääasiassa paalun kärjen kautta kallioon tai kantavaan maakerrokseen. Kitkapaalut siirtävät kuormitukset niiden vaippapinnan ja maan välisen kitkan välityksellä kitkamaakerrokseen. (3.)

Sillan perustamiseen paaluille päädytään teknisen ja taloudellisen vertailun perusteella. Paaluperustusta käyttämällä on mahdollista välttää vaikeudet maan kaivamisen ja veden kanssa. Siltapaikan sijainnin tai maapohjan ollessa soveltumattomia maapohjalle perustamiseen on käytettävä paaluperustusta. (2.)

## **2.3 Geotekniset luokat**

Eurokoodi seitsemän standardin SFS-EN 1997-1 mukaan geotekniset suunnitteluvaatimukset voidaan määrittää käyttämällä kolmea geoteknistä luokkaa; GL1, GL2 ja GL3. Sillan geotekninen luokka vaikuttaa sille tehtävien pohjatutkimuksien määrään ja kattavuuteen sekä taitorakenteiden suunnitelmien tarkistamiseen. Geotekninen luokka määrittää sillan rakenteen, pohjaolosuhteiden ja ympäristövaikutusten perusteella. (4.)

Mikäli rakenne täyttää seuraavat ehdot, kuuluu se luokkaan GL1: se on yksinkertainen, pohjamaa on kalliota tai kitkamaata ja siirtymien, vakavuuden sekä painumien suhteen ei ole riskiä. (4.)



Silloin, kun rakenne on tavanomainen eikä sen pohjamaahan liity riskejä silta kuuluu luokkaan GL2. Esimerkkejä geotekniseen luokkaan kaksi kuuluvista rakenteista ovat: paaluperustukset, maanvaraiset anturaperustukset, leikkaukset, penkereet, siltojen tuet ja ankkurit sekä maata pidättävät rakenteet. (4.)

Jos rakenne ei kuulu luokkaan GL1 tai GL2, kuuluu se luokkaan GL3. Esimerkkejä geoteknisen luokan kolme rakenteista ovat rakenteet joiden pohja- ja kuoritusolosuhteet ovat vaikeat, normaalista poikkeavia riskejä sisältävät rakenteet, erittäin suuret ja epätavalliset rakenteet sekä rakenteet, jotka sijaitsevat alueella, jonka maamassat ovat liikkeessä lähtötilanteessa. Rakenteen vaikutus ympäristöön tulee aina huomioida Liikenneviraston hankkeissa. (4.)

Geotekninen luokka määritetään lähtökohtaisesti pohjatutkimuksilla. Jos pohjatutkimuksia ei ole tehty tai ne ovat puutteellisia, määritetään suunnitteluvaiheessa luokaksi GL2 tai GL3. Suunnittelun ja pohjatutkimuksien tarkentuessa tarkistetaan geotekninen luokka vastaamaan käytettävissä olevia tietoja. (4.)

## **2.4 Pohjatutkimukset**

Pohjatutkimusten tavoitteena on selvittää maaperän olosuhteet rakennuspaikalla mahdollistamaan rakenteen pohjarakennustyöt ja perustamisen suunnittelemisen ja toteutuksen turvallisesti. Pohjatutkimuksilla selvitetään rakennuspaikan maakerrokset, kallionpinnan tai tiiviin pohjakerroksen sijainti ja pohjavesipinta. Lisäksi tulee selvittää pohjamaan routivuus sekä maaperän vedenläpäisevyys. Päädyttäessä paaluperustuksiin on arvioitava paalujen upotussyvyys, paalujen alapäiden liukumavaara ja maaperän kivisyyden vaikutus paalutukseen. Pohjatutkimuksilla hankittavia tietoja käytetään rakenteen geotekniseen suunnitteluun. (5.)

Pohjatutkimuksia tehdään käyttäen seuraavia kairausmenetelmiä:

- porakonekairaus
- tärykairaus
- siipikairaus
- heijarikairaus
- puristinkairaus
- painokairaus. (5.)

Kallionpinnan sijainti maakerrosten alla voidaan luotettavasti todistaa vain laitteilla, jotka porautuvat kallioon. Paino-, täry-, tai heijarikairalla voi paljastaa tiiviin pohjakerroksen sijainti. Puristinkairalla pystytään maakerrokset erottamaan toisistaan ja näin ollen maalajit voidaan nimetä saatavien näytteiden avulla. Maalajirajat voidaan selvittää puristin- ja painokairoilla. Paino-, puristin- ja heijarikairoilla voidaan selvittää karkearakeisten maalajien suhteellinen tiiviystila. Siipikairalla saadaan selville savimaiden leikkauslujuus. Heijarikaira on hyvä arvioitaessa lyöntipaalujen uppoamispituutta, myös painokairauksen tuloksista voidaan arvioida uppoamispituutta. (5.)

Kaivamalla koekuoppia voidaan maasta ottaa näytteitä. Joissain tapauksissa kaivinkoneella kaivaminen on helpoin tapa paljastaa rakennuspaikan kallionpinta. Rakennuspaikan kaivuolosuhteet saadaan selville helposti kaivamalla koekuoppa. Kaivannon luiskien stabiliteetti ja veden valuminen kuoppaan selviävät kaivuvaiheessa. Koekuopasta voidaan havainnoida myös maakerrosten rajoja ja kuopan täyttövaiheessa kuoppaan voidaan jättää pohjaveden havaintoputki. (5.)

Rakennuskohteen pohjavesipinnan sijainti on tärkeä tieto suunniteltaessa rakenteita ja niiden rakentamista. Pohjavesipinnan asema on tärkeä tieto tehtäessä geoteknisiä laskelmia. Pohjaveden pinnan korkeus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Pohjaveden pintaa olisi siis hyvä seurata useampi vuosi ennen rakennustöitä. Pohjaveden pintaa seurataan asentamalla maahan putki, johon pohjavesi pääsee siinä olevista rei'istä mutta johon pintavesi ei pääse valumaan. (5.)

### 3 TUKITELINEIDEN PERUSTAMISTAVAT

Sillan tukitelineet suunnitellaan ja mitoitetaan siirtämään niihin kohdistuvat kuormitukset alustalle, jolle ne on perustettu. On suunnittelijan ja rakentajan velvollisuus varmistua siitä, että perustukset kestävät. Perustuksen tulee kestää telineiden sille välittämät kuormat ilman haitallisia muodonmuutoksia ja painumia. Näitä kuormia ovat

- tukitelineiden omapaino; telineiden, muottien, työtasojen, kulkuteiden, portaikkojen ja suojakatosten paino
- kannatettavien rakenteiden paino; betonimassa ja betoniteräkset
- työnaikaiset hyötykuormat; henkilökuormat, työn tekemisestä johtuvat kuormat, kulkuneuvot ja varastoitavat tavarat
- tukien kaltevuusvirheestä johtuvat kuormat
- muottiin kohdistuva valupaineet
- tuulikuormat. (6.)

Telinerakenteiden suunnittelija laatii tukitelinesuunnitelmat ja on rakennesuunnittelija, joka on erikoistunut tehtävään. Suunnittelu tehdään rakentajan ja kohteen rakennesuunnittelijan kanssa yhteistyönä. Suunnittelija laatii tukitelinesuunnitelman, jossa on esitetty tukitelineiden perustaminen. Suunnitelmassa esitetään kohteesta riippuva telineen perustamistapa. Paaluille perustettaessa esitetään paalukuormat, materiaalit paalutusluokat ja muut vaatimukset. Kitka- ja koheesiopaaluille esitetään määrätasot ja niiden lyöntiohjeet, puupaaluille niiden kuoren poistoon liittyvät asiat. Maapohjalle perustettaessa esitetään arinan korko, materiaalin paksuus ja tiiveysvaatimukset. Luiskan varaan perustettaessa luiskan materiaali-, kaltevuus- ja tiiveysvaatimukset. Myös aluspuiden upotussyvyys esitetään. (6.)

