

# Geoteknikkojen terveiset

Siltatekniikan päivät 06.-07.2024

Veli-Matti Uotinen



Väylävirasto  
Trafikledsverket





# Esityksen sisältö

- Ohjekatsaus (NCCI7)
- Suunnitelmien ja pohjatutkimusten arkistointi
- Paalutyypin valinta
- Geotekniikan ja sillasuunnittelun yhteensovittaminen



# Ohjekatsaus

Voimassa olevat ohjeet <https://vayla.fi/palveluntuottajat/ohjeluetelo>

# Eurokoodin soveltamisohje Geosuunnittelu-NCCI7

Väyläviraston ohjeita 14/2023



Väylävirasto  
Trafikledsverket

## 5.3.2.1 Porapaalun (geotekninen) puristuskestävyys

- Kallion ehjyys selvitetään aina porakonekairauksin.
- Lisäksi kallion laatu on varmennettava taulukon 5.1 mukaisissa kohdissa, joko reikäkuvauksin tai kalliosydännäyttein.
  - Yli 400 mm paaluilla
  - Porakonekairauksin rikkonaisessa kalliossa
  - Tutkitusta kalliosta määritetään GSI- tai Q'-luku
- Haasteellisissa kohteissa kalliotekninen asiantuntija mukana määrittämässä porapaalun geoteknistä kestävyyttä.

Taulukko 5.1. Kallion laadun minimitutkimustarpeet sekä kallioteknisen asiantuntijan tarve kallion laadun, kaltevuuden sekä paalun halkaisijan suhteen.

		Kallion laatu ja kaltevuus			
		Ehjä ja kaltevuus < 30°	Ehjä ja kaltevuus ≥ 30°	Ei ehjä ja kaltevuus < 30°	Ei ehjä ja kaltevuus ≥ 30°
Porapaalun halkaisija	Alle 400 mm	P	PT+K	P+L+K	PT+L+K
	400 mm tai suurempi	P+L	PT+L+K	P+L+K	PT+L+K

Taulukon merkintöjen selitteet alla

P=Porakonekairaukset

PT=Porakonekairaukset tiheästi kallionpinnan muodon selvittämiseksi

L=Kallion laatututkimukset, joko reikäkuvauksin (ensi sijassa porareian optinen kuvaus OBI) tai kalliosydännäyte. Tutkitusta kalliosta määritetään GSI-luku tai Q'-luku.

K=Kalliotekninen asiantuntija mukana määrittämässä porapaalun geoteknistä kestävyyttä.

# Eurokoodin soveltamisohje Geosuunnittelu-NCCI7

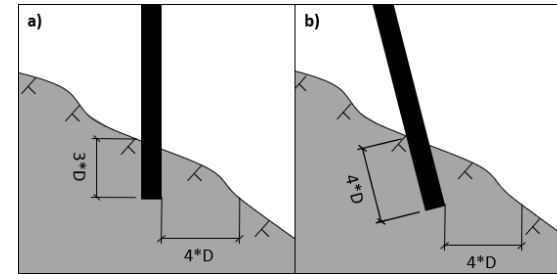
Väyläviraston ohjeita 14/2023



Väylävirasto  
Trafikledsverket

## 5.3.2.1 Porapaalun (geotekninen) puristuskestävyys

- Ehjä kallio määritellään seuraavasti:
  - joka on harva- tai vähärakoista (rakotiheysluokka Rk1...Rk 2)
  - jonka raot ovat tiiviitä
  - jossa kivi on rapautumatonta tai vähän rapautunutta
- Kallion laatututkimuksiin (reikäkuvaus tai kalliosydännäyte) perustuvalla menettelyllä ehjäksi kallioiksi luokitellaan kallio:
  - Josta määritetyn GSI-luvun vaihteluväli on 50...60 tai tätä suurempi.
- tai
  - josta määritetyn  $Q'$ -luvun arvo on 4 tai tätä suurempi.
- Kaltevassa kalliossa täsmennetty porapaalun minimiupotussyvyttä paalun vinouden suhteen
- Upotussyvyydellä varmistetaan riittävä sivuttaistuki 4D ehjässä kalliossa.
  - Erittäin vinojen kallionpintojen osalta (yli 30°) ja ei ehjässä kalliossa minimiupotussyvydet määritettävä yhteistyössä kallioteknisen asiantuntijan kanssa



