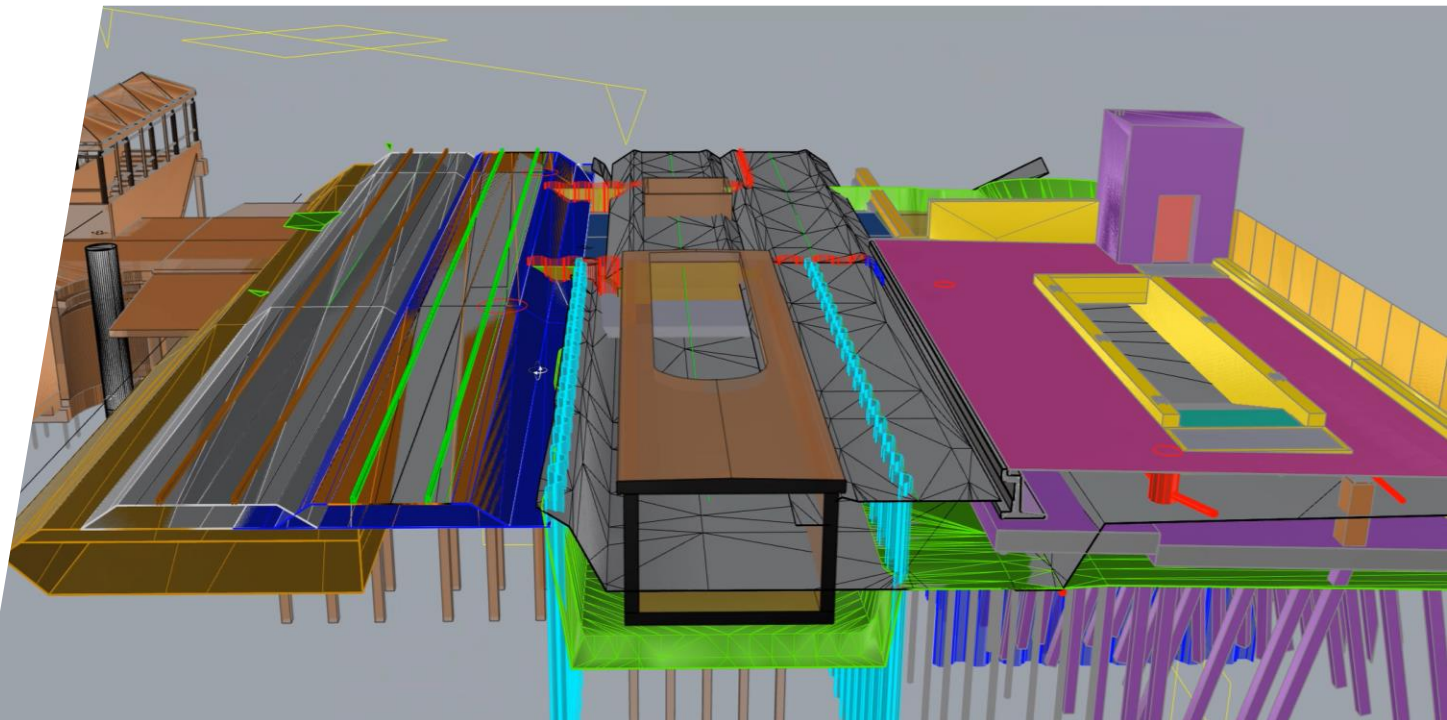


Siltatekniikan päivät
10.2.2026

Geotekniikan ajankohtaisia

Panu Tolla

Väylävirasto



Sisältö

- Uusi Eurokoodi 7
 - Uusi suunnittelujärjestelmä
 - Uudet geotekniset rakenteet
- Kalliovaraiset porapaalut
- Teräspaalujen asentaminen
- Siltapaikan suunnittelu