Perustuksia suunniteltaessa tulee huomioida telineiden kokonaispainuman, painumaerojen sekä sivusiirtymien pysyminen lopullisen rakenteen mittatarkkuudessa. Siltaa varten tehtyihin pohjatutkimuksiin saatetaan joutua tekemään lisätutkimuksia telineperustusten suunnittelua varten. (2.)

Vaativissa perustamisolosuhteissa geotekninen suunnittelija tekee kohteesta geoteknisen suunnitelman, normaaleissa olosuhteissa se antaa telinesuunnittelijalle lähtötiedot kohteen pohjaolosuhteista. Geoteknisen suunnittelun kannalta erittäin vaativia perustamistapoja ovat kitka- ja koheesiopaaluille perustaminen, perustaminen heikosti kantavalle maaperälle ja luiskien varaan perustaminen silloin, kun luiskan kaltevuus on jyrkempi kuin 1:4. Muut paaluperustukset ovat vaativia perustamistapoja. Geoteknisen suunnittelijan laatimaa tai hyväksymää pohjarakennussuunnitelmaa edellytetään erittäin vaativissa olosuhteissa. Siinä tulee esittää riittävät tiedot telineperustusten suunnitteluun, rakentamiseen, purkamiseen ja valvontaan. (6.)

### **3.1 Perustaminen maan varaan**

Telineanturat, esimerkiksi teräsponsit tai aluspuut johtavat telineiden kuormitukset maapohjalle. Maanvaraisissa tukitelineperustuksissa on maapohjan oltava sulaa ja häiriintymätöntä tai vaihtoehtoisesti telineille pitää suunnitella ja rakentaa tiivistetty arina täytemateriaalia käyttäen. Siltojen tukitelineitä ei perusteta jäätyneelle maalle. Maapohjan löytyminen on estettävä kaivun, liettymisen, routimisen tai pohjaveden virtauksen takia. Sora- ja hiekkamaat eivät välttämättä tarvitse perustamista täyteelelle, muissa tapauksissa telineperustusten alle rakennetaan hiekka-, murske-, sepeli- tai sora-arina, jonka paksuus on minimissään 300 mm. (6.)

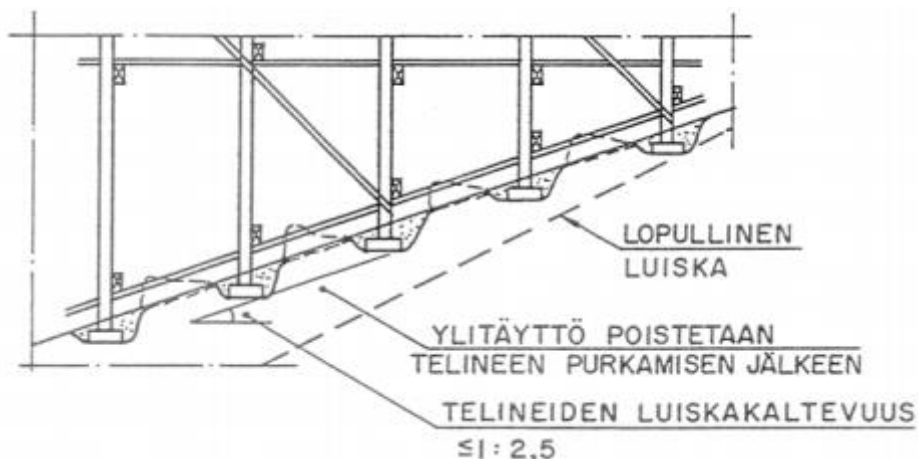
#### **3.1.1 Arinan varaan perustaminen**

Kun pohjamaa on hienorakeista häiriintyvää maata, kuten savea tai silttiä, asennetaan arinan ja perusmaan väliin suodatinkangas estämään rakenteiden sekoitumista pohjamaahan. Tiiveystarkkailuna riittää yleensä työpatarkkailu, jos ra-

kennettävä arina on mitoitettu keskitiiviille maalle. Tiiveyden osoittamiseen käytetään parannettua Proctor-koetta ja vesivolymetriä tai Troxler-laitetta, kun arina on mitoitettu tiiviille maalle. Parannettua Proctor-koetta käyttäen määritetty tiiviysvaatimus keskitiiviille hiekalle tai soralle on 90 prosenttia ja tiiviille hiekalle tai soralle 95 prosenttia. (2.)

Louhetäytölle perustettaessa louhekerroksen minimipaksuus on 0,6 metriä. Louheen maksimiraekoko saa olla enintään 400 mm ja sen rakenteen tulee olla sekaraakeista. Louhetäyttö tehdään maksimissaan 1,2 metrin kerroksina, mutta veden louhetäytön saa tehdä suoraan 0,5 metriä vedenpinnan yläpuolelle. Louheen yläpinta tulee kiilata sopivalla murskeella estämään variseminen ja siihen voidaan asentaa myös suodatinkangas. Pinta tasataan sopivalla soralla tai murskeella. (2.)

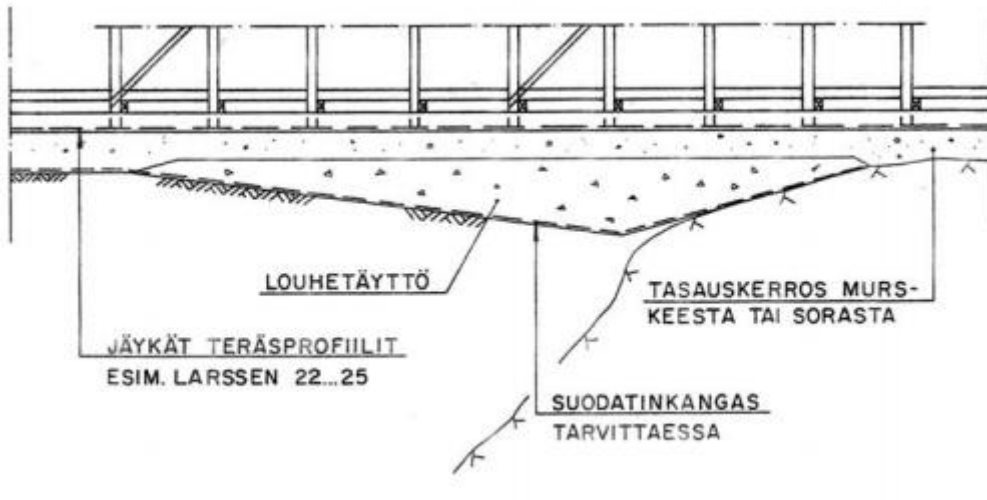
Kun perustetaan luiskien varaan, suunnitelmat ja rakentaminen on tehtävä huolella painumien estämiseksi. Aluspuiden mukaisen luiskankaltevuu- den ollessa maksimissaan 1:2,5 on portaittainen perustaminen mahdollista. Luiskakaltevuu- den ollessa maksimissaan 1:2 on luiskat mahdollista tehdä valmiiksi ja käyttää sillansuuntaisia aluspuita. Kuvassa 1 ilmenee portaittainen perustaminen ja se, miten on mahdollista rakentaa tiivistetty täyttö luiskan juureen loiventamaan luiskan jyrkkyyttä. (2.)