		Kalliopinnan kaltevuus			
		0° <sup>2)</sup>	15° <sup>2)</sup>	30° <sup>2)</sup>	45° <sup>3)</sup>
Paalun vinous	-4:1	3*D	3*D	3*D	5*D <sup>1)</sup>
	-10:1	3*D	3*D	3*D	5*D <sup>1)</sup>
	0	3*D	3*D	3*D	6*D <sup>1)</sup>
	10:1	3*D	3*D	4*D	6*D <sup>1)</sup>
	4:1	3*D	3*D	4*D	8*D <sup>1)</sup>

# Eurokoodin soveltamisohje Geosuunnittelu-NCCI7

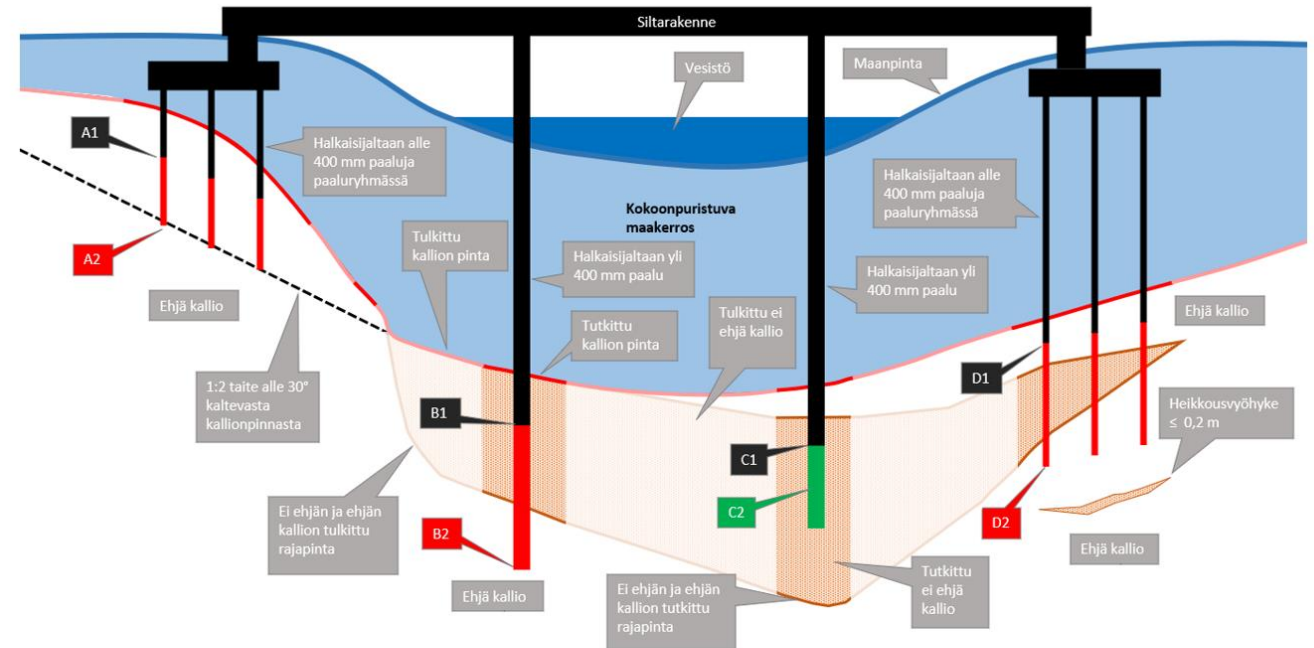
Väyläviraston ohjeita 14/2023



Väylävirasto  
Trafikledsverket

## 5.3.2.1 Porapaalun (geotekninen) puristuskestävyys

- Lämpikäyty esimerkein eri perustamistapavaihtoehtojen vaikutusta suunnittelu- ja lähtötietotarpeisiin
  - Kallion ehjyys tutkitaan **aina** paalujen kärkitason alapuolelta syvyydelle 3D, mutta vähintään 2 metriä.
- Ehjässä kalliossa porapaalun alapuolisen kallion kokoonpuristuma on niin pieni, että sitä ei tarvitse mitoituksessa ottaa huomioon.  
*Muussa tapauksessa kallion kokoonpuristumasta aiheutuva paalun painuma tulee arvioida, ja tarvittaessa ottaa huomioon rakenteellisessa mitoituksessa*



Kuva 5.6.