Väylävirasto
Trafikledsverket

SFS- EN 1997 Geotekninen suunnittelu



Väylävirasto
Trafikledsverket

Osa 1: Yleiset säännöt



SFS-EN 1997-1:2024

Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt

Eurocode 7. Geotechnical design. Part 1: General rules

Osa 2: Maan- ja kallion ominaisuudet



SFS-EN 1997-2:2024:en

Eurocode 7. Geotechnical design. Part 2: Ground properties

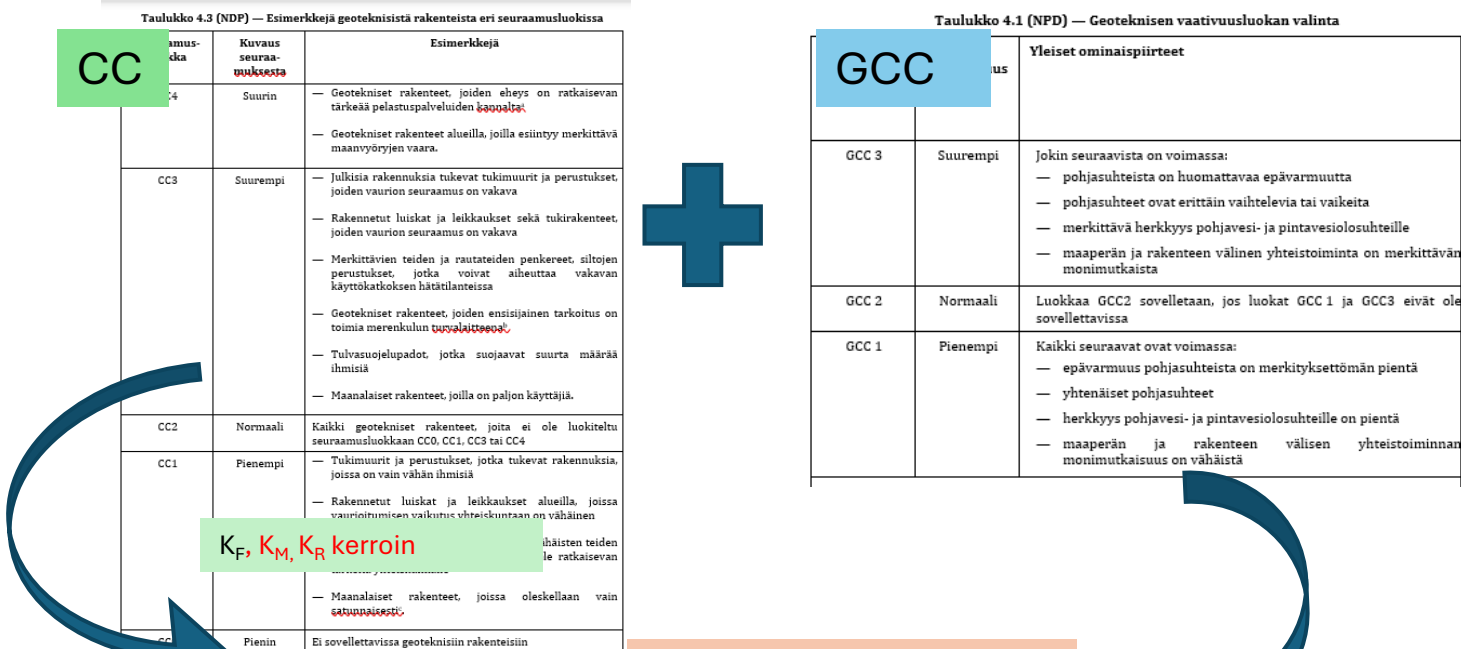
Osa 3: Geotekniset rakenteet



SFS-EN 1997-3:2025:en

1. Luiskat, leikkaukset, penkereet
2. Anturaperustukset
3. Paaluperustukset
4. Tukiseinät ja -muurit
5. Ankkurit
6. Lujitetut täyttömaarakenteet
7. Maanaulatut rakenteet
8. Kalliopultit ja kallioinnan lujitukset
9. Pohjanvahvistus
10. Pohjaveden hallinta

SFS-EN1997:2024: Luotettavuusjärjestelmä



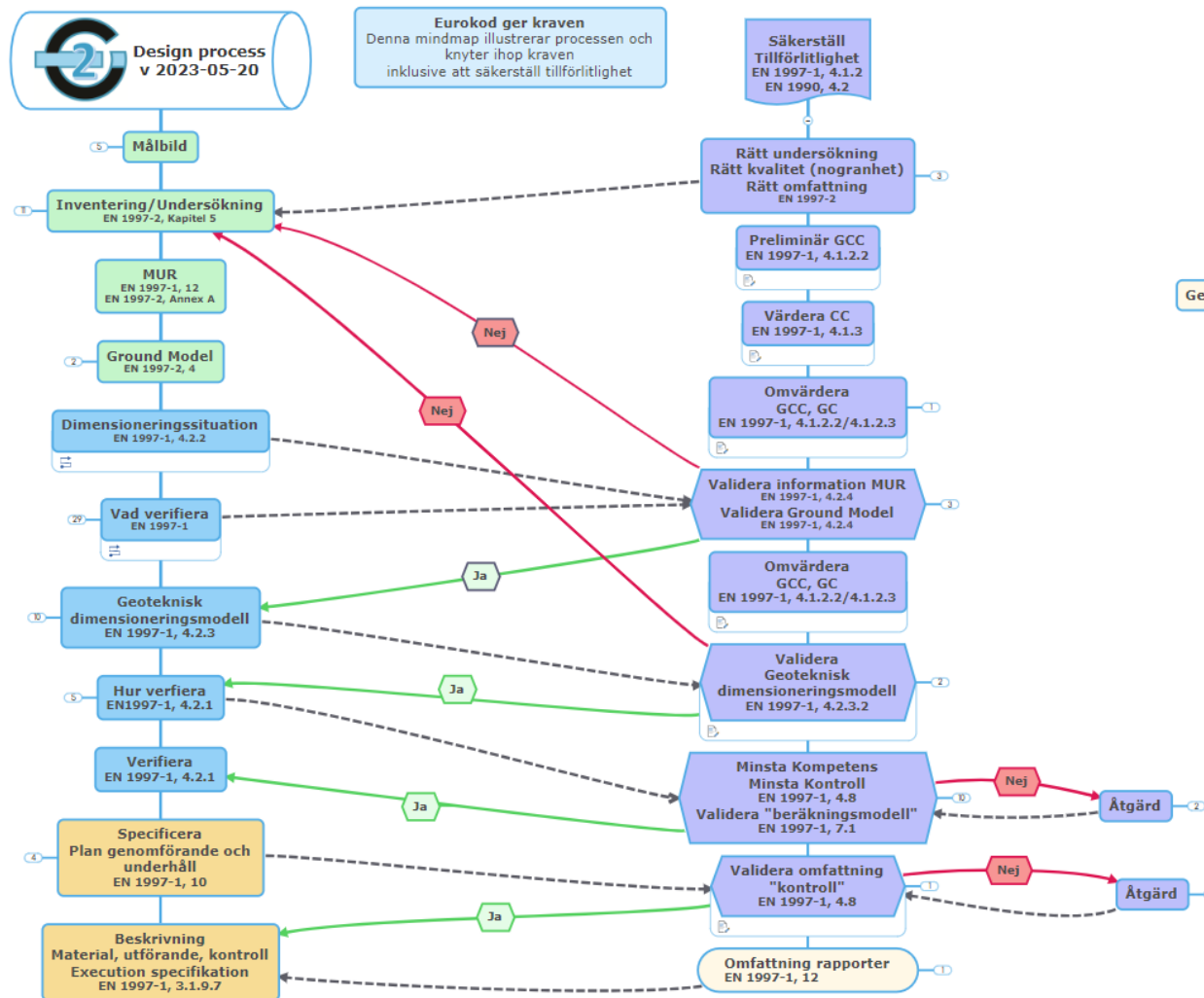
Taulukko 4.2 (NDP) — Geoteknisen vaativuusluokan (GCC) valinta