KUVA 1. Luiskan ylitäyttö (2. s. 43)

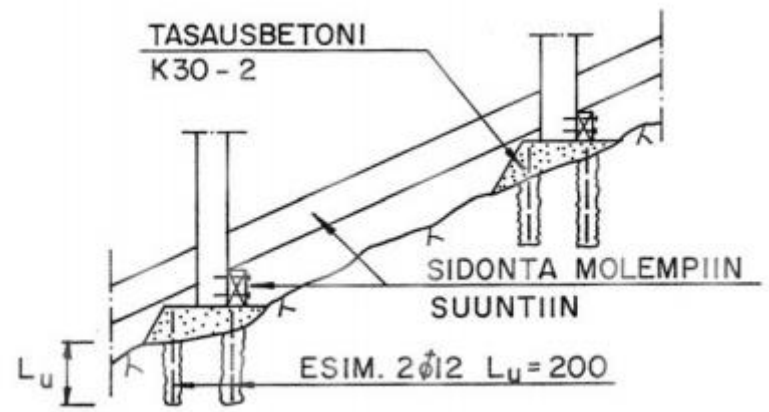
### 3.1.2 Kallion varaan perustaminen

Kun perustetaan telineet epätasaiselle kalliolle, käytetään kallion ja perustusten välissä tasoittavaa kerrosta, joka voi olla mursketta, betonia tai soraa. Erityistä huomiota epätasaisten painumien ehkäisyyn on kiinnitettävä, kun perustetaan osittain kalliolle ja osittain muulle alustalle. Kuvassa 2 on esitetty siirtymärakenne kallion ja savimaan välillä. (6.)



KUVA 2. Perustusten siirtymärakenne (2. s. 45)

Kun perustetaan vinolle kalliopohjalle, perustusten liukuminen on estettävä porrastamalla kalliopintaa. Perustukset tulee pultata kallioon, kun kalliopinnan ja kuormitusresultantin välinen kulma ylittää 15 astetta. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki vinolle kalliolle perustamisesta. (6.)



KUVA 3. Vinolle kalliolle perustaminen (2. s. 44)

### 3.2 Paaluille perustaminen

Telineet voidaan perustaa paaluilla kantavan maakerroksen tai kallion varaan, kun maanvarainen perustaminen ei ole mahdollista esimerkiksi liian suurien painumien tai heikosti kantavan maapohjan vuoksi. Myös kitka tai- koheesiopaaluja on mahdollista käyttää. (6.)

Paalumateriaaleina on mahdollista käyttää puupaaluja, teräsputkipaaluja ja muotoprofiilipaaluja. Paalun toimintaperiaatteesta riippuen puupaaluista on poistettava puunkuori. Teräsprofiilipaalujen käytön etuina etenkin rautatien lähellä työskennellessä ovat pienet maahan syntyvät pysty- ja sivusiirtymät (2.)

Paalutustyö suunnitellaan ja suoritetaan seuraavien ohjeiden mukaan:

- Pohjanrakennusohjeet RIL 121
- Lyöntipaalutusohjeet RIL 223
- Tiehallinnon paalutusohjeet. (6.)

Sillan tukitelineiden paalutusta on mahdollista hyväksikäyttää työtelineitä varten. Ne rakennetaan välitukien paaluttamiseen käytettävälle paalutuskoneelle. Vesitöissä koheesiopaalujen kantavuutta on tarkkailtava koko ajan, kun työskennellään paalutuskoneella niiden päällä. (2.)

### 3.3 Kaivannon kuivatus

Kun perustetaan sillan tukitelineet maanvaraisesti, on mahdollista, että perustukset rakennetaan kaivantoon. Kun rakennustyöt tehdään kuivatyönä, on kaivantoon järjestettävä vähintään sulamisvesien ja sadevesien kuivatus. Kun kallistetaan kaivannon pohja kohti pumppauskuoppia tai pumppauskaivoja, saadaan sadevedet kerättyä kaivannosta pois. Vesien keräystä tehostamaan voidaan kaivannon pohjalle lisätä työnaikaiset salaojat. Joissain tapauksissa on mahdollista rakentaa pysyvä kaivannon kuivatusjärjestelmä perustusten rakentamisen aikaan, jolloin ei tarvita erillistä kuivatusta. (7.)

Pohjaveden alentamisen tarve tulee ottaa huomioon, kun kaivannon alin kohta on noin 0,5 metriä pohjavesipinnan yläpuolella. Kaivannon pohja ei saa häiriintyä ja sen tulee pysyä kantavana. Kaivannon pohjan on kestettävä täyttömateriaalien

koneellinen tiivistys. On siis tärkeää estää pohjaveden pääsy kaivantoon alentamalla pohjavedenpintaa ennen kaivamista etenkin, kun maaperä on herkästi häiriintyvää tai on olemassa hydraulisen murtumisen riski. Pohjaveden alentaminen on mahdollista tehdä kaivuuvaiheessa kaivannon pohjalta, jos ei ole olemassa hydraulisen murtumisen riskiä eikä pohjamaa häiriinny herkästi. Kun pohjamaa on kaivannon alueella homogeenistä ja vesitiivistä, ei tarvita pohjaveden alennusta, koska pohjavesi ei pääse kaivannon pohjalle. On kuitenkin todettava laskelmin, ettei ole riskiä hydrauliselle murtumalle. (7.)

Pohjaveden alentamiseen voidaan käyttää pumppauskuoppia ja pumppauskaivoja, kun pohjamaan vedenläpäisevyys kerroin on  $>10^{-3}$  m/s ja voidaan sallia lyhytaikainen pohjaveden virtaus kaivantoon. Vesi pumpataan kaivoista tai kuopista pois uppopumpulla. Veden pääsy niihin varmistetaan rakentamalla niiden ympärille suodatinkerros suodatinkankaasta ja vettä läpäisevästä murskeesta. Tarvittaessa veden pääsyä kaivoihin voidaan tehostaa salaojittamalla kaivannon pohja. (7.)

Pumppausputkilla voidaan alentaa pohjavettä ennen kaivua, kun pohjamaan vedenläpäisevyyskerroin on  $> 10^{-4} - 10^{-5}$  m/s. Pumppausputki voidaan asentaa maahan paalutuskoneella tai poraamalla. Pumppaustaso on minimissään kaksi metriä kaivannon pohjaa syvemmillä. Putkessa olevista rei'istä vesi valuu painovoimaisesti putken pohjalle, josta se pumpataan pois keskipako- tai uppopumpulla. Putken reiät ovat herkkiä liettymiselle. Liettymistä on mahdollista ehkäistä rakentamalla pumppausputki, jossa on suodatin putken ympärillä salaojasorasta. (7.)

Tyhjiöpumppaus on tehokkain keino alentaa pohjavettä maalla, jossa on hienoainesta, jonka raekoko on alle 0,06 mm. Menetelmässä asennetaan maahan putkia, joista imetään pohjavettä alipaineen avulla kokoojaputkia pitkin pumppujen vesisäiliöihin. Tyhjiöpumppausmenetelmässä pumppujen ja pohjaveden pinnan suurin korkeusero voi olla maksimissaan noin kuusi metriä. Tyhjiöpumppaus tulee toteuttaa kaksivaiheisena, jos pohjavettä halutaan laskea tätä enemmän. (7.)