Esimerkkejä porapaalun geoteknisen kapasiteetin määrittämistilanteista sekä määrittämisessä tarvittavat tutkimustiedot sekä kalliosuunnittelijan tarve.

# Eurokoodin soveltamisohje Geosuunnittelu-NCCI7

Väyläviraston ohjeita 14/2023



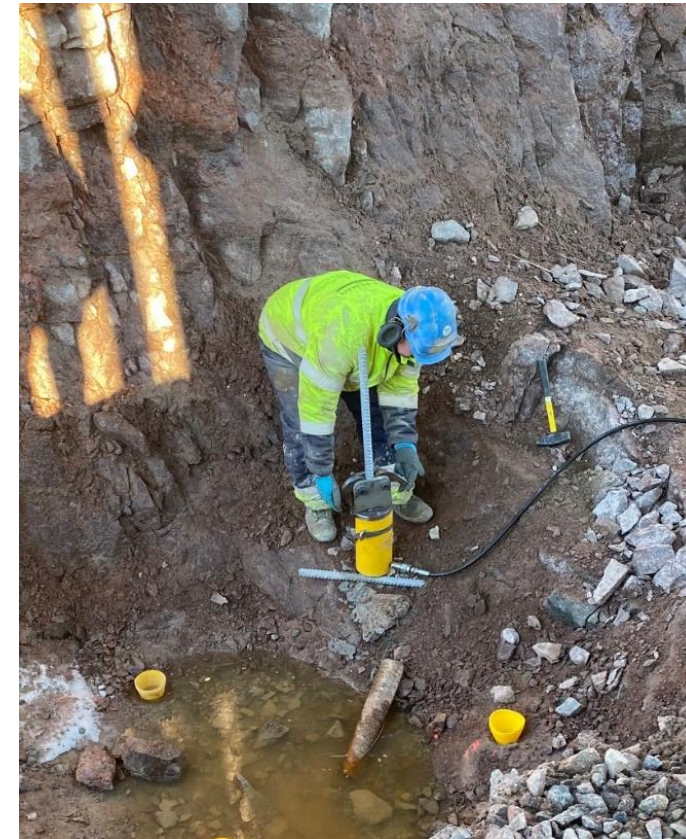
Väylävirasto  
Trafikledsverket

## 5.4.5 Muut ankkurointiin käytettävä rakenteet

Rakenteet, joilla ei ole vapaata pituutta:

- Tartuntaterästen asennusreiän halkaisijan tulee lähtökohtaisesti olla vähintään 2-kertainen tartuntateräksen halkaisijaan nähden.
- Tartuntateräksen asennuksessa käytetään keskittimiä, joita sijoitetaan -teräkseen noin 1,5 m välein
- Tartuntateräksille tehdään hyväksyntäkokeet ( $\geq 20\%$ , min.3kpl) Kokeessa koestetaan injektointimassa-kallio- ja tartuntateräs-injektointimassa-kontaktit.
- Pysyvissä rakenteissa tartuntaterästen korroosiosuojauksena käytetään vähintään kuumasinkitystä, jossa sinkin paksuus on 120/150  $\mu\text{m}$  (minimi/keskiarvo).

Mikäli tartuntateräkset altistuvat epätavanomaisille korroosio-olosuhteille tai suolaiselle vedelle, kuten merivedelle tai tiesuolauksen aiheuttamalle rasiitukselle, käytetään sinkki + epoksinnoitetta



