

Geoteknikkojen terveiset

Siltatekniikan päivät 2025

Mauri Kulman



Väylävirasto
Trafikledsverket



Esityksen sisältö

- Geoteknisten suunnitelmien sisältö (NCCI7)
- Suunnitelmien ja pohjatutkimusten arkistointi
- Geotekniikan ja sillasuunnittelun yhteensovittaminen
- Paalutyypin valinta

NCCI 7, Eurokoodin soveltamisohje

Geotekninen suunnittelu

Eri suunnitteluvaiheissa sillan geotekninen suunnitelma koostuu:

- Geoteknisistä piirustuksista
- Sillan geoteknisestä suunnitteluraportista
- Geoteknisen suunnitteluraportin liitteistä, johon sisältyvät geotekniset laskelmat
- Muu suunnitteluvaiheessa hankittu tieto esim. laboratoriotutkimusten tulokset ja rakenteiden kuntotutkimukset

Sillan esisuunnitelma

Tulokset kootaan esisuunnitelman raporttiin, joka geotekniikan osalta sisältää:

- Kuvauksen pohjasuhteista
- Sillan geotekninen luokka
- Kuvauksen perustamisolosuhteista
- Alustavan arvion pohjarakentamisesta aiheutuvista ympäristövaikutuksista
- Alustavan arvion perustamisolosuhteiden vaikutuksesta sillan rakentamiskustannuksiin

Sillan yleissuunnitelma

Tulokset kootaan geotekniseksi suunnitteluraportiksi, joka on alustava perustamisselvitys ja joka sisältää:

- Kuvauksen pohjasuhteista ja pohjavedentasosta
- Sillan geotekninen luokka
- Tukien ja tulopenkereiden toteuttamiskelpoiset perustamistavat
- Kuvauksen pohjarakentamisesta aiheutuvista ympäristövaikutuksista ja arvion tarvittavista suojaustoimenpiteistä
- Arvion perustamisolosuhteiden vaikutuksesta sillan rakentamiskustannuksiin

Tie- tai ratasuunnitelmavaihe

Pohjasuhteet selvitetään siten, että voidaan suunnitella ja mitoittaa

- Kaikille tuille teknisesti toteuttamiskelpoiset ja taloudelliset perustamisratkaisut
- Tulopenkereiden pohjanvahvistus tai perustaminen

Vesilainmukaista käsittelyä varten selvitetään:

- rakentamistoimenpiteet, jotka vaikuttavat pysyvästi tai rakentamisen aikana vesistöön tai pohjaveteen
- Sillan ja penkereen vaihtoehtoiset perustamistavat. AVI:lle esitetään yleensä vain yksi ratkaisu

Tie- tai ratasuunnitelmavaihe

Sillan geotekniset piirustukset

- Pohjatutkimustulokset
- Perustamistavat

Geotekninen suunnitteluraportti, joka sisältää:

- Kuvauksen pohjasuhteista ja pohjavedentasosta
- Sillan geotekninen luokka
- Tukien ja tulopenkereiden toteuttamiskelpoiset perustamistavat
- Selvityksen pohjarakentamisesta aiheutuvista ympäristövaikutuksista
- Työvaiheet ja työnaikaiset rakenteet, jotka vaikuttavat kustannuksiin

Sillan rakennussuunnitelma

Tarkennetaan edellisen suunnitteluvaiheen ratkaisuja

Laadittavat tulosteet sisältävät:

1. Geotekniset piirustukset

2. Sillan geoteknisen suunnitteluraportin, johon sisältyy:

- Kuvaus pohjasuhteista ja pohjavedentasosta
- Suunnitelmaratkaisut ja niiden perusteet
- Suunnittelussa käytetyt parametrit
- Siltakohtaiset laatuvaatimukset ja työselitykset
- Geotekniset laskelmat
- Pohjarakentamista koskevat selvitykset

Yhden toteuttamiskelpoisen ratkaisun osalta kaikki työvaiheet ja työnaikaiset rakenteet