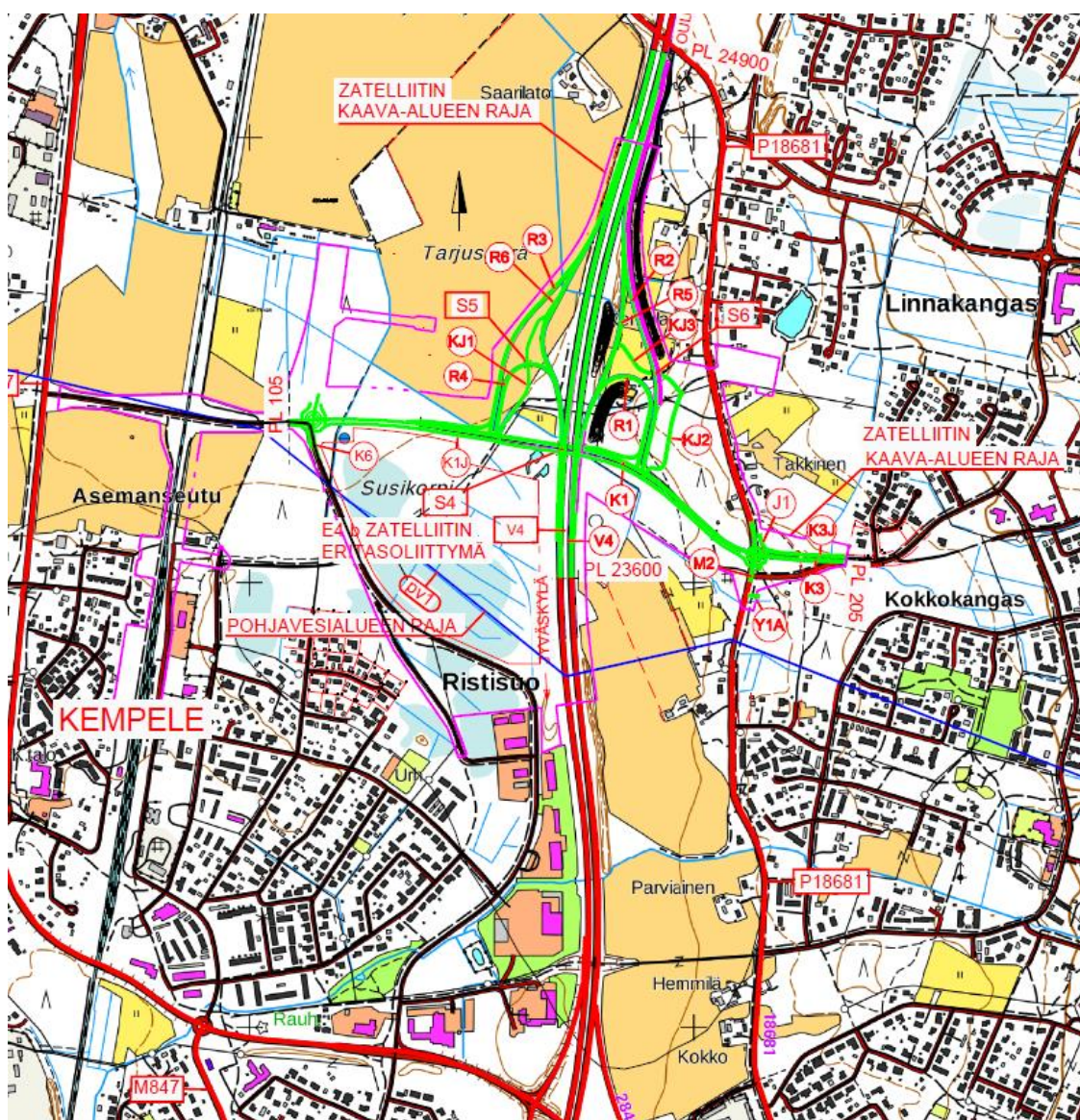
### 3.4 Maan häiriintyminen

Häiriintyminen on ongelma hienorakeisilla mailla, joiden kosteuspitoisuus on suuri. Ilmiössä maa muuttuu juoksevaksi eikä kannata esimerkiksi työkoneella vaan työkoneen liikkua maa aaltoilee sen alla. Häiriintymisessä maan huokostilan vesi estää rakeiden tukeutumisen toisiinsa. Kun maata yritetään tiivistää, pitelee maan hienoaines vettä huokoisissa niin tiukasti, ettei se pääse poistumaan niistä ja häiriintyy. Maassa voi olla vettä vain sen verran kuin maan rakeilta jää tilaa vapaaksi. Näin ollen, jos hienorakeisiin maihin pääsee vettä enemmän kuin niissä normaalitilassa olisi tai maata yritetään tiivistää normaalitilaa tiiviimmäksi, saattaa maa häiriintyä ja menettää kantavuutensa. (8.)

Savimailla niiden rakenne riippuu vedenlaadusta, johon savi on laskeutunut. Maakeaan veteen laskeutuneen saven hiutaleet ovat pieniä ja niiden välissä on paljon pienempiä huokoisia kuin suolaiseen veteen laskeutuneessa savessa, jossa hiutaleet ovat isompia ja huokoiset niiden välissä suuria. Suolaiseen veteen laskeutunut savi on näin ollen häiriintymisherkempää, kun hiutaleiden väliset sidokset pääsevät rikkoutumaan herkemmin, koska isommat huokokset päästävät hiutaleet helpommin liikkumaan. (8.)

## 4 TUKITELINEPERUSTUKSET ZATELLIITIN TYÖMAALLA

Opinnäytetyössä perehdytään valtatie neljälle rakennettujen teräsbetonisten siltojen S4-itäinen ja S4-läntinen valumuottien tukitelineiden perustamiseen. Sillat rakennettiin moottoritiele kesän 2017 aikana. Vuoden 2018 aikana rakennetaan siltojen ali uusi tieyhteys Komeetantie. Siltojen rakentaminen oli osa valtatie 4 Zateelliitin eritasoliittymäurakkaa, jonka pääurakoitsijana toimii YIT Oyj. Urakan arvo on noin 10,5 miljoonaa, josta 7,7 miljoonaa on Kempeleen kunnan osuutta. Urakan tilaajana toimii Liikennevirasto. Kuvassa 4 on esitetty työmaan sijainti.



KUVA 4. Zateelliitin työmaan sijainti (9)

## 4.1 Siltapaikka

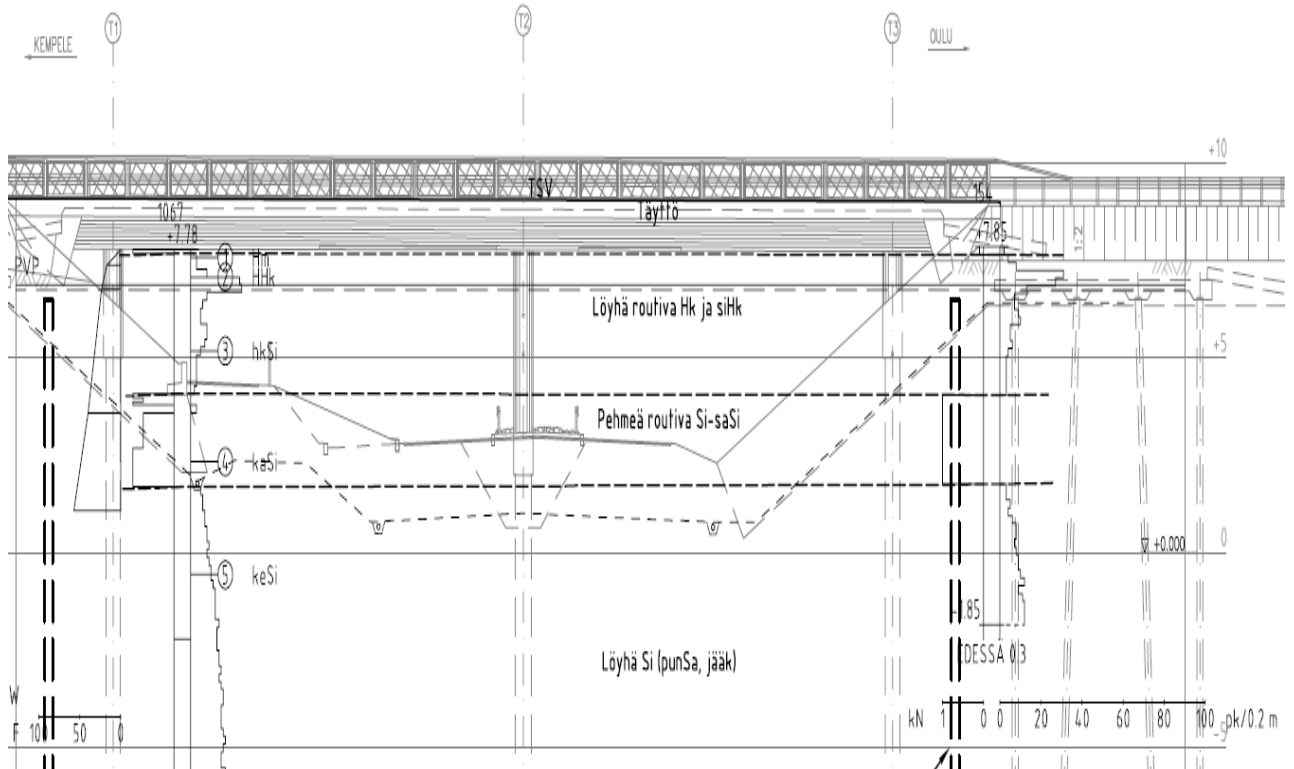
Rakennettava Komeetantie tulee siltapaikalla alittamaan moottoritien, jonka etelään kulkeville kaistoille rakennetaan silta S4 läntinen, ja pohjoiseen kulkeville kaistoille rakennetaan silta S4 itäinen. Sillat ovat kaksiaukkoisia jatkuvia uloke-laattaisia teräsbetonisilloja, jotka ovat perustettu lyödyille teräspalkkipaaluille. Sillat ovat jännemitaltaan 2,5 m + 20,0 m + 18,0 m + 2,5 m ja niiden hyötyleveys HL on läntisellä sillalla 15,76 - 17,85 m ja itäisellä 16,51 - 19,5 m. Alikulkukorkeus silloilla on 4,6 m. (10.)