# Eurokoodin soveltamisohje Geosuunnittelu-NCCI7

Väyläviraston ohjeita 14/2023



Väylävirasto  
Trafikledsverket

## Muita (merkittävimpiä) päivityksiä

- 4.5 Maantieliikenteen kuormat, EN 1991-2 soveltaminen
- 4.9 Tukiseinien ja tukimuurien mitoittavat maanpaineet
- 5.6 Penkereessä liikkuvaan sillan päähän kohdistuva maanpaine poistettu ja viitataan Liikuntasaumattoman sillan suunnittelu ohjeeseen VO 9/2021
- Jäätyneen maan jäykkyyden määrittäminen
- Liite 5 (korroosio, rasitusluokka) päivitetty lähes kokonaisuudessaan mm.
  - pohjatutkimusvaatimukset
  - tiesuolauksen korroosion huomioiminen korroosiolisänä (+2mm)
  - HaSu-maiden tunnistaminen, mustaliuske osio
  - tavanomaisten olosuhteiden maakorroosion arvoja kasvatettu,
  - veden ja meriveden korroosioarvoja kasvatettu ja lisätty rasitusvyöhykkeet
  - täydennetty avoimien putkipaalujen sisäpuolista korroosio-osiota
  - päivitetty betoniin kohdistuva kemiallinen rasitusosio
  - lisätty ohjeellinen tutkimusohjelma





# Paalulaattarakenteiden suunnittelu VO 40/2023

## Merkittävimmät päivitykset:

- Elementtirakenteille ohjeet. Kolmiolaattojen käyttöedellytykset täsmennetty.
- Paaluhattarakenteiden käyttö rajattu olemassa olevien kohteiden korjauksiin.
- Paalulaatta-maa / paalulaatta-silta –yhteistoiminta huomioon ottaminen mitoituksessa. Edellytykset pelkkien pystypaalujen käytölle.
- Rata- ja tieliikennekuorma päivitetty. NCCI7 ja NCCI1 mukaisia (vastaa myös uutta EN1991-2).
- Sisäisen halkaisuvoiman laskenta on uudistettu
- Junan aiheuttamaa sivusysäysvoimaa täsmennetty Porin mittausten perusteella
- Päivitetty suunnitelman sisältö ja tietomallivaatimukset

Lisäksi päivityksessä on täsmennetty mm. rakentamispaikan olosuhteiden vaikutuksen huomioon ottamista sekä siirtymärakenteiden mitoitusta.



# Taitorakennerekisterin geotekniset suunnitelmat

- Geotekniset suunnitelmat (piirustukset, geotekninen suunnitteluraportti liitteineen) ovat olennainen osa taitorakenteen rakentamissuunnitteluaineistoa
- Tästä huolimatta merkittävä osa geoteknisistä suunnitelmista ei ole arkistoitu/toimitettu taitorakennerekisteriin.
- V.2011-2021 valmistuneiden taitorakennerekisterin kohteista (3361 kpl) ainoastaan 29%:ssa löytyy geotekniset suunnitelmat ja lisäksi 5% löytyy hajanaista geoteknistä tietoa
- Suunnitelmien puuttuminen aiheuttaa taitorakenteiden (pohja)rakenteiden omaisuudenhallintaan merkittävää haittaa
- Vastuu rakentamissuunnitelmien viennistä taitorakennerekisteriin on sillan vastuusuunnittelijalla
- Huom. Pohjatutkimusten arkistoinnissa vastaavia puutteita (vastuullinen geotekninen suunnittelija)  
[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/pohjatutkimusten\\_arkistointi\\_ja\\_siirtaminen\\_valtakunnalliseen\\_rekisteriin\\_1.1.2024.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/pohjatutkimusten_arkistointi_ja_siirtaminen_valtakunnalliseen_rekisteriin_1.1.2024.pdf)

# Paalutyypin valinta

# Lyöntipaalu vai porapaalu (vai joku muu)

- Toistuvasti hyväksyttäväksi tulee siltoja, missä paalutyypiksi on valittu porapaalu vaikka pohjasuhteet / ympäristöolosuhteet eivät estäisi lyöntipaalun käyttöä
  - 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 CO<sub>2</sub>e-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 "myrkyä", puupaalut merkittävä hidaste
- Ilman karkailu, painumat, huokospaineen nousut
- Paalun pohjan puhdistus, veden tulo paaluputkeen, betonoinnin riskit

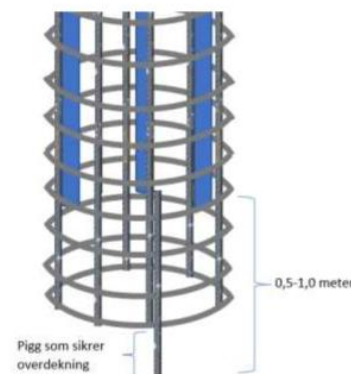


Figure 9-8 Inspection pipe on the inside of the reinforcement basket

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

A photograph of a concrete bridge under construction in a rural setting. The bridge consists of several long, rectangular concrete beams supported by cylindrical concrete pillars. In the foreground, there is a large pile of grey rocks. The background shows a forest of trees with some autumn-colored foliage and a few buildings. The sky is clear and blue. A semi-transparent blue banner is overlaid across the middle of the image, containing the title text.