Seuraamuluokka (CC)	Geotekninen vaativuusluokka (GCC)		
	Pienempi (GCC1)	Normaali (GCC2)	Suurempi (GCC3)
Suuri (CC3)	GC2	GC3	GC3
Normaali (CC2)	GC2	GC2	GC3
Matala (CC1)	GC1	GC2	GC2

- ☐ Pohjatutkimukset
- ☐ Validointi:
 - GM Malli pohjasuhteista/pohjasuhteet
 - GIR Pohjatutkimusraportti
 - GDM Geotekninen suunnittelumalli
 - GCM Laskentamalli
- ☐ Pätevyys/laatu (SFS-EN1990-1):
 - Suunnittelija
 - Laadunhallinta: DCL, DQL, IL Raportointi
- ☐ Työselitys: valvonta, seuranta

SFS-EN 1997-1:2024...-3:2025

Suunnitteluprosessi (velvoittava)



/Franzen G., IEG 2.0/



Väylävirasto

Murtorajatilan tarkistus, laskennallinen

2028:

VC1_{RAK}

$\geq 1,0$

RFA (MFA)

-

VC3_{GEO}

$= 1,0$

MFA

-

VC4_{GEO}

na

RFA

$\geq 1,0$

VC2

$\geq 1,0$

MFA

-

kuormat

kestävyys

kuormien
vaikutus

2010:

DA2

DA3

DA2*

EQU,
UPL

STR / GEO

SFS-EN 1997-3:2025 Geotekniset rakenteet

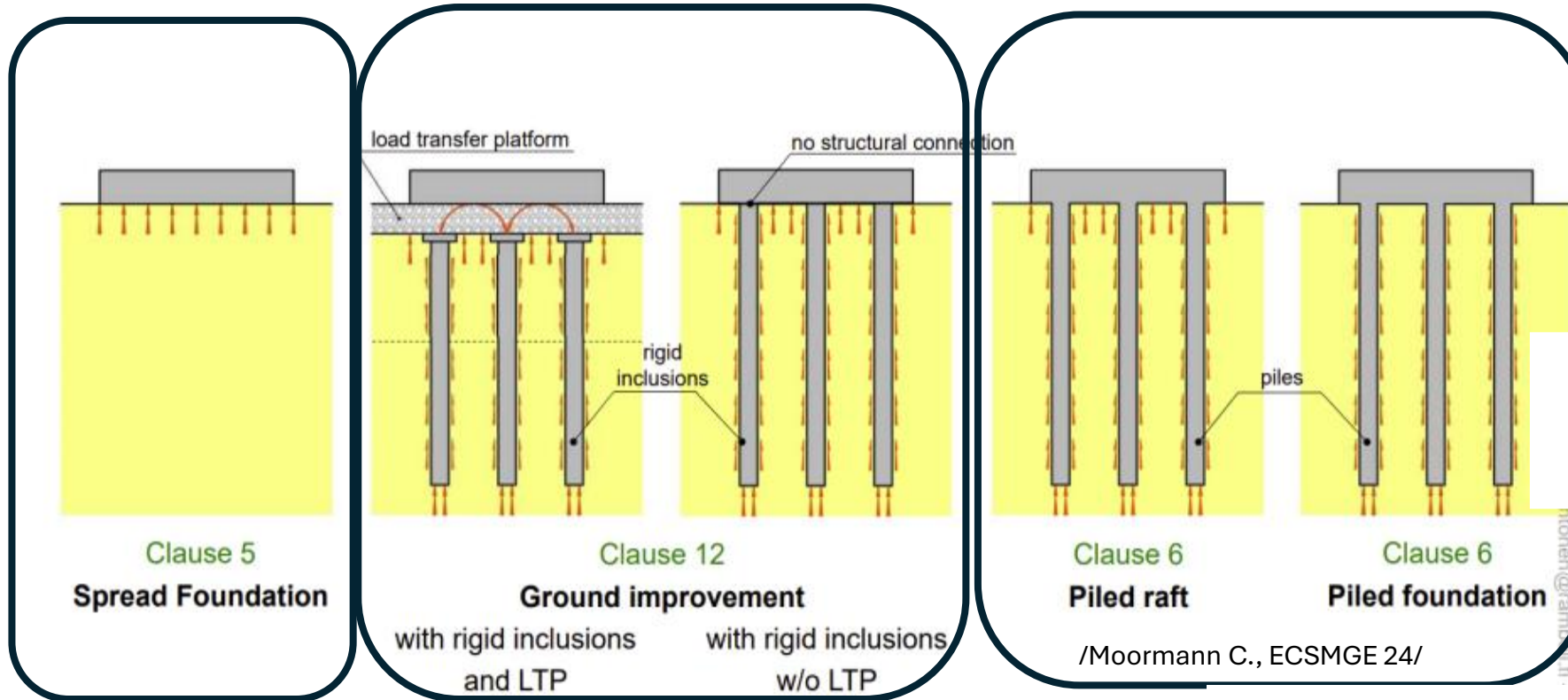


Väylävirasto
Trafikledsverket

5. Anturaperustukset

12. Pohjanvahvistus

6. Paalutetut perustukset



EN 1997-3:2005

Anturaperustukset:

Kokonaisvakavuus



Todennettava kestävyys	Osavarmuuden kohdistaminen	Symboli	Kestävyysskerroinm enetelmä (RFA) ^e , yhdistely (d) tai (e) ^c	
			(d)	(e)
Kokonaisvakavuus	Katso luku 4			
Kaatuminen	Katso SFS-EN 1990-1(VC2a)			
Kantokestävyys ja liukumiskestävyys	Kuormat ja kuormien vaikutukset	Y _F , Y _E	VC1 ^a	VC4
	Maan ominaisuudet	Y _M	Ei käytetä	
	Kantokestävyys	Y _{RN}	1,5	
	Liukumiskestävyys	Y _{RT}	1,1	1,2
	Vastus passiivisesta maanpaineesta	Y _{RT,face} /Ote: SFS-EN 1997-3 NA luonnos/	1,5	

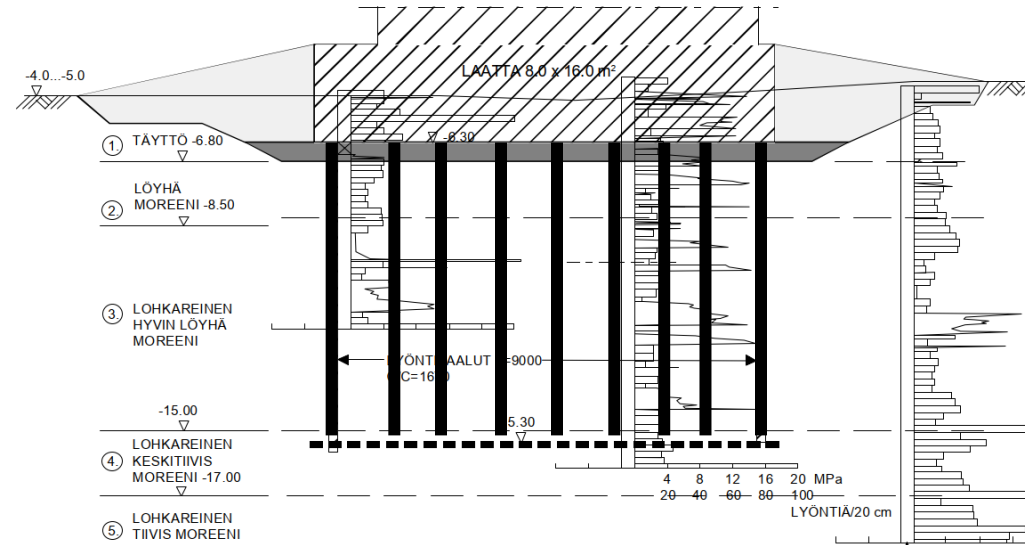
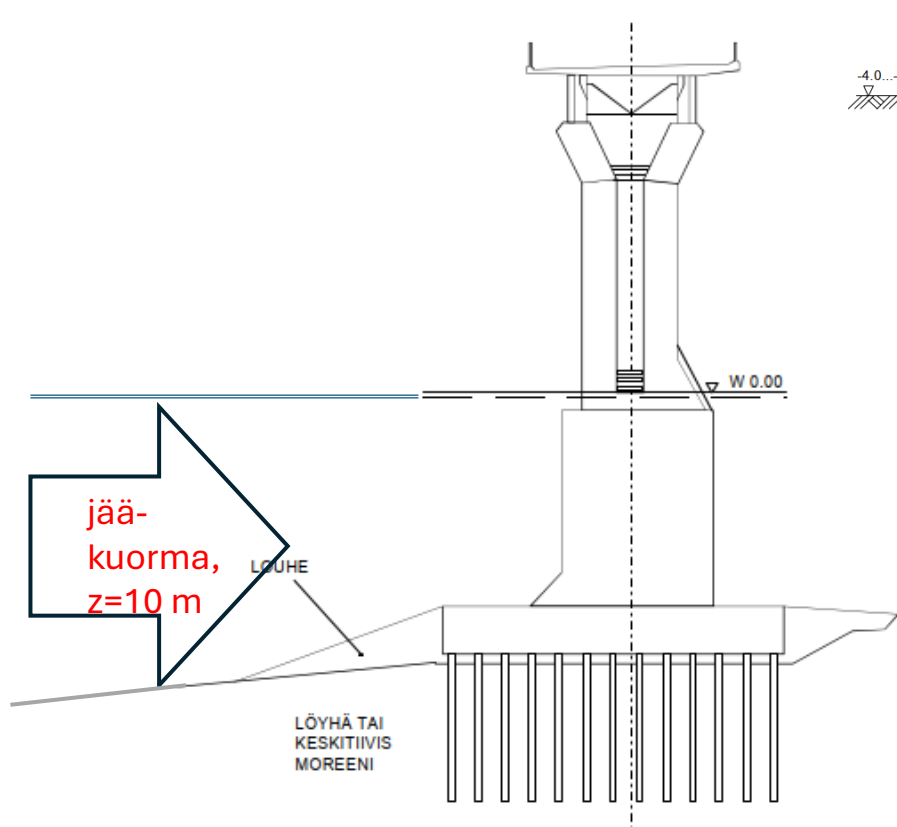