Arkistointi ja tavoitteet

Väyläviraston näkemyksiä

- Kaikki rakennussuunnitelman suunnitelmat viedään taitorakennerekisteriin hyväksymisen jälkeen.
- Taitorakennesuunnitelmaan sisältyy myös geotekniset suunnitelmat.
- Suunnitelmien hyväksyntävaiheessa taitorakennerekisterissä ei vielä ole dokumentteja eikä Väyläviraston asiantuntija voi niiden olemassaoloa tarkistaa.
- Rakentamisen aikaisten suunnitelmien viemisestä rekisteriin sopimisesta vastaa yleensä rakennuttaja.
- Suunnitelmien puuttuminen aiheuttaa taitorakenteiden (pohja)rakenteiden omaisuudenhallintaan merkittävää haittaa.
- Pohjarakenteita on hankala todentaa jälkikäteen, jos suunnitelmia ei ole.

Arkistointi ja ohjeistus

Taitorekennerekisteristä puuttuu geoteknisiä suunnitelmia 66% vuoden 2011-2021 kohteista (3361 kpl)

Ohjeessa "TEIH 2000 Siltojen suunnitelmat, 3.2.6 Geotekniset piirustukset" kerrotaan "Sillan rakennussuunnitelmaan liitetään geotekniset piirustukset".

Ohjeessa 36/2018 "Taitorakenteiden tiedon käsittely" kerrotaan jotain:

- Rakennuttaja/tilaaja (YSE 1998, KSE 2013) vastaa, että hankkeessa taitorakenteiden piirustukset ja laskelmat toimitetaan Taitorakennerekisteriin sekä arkistoon.
- Suunnittelija vie hyväksytyt yleispiirustukset (tai jossain tapauksessa yleispiirustukset) sekä rakennussuunnitelmaselostuksen Taitorakennerekisteriin ennen rakennussuunnitelman tilaajalle luovuttamista.
- Rakentamisvaihe: Tähän vaiheeseen liittyvien Taitorakennerekisteritöiden tekijät sovitaan tapauskohtaisesti eli tilaaja päättää ja sopii työstä. Taitorakenteen tyypistä tai hankkeen laajuudesta riippuen taitorakennerekisteritöitä voi tehdä tilaajan edustaja, valvoja, urakoitsijan edustaja tai erikseen tähän tehtävään valittu konsultti.

Ohjeessa "Pohjatutkimusten arkistointi ja siirtäminen valtakunnalliseen (GTK) pohjatutkimusrekisteriin" kerrotaan "Pohjatutkimustiedot tulee toimittaa tilaajan hankekohtaiseen arkistoon / lähtötietomalliin sekä sen lisäksi GTK:n pohjatutkimusrekisteriin"