Siltapaikan alueella on tehty seuraavia pohjatutkimuksia: pisteiden mittaus ja vaaitus, heijarikairauksia kahdeksassa tutkimuspisteessä, siipikairaus yhdessä tutkimuspisteessä, häiriintyneiden maanäytteiden otto kahdessa tutkimuspisteessä ja pohjavedenpinnan havainnointi yhdessä tutkimuspisteessä. Siltojen alitse rakennettavan Komeetantien alueella on myös tehty painokairauksia, siipikairauksia ja otettu häiriintyneitä maanäytteitä. Tutkimukset ovat KKJ-koordinaattijärjestelmässä ja N60-korkeusjärjestelmässä. (10.)

Vt. 4:n pinta on siltapaikalla noin korossa +8,5 m - +8,8 m. Alueen maasto on tasaista ja siltapaikalla maanpinnan korko on noin +7,6 m - +8,2 m. Siltapaikka sijaitsee Muhoksen savimuodostelman reunalla ja alueelle on jääkauden aikaan veden sulaessa kerrostunut hienoaineksia niin sanotun syvän veden aikaan. Siltapaikan maakerrokset ovat ylhäältä alaspäin jakautuneet seuraavasti:

- moottoritien rakennekerrokset noin 2 m paksusti
- löyhä-keskitiivis, routiva hienohiekka ja silttinen hiekka 1-2 m paksusti
- pehmeä, routiva siltti, hiekkainen siltti ja savinen siltti 3-4 m paksusti
- löyhä siltti 7-15 m paksusti.
- keskitiivis siltti 3-8 m paksusti
- alimpana keskitiivistä-tiivistä silttiä, moreenia ja hiekkaa. (10.)

Siltapaikalla pohjaveden on havaittu olevan tasossa +6,9 m. Pohjaveden pinta on alle yhden metrin syvyydessä maanpinnasta ja sen pinnanvaihtelu on vuodenaikasta riippuen +- 0,2 m. Tulevien siltojen kohdalla sijaitsevan hienon hiekan kerroksessa vedenläpäisevyys on noin  $k_{max} = 10^{-5}$  m/s ja pehmeän siltin kerroksessa noin  $k_{max} = 10^{-7} - 10^{-8}$  m/s. Kuvassa 5 on esitetty maakerrosten jakaantuminen ja pohjaveden pinta siltapaikalla Komeetantien suuntaisesti katsottuna. (10.)

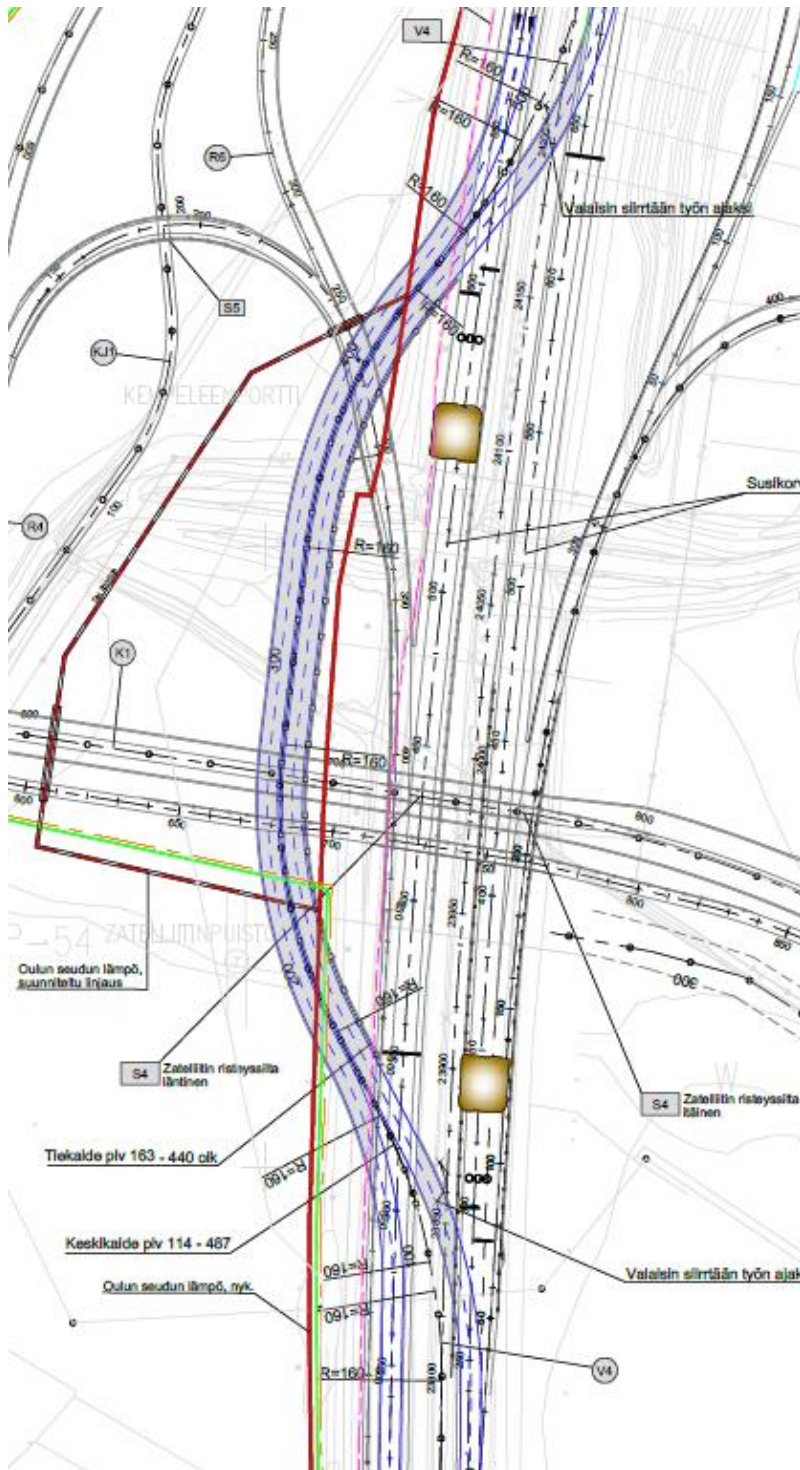


KUVA 5. Tutkimuskartta (11)