# 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.

Tie- ja rataleikkausten vaativuusluokitus stabiileetin kannalta				Lähde: RIL 263-2014	
Kohde:		Laatija:		Yritys:	
Osoite:		Tilaaja:		Pvm:	
Luokituskriteerit	Tavanomainen	Vaativa	Erittäin vaativa		
<b>1 Pohjaolosuhteiden vaihtelu</b>		GL1	GL2	GL3	
1.1 Maapohjan kerrosrakenteen vaihtelu	pientä	keskimääräistä	suurta		
1.2 Geoteknisten mitoitusarvojen vaihtelu	pientä	keskimääräistä	suurta		
<b>2 Leikkauksen syvyys</b>		GL1	GL2	GL3	
2.1 Leikkauksen syvyys	$s_u > 25 \text{ kN/m}^2$ $\varphi > 32^\circ$ $s_u = 25 \dots 10 \text{ kN/m}^2$ $\varphi = 32 \dots 25^\circ$ $s_u < 10 \text{ kN/m}^2$	< 5m < 4m < 3m	5...10 m 4...8 m 3...6 m	> 10 m > 8 m > 6 m	
<b>3 Pohjavesiolosuhteet ja pohjaveden hallinta</b>		GL1	GL2	GL3	
3.3 Leikkauksen pohjan hydraulisen murtuman riski	ei	ei	on		
3.4 Ympäristön pohjavesitasen aleneminen	sallitaan	ei sallita	ei sallita		
3.9 Pohjaveden alentamisen rakentamisaikana	onnistuu	ei onnistu	ei onnistu		
<b>4 Ympäristöolosuhteet ja ympäristövaikutusten hallinta</b>		CC1	CC2	CC3	
4.1 Leikkauksen vaikutusalueella olevat rakenteet		on	on		
Perustuksia maapohjan muodonmuutoksen riskialueella	ei	on	on		