EN 1997-3:2005 Paalutettu laattaperustus: peruslaatta ja paalut yhdessä siirtävät kuorman pohjamaalle

Raippaluodon silta, Mustasaari



Väylävirasto
Trafikledsverket



Water lain till

Taulukko 3. Kannen valun aiheuttaman paalutettujen laattaperustusten mitattu ja arvioitu painuma

tuki	mitattu painuma [mm] (pääpalkista tuen kohdalta)	arvioitu painuma [mm]	Equivalent raft:n pohjapaineen muutos [kPa]
T8	4-6	4	73→106
T9	5	3	77→108
T10	5	3	67→94
T11	6-8	6	55→83
T12	7-9	6	47→77

/Tolla P., Hartikainen J., Rakennustekniikka 1999/

SFS-EN 1997-3:2025

P_{neg} eli

Painuvan maan aiheuttama negatiivinen vaippahankaus (NA)



Väylävirasto
Trafikledsverket

- Negatiivinen vaippahankaus syntyy, kun painuva maaperä liikkuu alaspäin suhteessa paaluun, jolloin paalun varren ja maaperän välille muodostuu alaspäin suuntautuva hankaava kuorma.
- Hankaus tapahtuu, kun maaperän painuma on suurempi kuin paalun painuma. Vaippavastus mobilisoituu 2-5 mm siirtymällä
- SLS

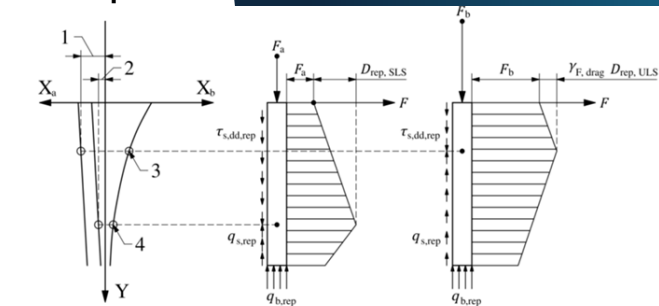
$$\Sigma F_{cd,SLS} = \sum_i G_{k,i} + D_{rep,SLS} + \sum_j \psi_{2,j} \cdot Q_{k,j} + (P_k)$$

- ULS

$$\Sigma F_{cd,ULS} = \begin{cases} \sum_i \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{F,drag} \cdot D_{rep,ULS} + (\gamma_p \cdot P_k) \\ \sum_i \xi_i \cdot \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j>1} \gamma_{Q,j} \cdot \psi_{0,j} \cdot Q_{k,j} + (\gamma_p \cdot P_k) \\ \sum_i \xi_i \cdot \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \xi_i \cdot \gamma_{F,drag} \cdot D_{rep,ULS} + \sum_j \gamma_{Q,j} \cdot \psi_{2,j} \cdot Q_{k,j} + (\gamma_p \cdot P_k) \end{cases} \quad (8.14^*)$$

- P_{neg} mikäli negatiivinen vaippahankaus on suurempi kuin yksikään muuttuvan kuorman aiheuttama paalun puristava voima
- NA Tukipaalu: Tällöin negatiivisen vaippahankauksen voidaan olettaa muodostuvan siihen syvyyteen saakka, missä maakerroksen painuma on ≥ 5 mm.
- NA: Jos maan painuma on huomattavasti suurempi kuin paalun painuma, voidaan negatiivisen vaippahankauksen olettaa muodostuvan koko painuvienmaakerrosten syvyydellä.