Geotekniikan ja sillansuunnittelun yhteensovittaminen

Kuva Kimmo Häkkinen

Sillan pituus

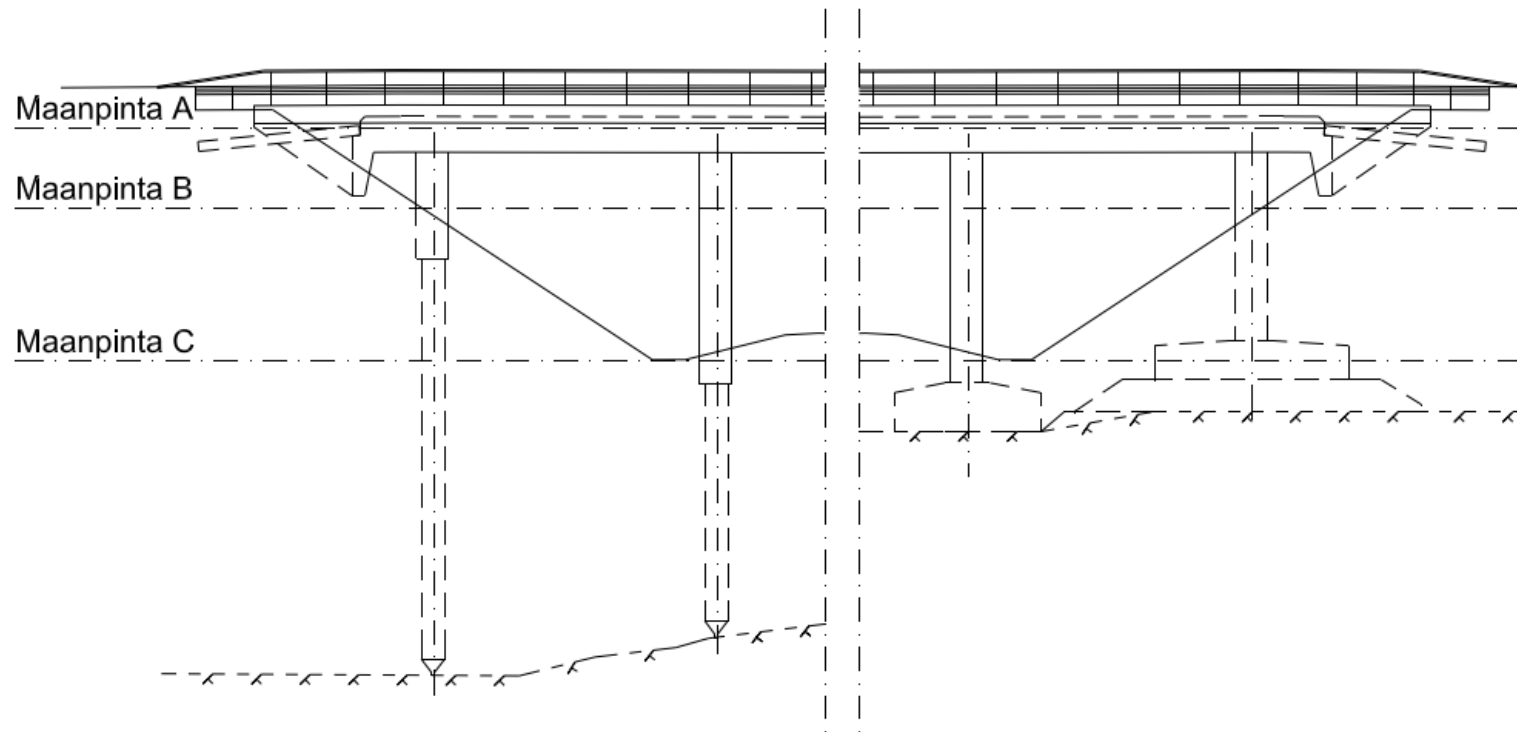
Tie- ja rataleikkausten suunnitteluohje VO35/2020

Tie- ja ratasuunnitelmavaiheessa:

Tilavarausta varten leikkausten suunnittelu tulee tehdä sillä tarkkuudella, että **sillan pituus** ja leikkausluiskien kaltevuudet sekä alustavat ratkaisut luiskien vahvistamiseksi pystytään määrittämään.



Sillan pituus / etuluiskan kaltevuus / tulopenkereen stabiliteetti



VO9/2021:

Rakentamistavasta tai -järjestyksestä riippumatta liikuntasaumattomien siltojen taustatäyttöjen tiivistäminen on ongelmallista. Päätypalkin muotit vaativat tilaa eikä pengertä päätypalkin alla enää päästä muottien purkamisen jälkeen tiivistämään. Päätypalkin alle jää siten poikkeuksetta alue, jota ei voida tiivistää.