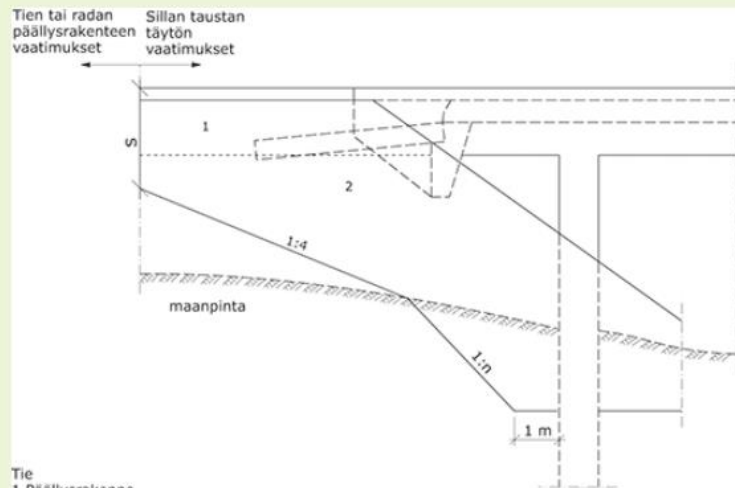


# Sillan pituus / etuluiskan kaltevuus / tulopenkereen stabiliteetti

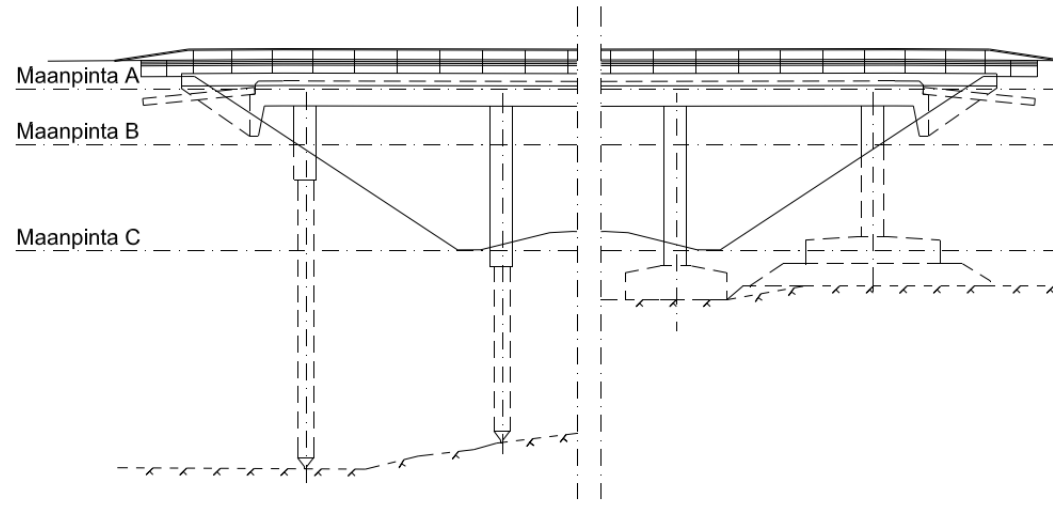


Väylävirasto  
Trafikledsverket

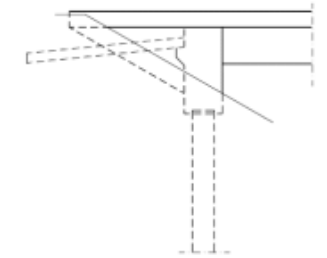
Kuva 42013:K2. Esimerkki, sillan päätytuen vastaiset täytöt.



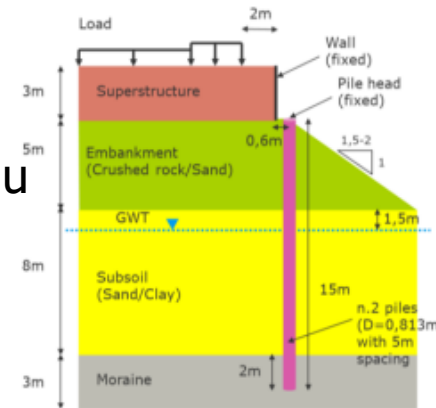
- Tie  
1 Päällysrakenne  
2 Ylin 3 m tien pinnasta: kantavan kerroksen vaatimukset  
Alaosa: jakavan kerroksen vaatimukset  
S Siirtymäkiilasyvyys
- Rata  
1 Radan päällysrakenne  
2 Välikerroksen vaatimukset  
S Routimattoman radan rakennekerrosten kokonaispaksuus (RATO 3 LO 13/2018)
- Kaivantoluiskan kaltevuus (1:n) suunnitelman mukaan. Penkereellä kaltevuus 1:4.
  - Siirtymäalaan alueella sillan taustan routimaton täyttö tulee ulottua vähintään routimattomaan perustamissyvyyteen ( $F_{50}$ ) väylän yläpinnasta (NCCI7 LO 13/2017)



Kantavilla pohjamailla ja kun alittava väylä ei juuri leikkaudu alkuperäisen maanpinnan alle, InfraRYL:n mukaan taustan täyttö jakavan/kantavan/välikerroksen materiaalista 1:1.5 etuluiska yleensä mahdollinen. 1:1.5 tuo omat haasteet taustatäytön ja etuluiskan tiivistämiseen.



Non-cantilever (NCA)



VO9/2021:

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

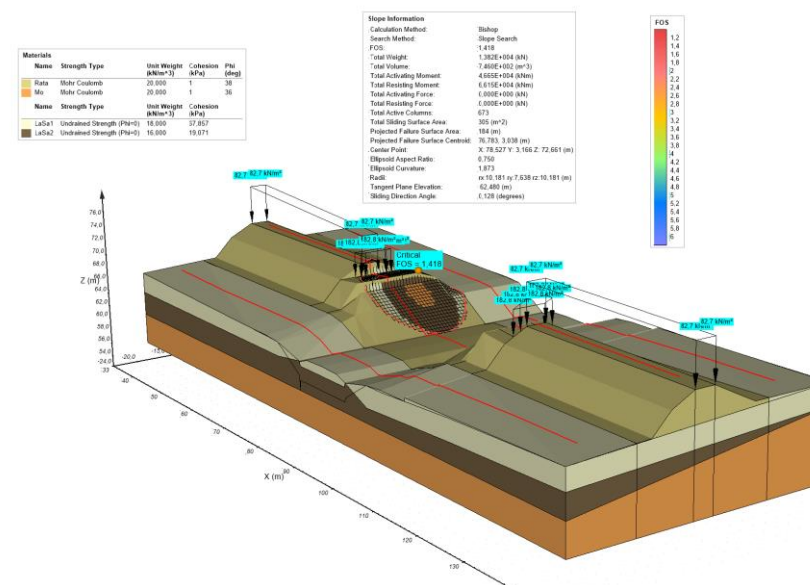
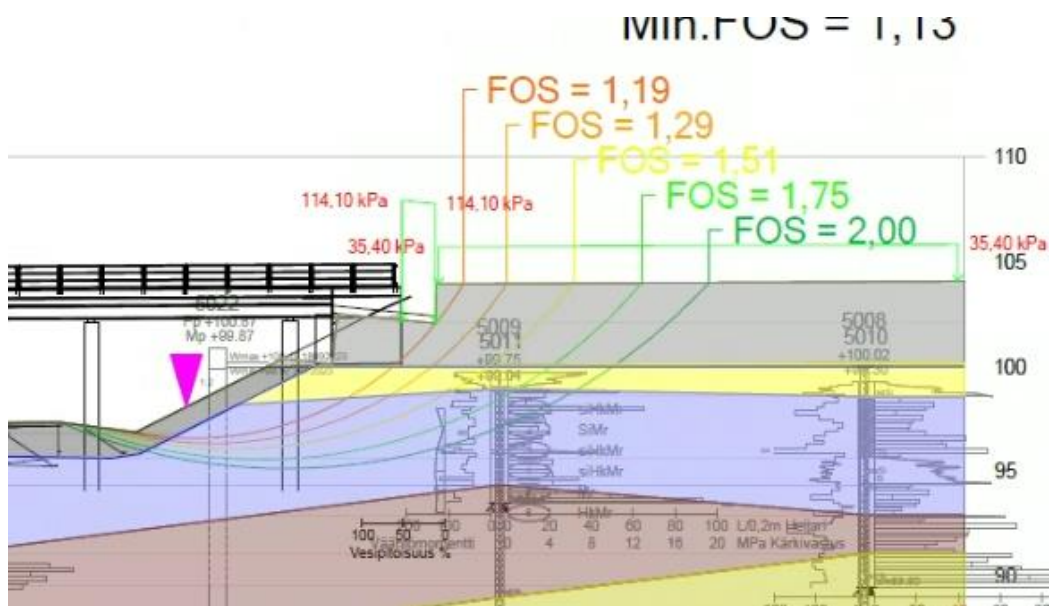
# Sillan pituus / tulopenkereen stabiliteetti



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  
aks...eiku 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 yleispiirustuksessa, kuivatussuunnitelmissa
  - Putket törmäävät perustuksiin
- Routasuojaus unohtunut tai on eristetty vain anturat (alittavan väylän routanousu) tai siltapaikka täysin routaeristetty, mutta unohdettu alittavalle väylälle siirtymäkiilat
- Geoteknisen suunnitteluraportin, mahdollisen pohjarakennustöiden työselityksen, rss:n ja rakennelaskelmien ristiriitaisuudet mm. käytetyt korroosiovarat, paalukuormat, PDA-vaatimukset jne.
- Piirustusten keskinäinen ristiriitaisuus
- Suunnitelmien sisäinen tarkastus...



# Suunnittelun ja toteuksen laadun parantaminen

- Suunnittelun organisointi ja johtaminen
- Yhteistyö, yhteistyö, yhteistyö
- Proaktiivinen toiminta osapuolten kesken
- Realistisemmat suunnitteluaiakataulut (koskee kaikkia hankemuotoja)
  - Annetaan geotekniselle suunnittelijalle edes teoreettiset mahdollisuudet antaa muille suunnittelijoille lähtötiedot
- Opitaan virheistä (ei peitellä virheitä/epäonnistumisia) - toteutuksessa erityisesti
- Reagoidaan poikkeamiin heti (erityisesti toteutuksessa)



Väylävirasto  
Trafikledsverket