## 4.2 Tukitelineperustusten rakentaminen

Sillat rakennettiin valtatielle 4, joten niiden rakentamisen aloittamiseksi oli liikenne ohjattava siltatyömaan länsipuolelle rakennetulle kiertotielle. Liikenteen kulkeminen kiertotietä pitkin mahdollisti rakennustöiden aloittamisen valtatiellä 4. Kiertotien sijainti suhteessa siltapaikkaan näkyy kuvassa 6 sinisellä linjauksella. Tuleva kaivanto huomioitiin liikenteen turvallisuuden kannalta asentamalla koko kiertotien kaivannon puoleiselle reunalle kaide sekä asentamalla betoniset kaiteet kiertotielle mutkiin, jotka olivat kohti siltapaikkaa. Moottoritien kaistoille

ajettiin myös maakatut turvaamaan, jotta ei olisi mahdollista ajaa kaivantoon, vaikkeivät betonikaiteet pysäyttäisi mahdollisesti suoraan jatkavaa ajoneuvoa. Kiertotien osalta nopeusrajoitus moottoritiellä asetettiin nopeuteen 60 km/h.



KUVA 6. Työaikainen liikenteenohjaus (12)

#### 4.2.1 Moottoritien rakenteiden purku

Siltojen rakennustyöt aloitettiin siltapaikalla poistamalla tien asfalttipäällyste. Läntisillä kaistoilla asfaltin alla oli vanha betonitie. Asfaltti oli liimautunut erittäin tiukkaan betonin pintaan, minkä vuoksi se piti repiä irti betonin pinnasta 30 tonnisella kaivinkoneella routapiikkiä käyttäen. Syntynyt asfalttijäte lastattiin kuorma-autoihin, jotka kuljettivat sen pois työmaalta luvalliseen vastaanottoaikaan.

Asfaltin kuorimisen jälkeen poistettiin itäisien kaistojen pinnasta moottoritien kantavan kerroksen mursketta. Murskeen poisto mahdollisti suurteräspaalujen lyömisen tavoitekorkoon moottoritien rakennekerrosten päällä työskennellen. Teräspaalujen lyöntityöhön käytetty paalutuskone tarvitsi tukevan alustan alleen maaperän ollessa savikkoista ja huonosti kantavaa. Paalutuskone painaa monta kymmentä tonnia, ja sen painopiste etenkin raskaan teräspaalun kanssa on korkea, joten oli olemassa riski koneen kaatumisesta, jos maaperä ei olisi ollut kantavaa sen alla. Riski koneen kaatumiselle oli pidettävä mahdollisimman pienenä työskenneltäessä kiertotien liikenteen läheisyydessä.

Läntisillä kaistoilla asfaltin alta esiin tullut vanha betonitie oli purettava, ennen kuin päästiin kaivamaan mursketta tienpinnasta. Betonitie oli betonista valettuja laattoja tien pintarakenteena. Laatan paksuus oli noin 20 cm, jonka alla oli vielä maabetonia noin 10 cm:n paksuisesti. Purku-urakoitsijalla oli käytössään kaivinkoneeseen kytketty järkäletä betonin pintaan pudottava niin kutsuttu ”husseinin tykki”. Purku-urakoitsija tykitti betonilaatat rikki, minkä jälkeen betoni murennettiin hienompirakeiseksi murskeeksi kaivinkoneen pulveroijalla. Syntynyt betonimurske kuljetettiin luvalliseen vastaanottoaikaan.

Betonitien purkamisen jälkeen läntisiltä kaistoilta poistettiin pinnasta mursketta, mikä mahdollisti paalujen lyömisen oikeaan korkoon. Kun oli lyöty itäisillä kaistoilla sijaitsevat 12 paalua, mahdollistui maanleikkaustöiden aloittaminen telin pohjien rakentamista varten. Ensiksi kaivettiin itäisiltä kaistoilta tien rakennekerrokset pois. Kuvassa 7 näkyy esiin kaivettua perusmaata ja pysyvän ponttiseinän asennusta.



*KUVA 7. Rakennekerrosten talteenottoa*

#### **4.2.2 Perusmaan leikkaus**

Tien rakennekerrokset kannatti taloudellisessa mielessä ottaa talteen eikä ajaa leikkausmaiden mukana läjitykseen. Murskeet käytettiin työmaateiden rakentamiseen ja hiekat läjitettiin kaivannon lähietäisyydelle odottamaan uusiokäyttöä työmaalla. Tien rakennekerroksia piti ottaa talteen leikkaustyön edetessä vaiheittain: perusmaa ei olisi kantanut maata pois ajavia kuorma-autoja, joten työskenneltiin murskekerroksen päältä käsin. Työkoneilla liikkumista pohjamaan päällä haluttiin välttää, ettei pohjamaa häiriintyisi.

Rakennettaessa valumuotit puutelineiden varaan piti ottaa huomioon muottien purkuvaihe. Rakennettavien siltojen kansien alle oli hyvä jättää noin kaksi metriä tilaa helpottamaan telineiden ja muottien purkamista. Telineperustukset rakennettiin murskeesta, joka on arvokasta rakennusmateriaalia. Telineperustusten murske haluttiin käyttää uudelleen työmaalla. Sillan kannen alle olisi hyvä mahtua koneella, jolla mursketta saa kerättyä talteen. Tämän vuoksi kaivanto kaivettiin noin tasoon +5 metriä.

Pohjaveden tason ollessa kaivannon pohjaa ylempänä piti kuivattaa kaivanto. Kaivanto päätettiin pitää kuivana salaojittamalla tulevan murskepatjan alaosa ja rakentamalla kaivannon kummallekin reunalle pumppukaivot uppopumppuja varten. Salaojille ei kaivettu erikseen kaatoja ja syvennyksiä, koska perusmaan päällä ei haluttu liikkua työkoneilla, joten koko kaivannon pohja leikattiin viettämään kohti pumppukaivoja. Tämän viettävän pohjan rakentamisessa käytettiin kaivinkoneen 3D-koneohjausjärjestelmää. Koneohjausjärjestelmän avulla kuljettaja osasi kaivaa pohjan viettämään oikein ja leikata kaivannon oikean kolkseksi. Maan stabiliteetin turvaamiseksi kaivannon lähelle ei läjitetty maita, ja kaivannon reunat luiskattiin noin suhteessa 1:2. Kuvassa 8 näkyy työtapa, jossa työskenneltiin moottoritien rakenteiden päältä.