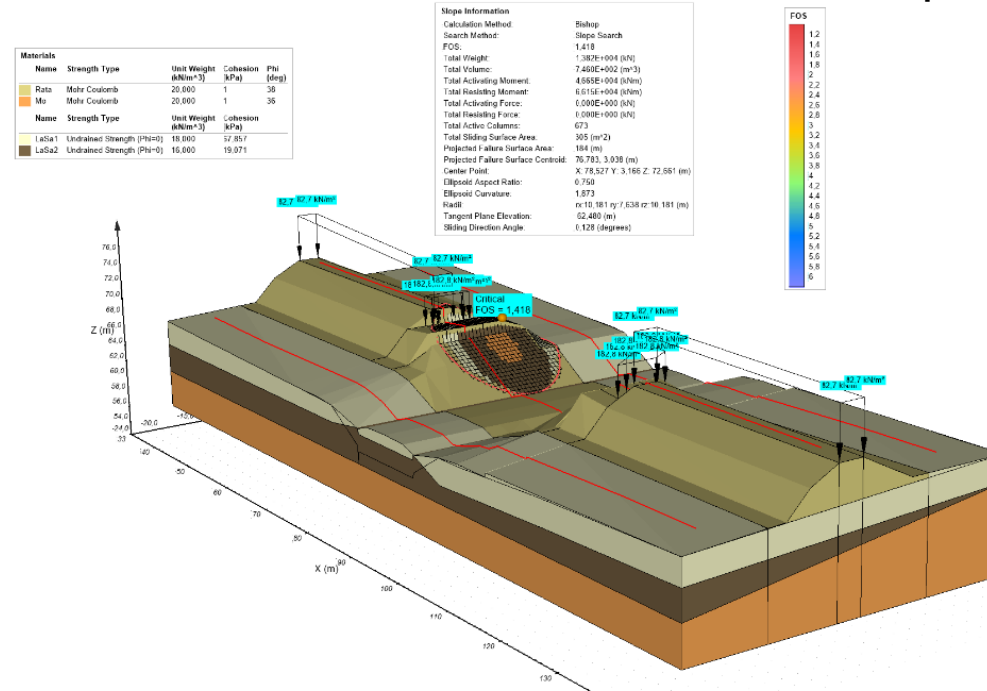
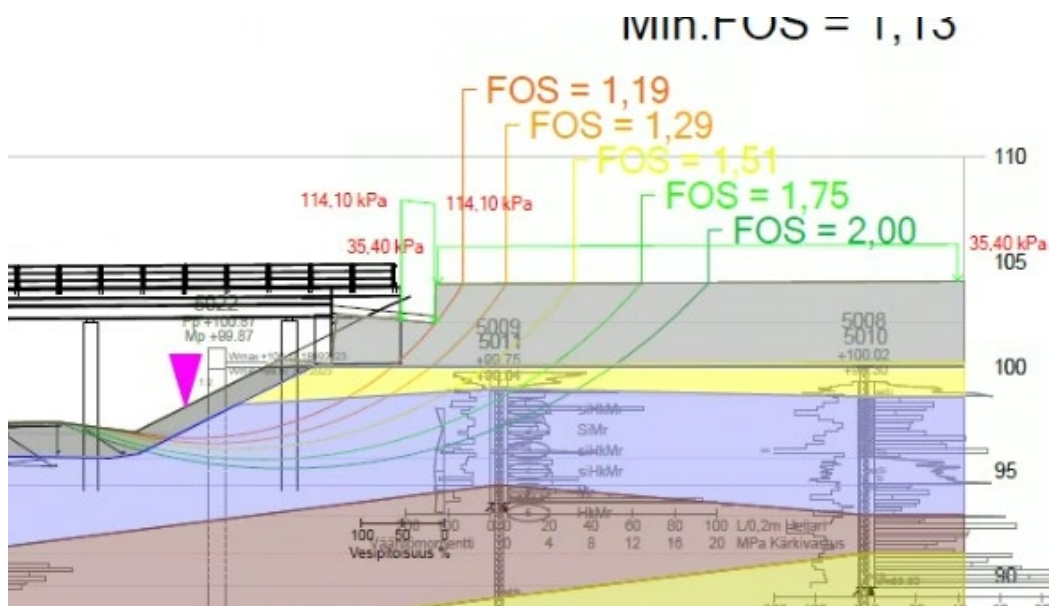
Sillan pituus / tulopenkereen stabiliteetti



Väylävirasto
Trafikledsverket

Stabiliteetin kannalta sillan tulopenger on aina 3-ulotteinen tilanne silta-aukkoon päin. Tämä korostuu korkeilla ja kapeilla penkereillä (esim. 1-raiteiset radat). 2D-laskelmat "helposti" johtavat laskennallisesti pieneen stabiliteettiin ja täten "turhiin" pohjanvahvistuksiin. NCCI7 on esitetty periaatteet / vaatimukset milloin on tehtävä 3D-stabiliteetilaskelmat.

Periaate (pengertapauksissakin): tulopenkereen stabiliteetti syytä olla selvitetty ennen sillan pituuden lopullista päättämistä. Tiesuunnitelma- ja ratasuunnitelmavaiheessa suositeltavaa mitoittaa siltapituus 1:2 luiskilla.