Neutraalipiste:



Key

X_a	S_pile	F_a	action at the pile head (SLS)
X_b	S_ground	F_b	action at the pile head (ULS)
Y	z_{ground}		
1	$S_{pile,ULS}$	2	$S_{pile,SLS}$
3	neutral point (ULS)	4	neutral point (SLS)

EN 1997-3:2025

Pohjanvahvistus BII

Pohjanvahvistus, luokka BII: Jäykkä vahviste (Rigid inclusion)

- Pohjamaata huomattavasti jäykempi rakennusosa – ”jööti”
- Materiaalia /tuotteita tai rakentamismenetelmää ei rajattu

Funktio:

- Kantokestävyyden parantaminen
- Kokoonpuristuvuuden pienentämien

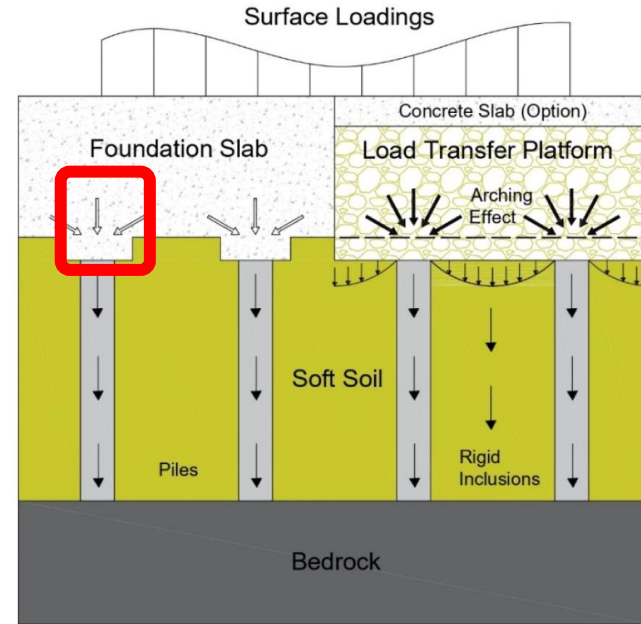
Suuret kv. pohjarakennusyritykset markkinoivat voimakkaasti kustannustehokkaana ja innovatiivisena rakenteena

EC7-3 ehdot:

- Ei ”rakenteellista liitosta” peruslaatan ja jöötin välillä
- Jos ”jööti” tukeutuu suoraan peruslaattaan, mitoitetaan kuin paalutettu rakenne, **ellei käytetä vain painuman vähentämiseen**

><NA: ”Käytettäessä luvun 6 määritelmän mukaisia rakenne-elementtejä ja joiden liitos tuettavaan rakenteeseen välittää vähintään puristusta, ovat materiaalien, toteutuksen ja laadunosoituksen vaatimukset luvun 6 mukaiset.”

Panu Tolla 10.2.2026



/Bohlooli D. et al. Rigid Inclusions, CivEng 2026/



Väylävirasto
Trafikledsverket



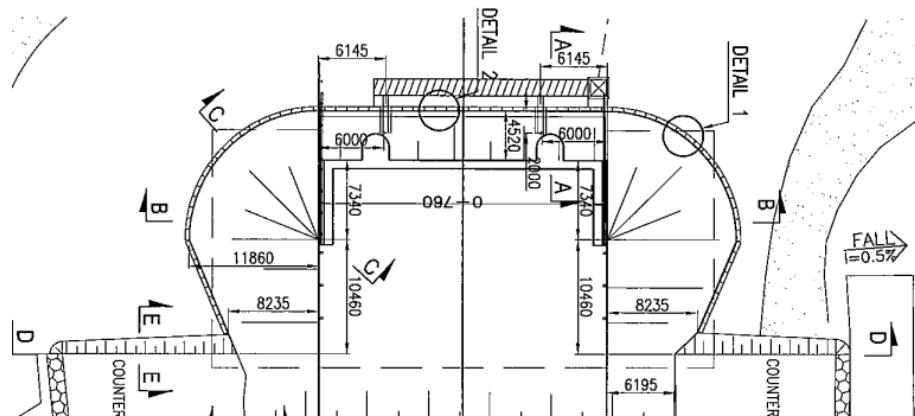
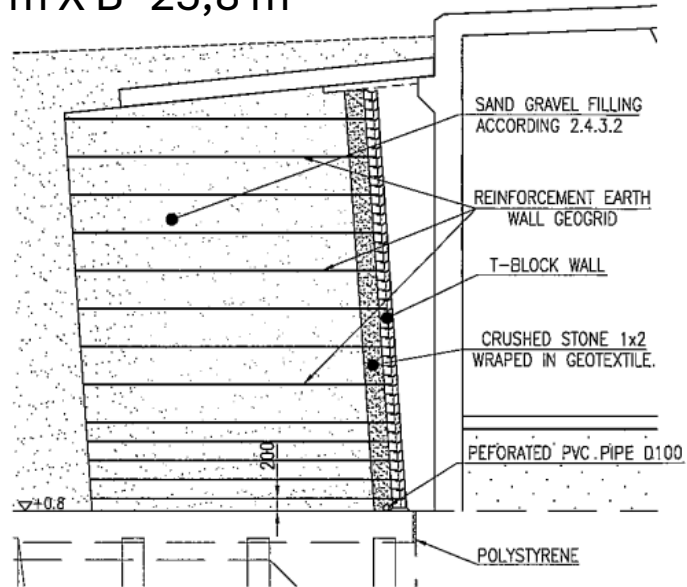
RB, Neris bridge

“semi-paalu”?