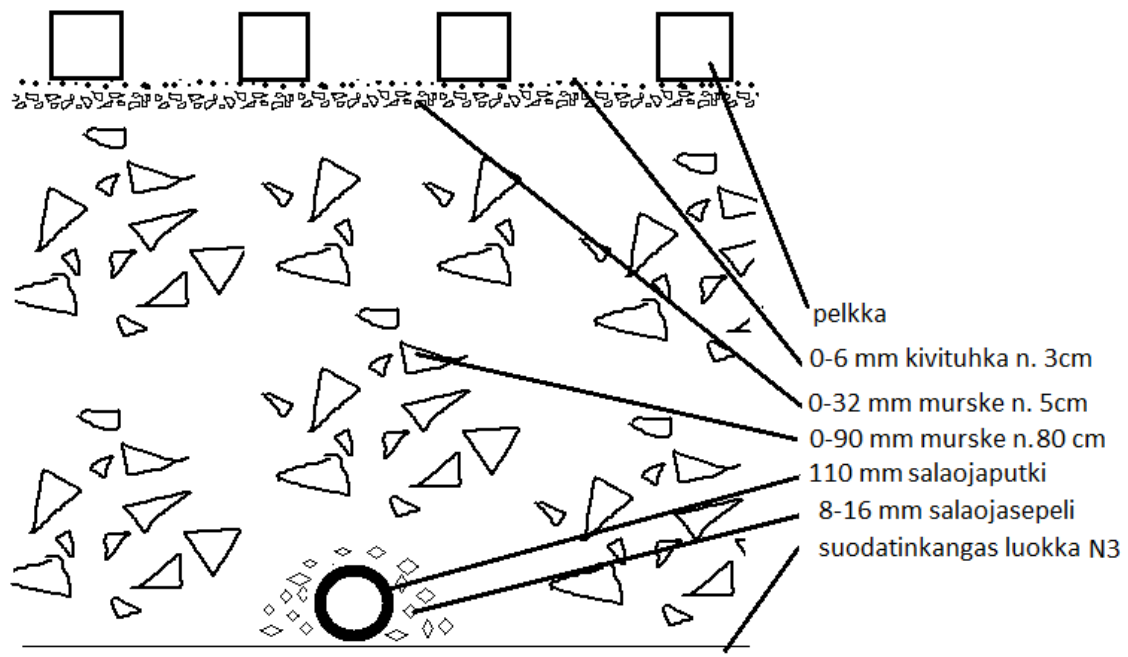
*KUVA 8. Kaivannon leikkaustyötä*

Sillan paaluperustusten paalutustyöt olivat hidasta työtä ja ne ohjasivat leikkaustyöiden aikataulutusta. Paalutustyöt tehtiin ensin itäisillä kaistoilla, joiden valmistuttua päästiin leikkaamaan kaivantoa. Paalutustöitä jatkettiin läntisillä kaistoilla. Itäisien kaistojen puoli kaivannosta leikattiin ja kaivannon pohjalle ajettiin mursketelineperustuksia varten. Tämän jälkeen paalutustyö oli valmis läntisillä kaistoilla ja leikkaustyö siirtyi niiden puolelle.



### 4.2.3 Murskeperustuksen rakentaminen

Valumuottien puutelineet rakennettiin puisten aluspuiden, pelkkien päälle. Pelkkien alle rakennettiin murskearina kantamaan rakennettavan sillan betonista, raudoituksista, muoteista ja telineistä tulevia kuormia. Murskearinan alapuolinen perusmaa oli siltapaikalla hienoa hiekkaa ja siltistä hiekkaa. Kuvassa 9 on esitetty murskeperustuksen rakenne, jonka päälle puurakenteiset valumuottien telineet rakennettiin pelkkien varaan.



KUVA 9. Murskeperustuksen rakenne

Kaivannon pohjalle levitettiin pohjamaan päälle luokan N3 suodatinkangas estämään pohjamaan ja murskekerroksen sekoittuminen keskenään. Suodatinkankaan päälle asennettiin valmiiksi salaojaputket, jotka liitettiin kaivannon itäiseen ja läntiseen nurkkaan leikkaustyön aikana rakennettuihin pumppukaivoihin. Kuvassa 10 näkyy telineperustusten kaivannon leikkauspohjan päälle asennettu suodatinkangas ja salaojitus kaivannon itäisellä puolella. Läntiselle puolelle kaivantoa on kuvassa 10 levitetty jo 0-90 mm:n murskekerros. Kuvan 10 oikeanpuoleisessa kaivannon takanurkassa näkyy pumppukaivo. Kuvassa kaivannon pohja on leikattu suoraksi tasoksi, joka viettää kohti pumppukaivoa, jonka avulla kai-

vanto pidetään kuivana. Kaivantoon maasta suotautuva pohjavesi ja taivaalta saava sadevesi valuvat salaojia ja niitä ympäröivää salaojasepeliä pitkin pumppukaivoon, josta vesi pumpataan pois kaivannosta.



*KUVA 10. Suodatinkangas ja salaojitus kaivannossa*

Suodatinkankaan päälle levitettiin noin 80 cm:n kerros 0-90 mm:n kalliomursketta. Tähän kerrospaksuuteen päädyttiin testaamalla ensin ohuemmalla 60 cm:n kerroksella. 60 cm mursketta ei riittänyt kantamaan paalutuskonetta, jonka piti päästä tekemään PDA-kokeita lyödyille paaluille murskepatjan päältä. Kun työkoneliikkui murskekerroksen päällä, huomattiin, että pohjamaa häiriintyi, koska murskepatja ikään kuin aaltoili koneen alla. Jos pohjamaa olisi häiriintynyt työkoneliikkumisen vaikutuksesta, ei telien perustusten kantavuus olisi riittänyt sillan rakentamista varten. Tämän takia ei otettu riskejä ja kasvatettiin murskekerroksen paksuutta.

Kun kaivinkone levitti murskeet työskentelemällä koko ajan murskekerroksen päältä käsin, vältettiin pohjamaan häiriintymistä. Kaivinkone varisteli murskekerroksen päältä salaojasepelin salaojaputkien päälle. Tässä vaiheessa kaivannon reunaluiskat verhoiltiin murskeella niiden stabiliteetin varmistamiseksi, koska kaivannon perusmaa oli hienojakoista ja etenkin kostealla kelillä oli mahdollista, että luiskat olisivat liettyneet ja valuneet kaivantoon ja näin ollen sortuneet. 0-90

mm:n murskekerros rakennettiin pinnastaan tasaiseksi, ettei pinnan tasaamiseen kuluisi turhaan 0-32 mm:n mursketta, joka on arvokkaampaa. Pinnan tasaisuus varmistettiin levitysvaiheessa käyttämällä kaivinkoneen 3D-koneohjausjärjestelmää, jonka avulla korko tuli kerralla samaksi koko perustusten alueella.

Murskekerros tiivistettiin täryjyrällä ja tärylätkällä. Tiivistysvaiheessa huomattiin, että pohjamaa häiriintyi täryjyrän tärytyksen takia etenkin tiivistettäessä ohuita kerroksia kerrallaan. Tämän vuoksi tiivistys suoritettiin kerralla koko 0-90 mm murskekerroksen päältä. Ensimmäiset tiivistyskerrat ajettiin jyrällä käyttäen sen pienempitaajuuksista tärytystoimintoa, tämän jälkeen murskepatjan annettiin asettua viikonlopun ajan. Havaittiin, että pohjamaa asettui tässä ajassa ja se kesti paremmin tiivistystä kuin heti murskeen levittämisen jälkeen. Erityisesti suurteräspaalujen ympäriltä tiivistämiseen käytettiin tärylätkää, sillä iso täryjyrä ei mahtunut aivan paalujen juurelle. Murskekerroksen huolellinen tiivistäminen on tärkeä työvaihe telineperustusten rakentamisessa, jotta huolimattomasta tiivistämisestä ei aiheutuisi painumia sillan valuvaiheessa.

0-90 mm murskekerroksen päälle levitettiin noin viiden cm:n paksuinen kerros 0-32 mm:n kalliomursketta sulkemaan ja kiilaamaan karkeamman murskekerroksen yläpintaa. Näin estettiin hienoaineksen variseminen 0-90 mm:n murskeen sekaan ja siitä aiheutuvat painumat. Murskekerroksen pinnasta tehtiin edelleen tasainen ja 0-32 mm:n murskekerros tiivistettiin käyttämällä täryjyrää. Kuvassa 11 näkyy 0-32 mm:n murskeen levittäminen kaivinkoneella ja taustalla kaivannon reunaluiska, joka on verhoiltu käyttäen 0-90 mm:n mursketta. Kuvassa 12 näkyy 0-32 mm murskekerroksen tiivistystä ja tiivistyskalusto, jolla murskeperustus tiivistettiin.