Pohjavesiselvitykset (alikulku) siltapaikoilla

Pohjavesiolosuhteet tulee selvittää **tie- ja ratasuunnitelmavaiheessa** niin tarkasti, että tiedetään:

- Vesiluvan tarve
- Pohjaveden alenemisen / alentamisen vaikutukset ympäristöön – suotovesimäärät ja vaikutukset olemassa oleviin rakenteisiin sekä vesistöihin, kaivoihin tai lähteisiin
- Periaateratkaisu pohjavedenhallinnalle (esim. tarvitaanko kaukalo)

Tarvitaan:

- Riittävästi pohjavedenpinnan havaintoja
- Tieto maakerrosten vedenläpäisyvyyksistä
 - (Tarvittaessa) slug-testejä
 - Tarvittaessa koepumppauksia
- Tiedot ympäristön rakenteista

Sikanevan yks





Väylävirasto
Trafikledsverket

Työnaikaiset tukiseinät/tuennat

On havaittu usein ongelmia urakointivaiheessa, jos rakentamissuunnittelussa tukiseinien osalta on vain ilmoitettu tuennan tarve. Myös havaintoja, ettei tukiseiniä toteuteta suunnitelmien mukaisesti.

Rakentamissuunnitteluvaiheessa työnaikaisista tukiseinistä tai muista tuennoista laaditaan yksi toteuttamiskelpoinen mitoitettu (ja dokumentoitu) ratkaisu (per kohde). Erityisen tärkeää ratakohteissa (liikennöity rata vieressä) ja kohteissa, missä tukiseinän vaikutusalueella vaurioitumisherkkiä rakenteita.

Suunnitelman tulee olla niin tarkasti laadittu ja dokumentoitu (velvoittavat ohjeet NCCI7 + RIL 263 ja RIL 271), että käytetyt materiaalit, tukitasot, kaivu- tai muut työvaiheet, laadunvalvontatoimenpiteet ym. käyvät selkeästi ilmi.

Myös urakoitsijan suunnitelma (joko vaihtoehto KU:ssa tai osa ST-hanke) tulee täyttää em. vaatimukset ja suunnitelma on hyväksyttävä tilaajalla (usein ulkopuolinen tarkastus ennen hyväksyntää).



Yleisesti tekniikka-alojen yhteensovittaminen

Siltapaikka olisi suunniteltava kokonaisuutena, missä eri tekniikkalajit yhteensovittavat ratkaisut. Havaintoja:

- Alittavan väylän hulevesiviemärit tai muut putkijohdot unohtuneet":
 - Työnaikainen stabiliteetti usein kriittinen juuri vesihuollon kaivun aikana
 - Salaojien taso eri geosuunnitelmissa, sillan leispiirustuksessa, kuivatussuunnitelmissa
 - Kuivatusputket törmäävät perustuksiin
- Routasuojaus unohtunut tai on eristetty vain anturat (alittavan väylän routanousu) tai siltapaikka täysin routaeristetty, mutta unohdettu alittavalle väylälle siirtymäkiilat
- Asiakirjojen ristiriitaisuuksia mm. käytetyt korroosiovarat, paalukuormat, PDA-vaatimukset jne.
- Piirustusten ristiriitaisuuksia tai yhteensovitus puuttuu
- Suunnitelmien sisäinen tarkastus dokumentoimatta





Paalutyypin valinta

Kuva Teemu Repo

Lyöntipaalu vai porapaalu (vai joku muu)

- Toistuvasti hyväksyttäväksi tulee siltoja, missä paalutyypiksi on valittu porapaalu vaikka pohjasuhteet / ympäristöolosuhteet mahdollistaisivat lyöntipaalun käytön
 - Usein selittävänä tekijänä paalutustoleranssi (ja siltasuunnittelija valinnut paalun suunnittelun alkuvaiheessa); "pelätään" poikkeamia
- **Ensisijainen paalu on lyömällä asennettava paalu**, edut:
 - Kantavuus voidaan varmistaa luotettavasti (kitkapaaluilla asettumisaika)
 - Lyöntipaaluja käytettäessä ei tarvita kallion laatututkimuksia
 - Yleensä (~aina) edullisempi kuin porapaalu
 - + Usein paalupituus useita metrejä lyhyempi (aina vähintään 3D), kitkapaalukohteissa eroa voi olla paalupituudessa kymmeniä metrejä, asentaminen yleensä nopeampaa ja samalla CO₂e-päästöt pienemmät, vähäisemmät pohjatutkimuskustannukset
 - seinämäpaksuus ja/tai halkaisija voi olla suurempi, jos mitoittava tekijä pystykuorma
 - Paalun puhdistus ja betonointi "helppoa" (paalu varmasti suljettu)