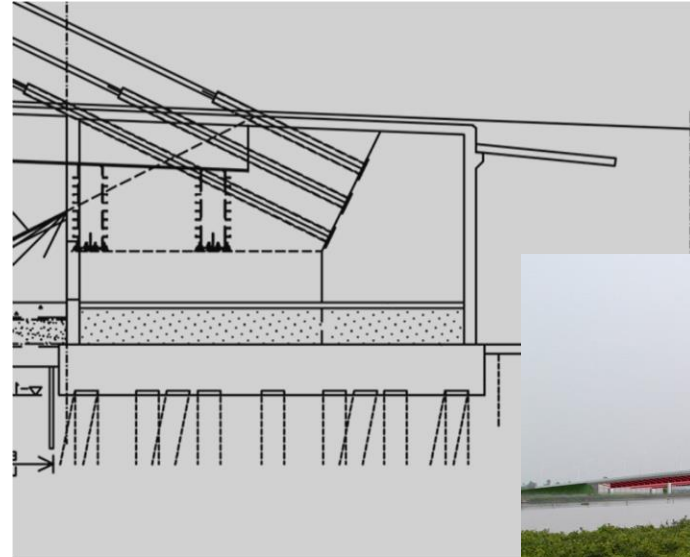
RAO 2 Bridge, Vietnam: Trust relief wall

“Mechanically stabilized earth wall”

H=7,12 m X B=25,8 m

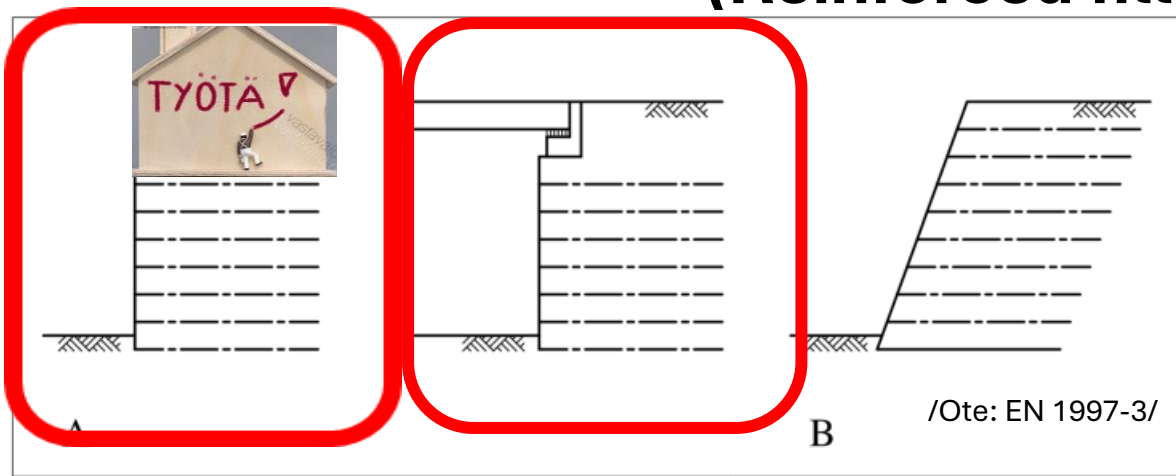


Panu Tolla 10.2.2026



Väylävirasto
Trafikledsverket

EN 1997-3:2025 9. Lujitettu täyttömaarakenne (Reinforced fill structure)



SFS-EN 1997-3:2025

- Lujitettu täyttömaarakenne on yksi geotekninen rakenne
- Rakenteen geoteknistä kestävyyttä on vaikea kokeellisesti varmentaa. EC7 ei osoita siihen menettelyä.
- Voidaan käyttää
 - ☐ Luiskien vahvistamiseen (infrarakenteet)
 - ☐ Pohjanvahvistuksena rakennuksille ja silloille

Käyttö v.2028-

- Onko suunnittelijoilla ja urakoitsijoilla ammattitaitoa mitoittaa ja toteuttaa samalla luotettavuudella kuin tukimuureja tai pysyviä tukiseiniä?
- Tarvitaanko jotain lisävaatimuksia tai rajouksia käyttökohteille?
- SFS-EN 1997 NA yleisesti: Jos ei aiempaa vertailukelpoista dokumentoitua kokemusta => GC3