*KUVA 11. 0-32 mm:n murskeen levitystä sekä taustalla on murskeverhoiltu luiska ja moottoritien rakennekerrosten hiekkaa*



*KUVA 12. Murskeen tiivistystä*

Puutelineiden rakentamista ennen tuli murskeperustuksen kantavuus todentaa levykuormituskoetta käyttäen. Murskeperustukselle oli annettu kantavuusvaatimus 175 MPa. Itäisen puolen kantavuudet täyttivät vaatimukset ensimmäisellä mittauskerralla, koska sillan S4 itäinen telineiden murskeperustukset rakennettiin

ennen sillan S4 läntinen telineiden perustuksia. Itäisen puolen pohjamaa sai siis asettua kauemmin ennen kantavuusmittausta läntiseen puoleen verrattuna. Län- tisen puolen kantavuus ei täytynyt ensimmäisellä mittauskerralla. Perustusten annettiin asettua viikon ajan, tässä ajassa häiriintynyt pohjamaa asettui ja kanta- vuudet täytyivät. Kantavuuksien täytyttyä 0-32 mm murskeen pinnalle siroteltiin ohuesti 0-6 mm kivituhkaa helpottamaan puutelineiden aluspuiden, pelkkien asentamista. Kuvassa 13 pelkkiä on asennettu kivituhkan päälle ja telineiden ra- kentaminen aloitettu.



*KUVA 13. Tukitelineiden rakentamista*

### **4.3 Perustusten purkaminen**

Murskeperustuksen rakentamisen aikana pohjamaan häiriintyminen aiheutti pie- niä ongelmia. Tukitelineiden perustukset rakennettiin pohjamaata mahdollisim- man vähän häiriten. Pohjamaan asetuttua murskeperustuksen kantavuusarvot täytyivät ja sillan tukitelineet rakennettiin. Sillat valettiin syksyn 2017 aikana ja

perustuksien kanssa ei ollut ongelmia. Kaivanto pysyi kuivana salaojituksen ja pumppukaivojen avulla, eikä painumia syntynyt.

Telineperustusten rakentamisessa käytettiin paljon kalliomurskettä. Tämä murske haluttiin käyttää uudelleen työmaan alueella sen taloudellisen arvon vuoksi, eikä sitä haluttu sekoittaa pohjamaahan. Murske otettiin talteen ennen siltojen alitse rakennettavan Komeetantien leikkaustöiden ulottumista telineperustuksiin asti. Telineperustukset oli rakennettu tarpeeksi syvälle sillan alle, jotta sillan ja telinepohjan väliin mahtuisi työkoneella. Siltojen alta murske puskettiin tela-alustaisella liukuohjatulla kuormaimella siltojen väliin, josta se lastattiin kaivinkoneella kuljetukseen. Kuvassa 14 kerätään murskettä sillan S4 itäinen alta. Työmaalla murske käytettiin meluvallin meluidan ympärystytön rakentamiseen.



*KUVA 14. Telineperustusten purkaminen*

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä tukitelineperustusten rakentamiseen. Aluksi esiteltiin sillan perustamistavat sekä perustamistavan valintaan johtavat seikat. Työssä esiteltiin sillan perustamistavan sekä tukitelineperustusten valintaan oleellisesti vaikuttavien pohjaolosuhteiden selvittämiseen käytettävät erilaiset pohjatutkimustavat. Tukitelineperustusten suunnittelun ja rakennustyön perusteet kuvailtiin työssä maan-, kallion-, luiskien- ja paalujenvaraisten perustusten osalta. Työssä perehdyttiin myös maan häiriintymiseen sekä kaivannon kuivatustapoihin.

Opinnäytetyössä esiteltiin valtatie 4 Zateeliitin eritasoliittymätyömaalla kesän 2017 aikana rakennettujen tukitelineperustusten työvaiheet ja rakentamisessa kohdatut ongelmat. Siltapaikalle piti rakentaa laadukas kiertotie ennen sillanrakennustöiden aloittamista liikenteen sujuvuuden ja turvallisuuden takaamiseksi, koska rakennettavat sillat sijaitsivat moottoritillä. Työt aloitettiin kaivamalla tien rakenteet pois, minkä jälkeen kaivettiin kaivanto tukitelineperustuksia varten. Pohjamaa siltapaikalla oli hienoa hiekkaa ja siltistä hiekkaa. Leikkaustyön aikana havaittiin maaperän häiriintyvän helposti, minkä vuoksi kaivannon pohjalla ei työskennelty työkoneilla.

Tukitelineperustukset rakennettiin murskeesta, jonka arinan paksuutta kasvatettiin suunnitellusta, jotta se kantaisi työkoneet, kuten paalutuskoneen ja nosturit häiritsemättä pohjamaata. Pohjamaan havaittiin jälleen kantavan hyvin häiriintymisen jälkeen noin viikon ajan kuluttua; tässä ajassa pohjamaa sai asettua rauhasa. Kaivannon kuivatus hoidettiin salaojilla ja pumppaamalla vesi pois pumpauskaivoista, koska maa oli heikosti vettä johtavaa. Perustuksiin käytettiin paljon mursketta, joka kerättiin pois kaivannosta sillan valun ja muottien purkamisen jälkeen käytettäväksi työmaan alueella. Tukitelineperustukset toimivat hyvin ja sillan valutyöt onnistuivat ongelmitta.

Kun rakennetaan tukitelineperustukset maanvaraisesti paikkaan, jossa on mahdollisuus maaperän häiriintymiselle ja siitä johtuville kantavuusongelmille, olisi hyvä tutkia mahdollisuutta geoverkon käyttämisestä arinan ja pohjamaan välissä

suodatinkankaan sijasta. Geoverkko on muoviverkkoa, johon murskeen kiviaines lukittuu ja kiilautuu kiinni, toisin kuin suodatinkankaaseen. Näin murskeen sivuttaissiirtymät estyvät ja arinan kantavuus paranee merkittävästi. Geoverkkoa käyttämällä olisi mahdollista, että arina ei pääsisi joustamaan työkoneiden alla. Näin pohjamaa ei aaltoilisi ja häiriintyisi koneiden liikkeessä arinalla. (13.)



## LÄHTEET

1. Siltojen tukitelineet-2007. 2008. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/sillat/julkaisut/tukitelineet-2007.pdf>. Hakupäivä 15.3.2018.
2. RIL 179. 1989. Sillat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
3. Kallio, Vesa 2017. Infran pohjarakenteet 3 op. Opintojakson materiaali syksyllä 2017. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
4. Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. 2017. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2017-13\\_ncci7\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-13_ncci7_web.pdf). Hakupäivä 15.3.2018.
5. Jääskeläinen, Raimo 2011. Geotekniikan perusteet. Amk-Kustannus Oy.
6. RIL 147-2006. 2006. Tukitelineet ja muotit. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
7. RIL 263-2014. Kaivanto-ohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
8. Jääskeläinen, Raimo 2010. Maanrakennuksen ja louhinnan perusteet. Amk-Kustannus Oy.
9. Vt. 4, Zateeliitin alueen eritasoliittymä, Kempele. Yleiskartta. 2016. WSP Finland Oy. Urakan materiaali.
10. Vt. 4, Zateeliitin alueen eritasoliittymä, Kempele. Perustustapalausunto. 2017. Kempeleen kunta/Tiehallinto. Urakan materiaali.
11. Zateeliitin risteyssilta S4 tutkimusleikkaus. 2009. Pöyry Finland Oy/Kempeleen kunta. Urakan materiaali.

12. Vt. 4 Zateeliitin alueen eritasoliittymä, Kempele. Työnaikaisen liikenteenohjauksen periaatteet. 2016. WSP Finland Oy/ Kempeleen kunta/ Elinkeino- liikenne- ja ympäristövirasto. Urakan materiaali.
13. Lektar Oy verkkosivut. Saatavissa: <http://www.lektar.com/rakentaminen/inf-rarakentaminen/geoverkot>. Hakupäivä 15.3.2018.