Lyöntipaalu vai porapaalu (vai joku muu)

- Pohja- ja ympäristöolosuhteet, missä lyöntipaalun käyttö harkittava ja otettava suunnittelussa tarkemmin huomioon:
 - paksut kiviset, lohkareiset täyttö- tai välikerrokset
 - Hyvin tiiviit maakerrokset
 - Em. syistä paalupituus voi jäädä lyhyeksi – vaikutukset ylärakenteisiin
 - Vaino kalliopinta, eikä paalua tukevia kitkamaakerroksia paalun alapään kohdalla
 - Hyvin vaino kalliopinta, vaikka kalliopäällä tukea antavia kitkamaakerroksia
 - Kohteet missä maan syrjäytyminen tai tiivistyminen, tärinät, huokospaineen nousu voivat aiheuttaa riskiä
 - Pitkillä paaluilla, mitkä tukeutuvat moreeniin, ei saa tavoitella PTL3 maksimikapasiteetteja

Keinoja:

- ✓ varovaiset paalukuormat
- ✓ varaudutaan suurempiin toleransseihin mitoituksessa
- ✓ koepaalutus
- ✓ pinnassa olevaan täytteen läpäisy poraamalla
- ✓ tarkat lyöntiohjeet
- ✓ reiällinen kalliokärki
- ✓ monitorointi / asennusjärjestys

Lyöntipaalu vai porapaalu (vai joku muu)

Porapaalujen haasteet:

- Ehjän kallion toteaminen / porapaalun kantavuuden varmistaminen, korostuu mitä pitempi paalu ja/tai kun kallionpäällä tiivis/lohkareinen moreeni
 - Ei-ehjään kallion tukeutuvan porapaalun mitoituksen ja toteutuksen haasteet; dynaamiset koekuormitukset, injektointi ennen tai jälkeen betonoinnin, paaluputken nosto
- Poraus hyvin vinoon kallionpintaan
- Pitkillä paaluilla haastavissa olosuhteissa porapaalun kärkiosien kestävyys
- Vanhat teräs(betoni)rakenteet/kappaleet maaperässä "myrkkyä", puupaalut merkittävä hidaste
- Ilman karkailu, painumat, huokospaineen nousut
- Paalun pohjan puhdistus, veden tulo paaluputkeen, betonoinnin riskit
- Tärinän välittyminen ympäristöön, maan resonointi

Paalutyypin valintaan vaikuttaa moni tekijä – vaatii riittävien (määrä ja laatu) pohjatutkimusten lisäksi geotekniseltä suunnittelijalta ja siltasuunnittelijalta paalutuksen toteutukseen liittyvää osaamista ja hyvää yhteistyötä.

Yhteenveto

- Pohjatutkimukset pitäisi tehdä vaiheittain monessa eri suunnitteluvaiheessa.
- Suunnittelun perusteet selvitetään ja vaihtoehdot vertaillaan viimeistään rata- ja tiesuunnitteluvaiheessa.
- Arkistoinnin kannalta geotekniset suunnitelmat ovat osa taitorakennesuunnitelmaa.
- Porapaalut ei välttämättä ole mikään yleispätevä varma perustamistapa. Toki niillä pääsee helposti liikkeelle, jos tarkoituksenmukaista perustamistapaa ei ole selvitetty.
- Sillan taustalle tuleva tukiseinä ei välttämättä ole optimi rakenne. Toki sillä saanee tulopenkereen vakavuutta paremmaksi, jos silta on suunniteltu liian lyhyeksi.



Väylävirasto
Trafikledsverket