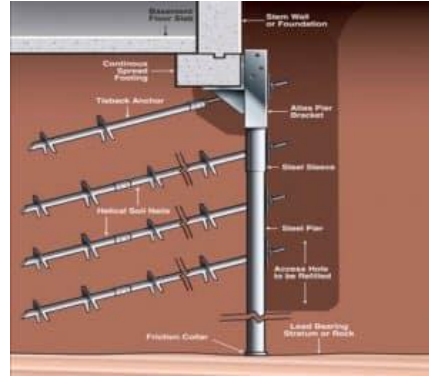
EN1997-3:2025 10. Maanaulatut rakenteet



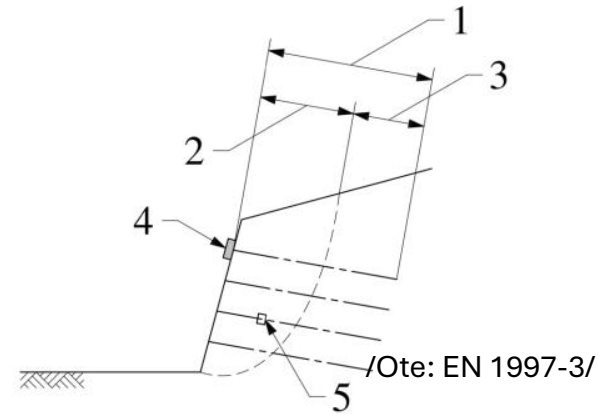
Väylävirasto
Trafikledsverket



Rail Baltica, H=14m



Mainos



EN 1997-3:2025

- Maanaulattu rakenne on yksi geotekninen rakenne.
- Maanaulojen ja varsinkaan koko rakenteen geoteknistä kestävyyttä on vaikea kokeellisesti varmentaa. EN1997 ei osoiteta siihen menettelyä
- Käyttökohteita tai GC-kategoriaa ei ole rajattu

⇒ Voidaan käyttää

- ☐ Luiskien vahvistamiseen (infrarakenteet)
- ☐ Pohjanvahvistuksena ja perustuksina rakennuksille

Käyttö v.2028-

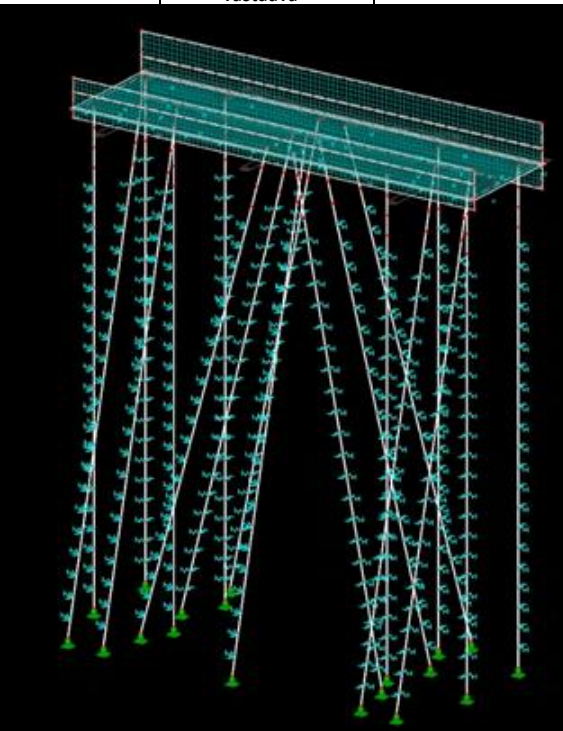
- Onko suunnittelijoilla ja urakoitsijoilla ammattitaitoa mitoittaa ja toteuttaa maanaulattuja rakenteita samalla luotettavuudella kuin tukimuureja tai pysyviä tukiseiniä?
- Tarvitaanko jotain lisävaatimuksia tai rajoituksia käyttökohteille?
- SFS-EN 1997 NA yleisesti: Jos ei aiempaa vertailukelpoista dokumentoitua kokemusta => GC3

Numeeriset menetelmät

SFS-EN 1997-1:

- FEM
- Jousimalli
- ...

Menetelmä 1		Menetelmä 2	
Mallinnettava rakennusvaihe 1 (CS1)		Askel 1, edustavat arvot ^c	
Lähtöarvot	VC4+M1 =kuormien vaikutukset ja maaparemit $\gamma_M=1,0$	VC3+M2 =kuormat $\gamma_G=1,0$ ja maaparemit $\gamma_M>1,0$	VC4+RFA =kuormien vaikutukset ja maan lujuus $\gamma_R>1,0$
Tulos-tiedot			
		Askel 2, mitoitusarvot ^j	
Lähtöarvot	Pietsometrinen pinta tai pohjaveden paine	Mitoitustilannetta vastaava ^f	Mitoitustilannetta vastaava ^f
	Maan tai kallion ominaisuudet	Mitoitusarvot	Mitoitusarvot
	Rakenneosan ominaisuudet	Edustavat arvot	Edustavat arvot
	Ulkoiset kuormat	Mitoitusarvot	Mitoitusarvot
Tulos-tiedot	Geotekniset murtorajatilat	Yhdistelmä käytetty murtorajatilan tarkasteluun	Mitoitusarvot
	Rakenteelliset murtorajatilat ^h	Kuormat mitoitusarvot kohtaus osavastuu laskennassa kuorman vastustuksen 8.2	Mitoitusarvot
CS2	Laskenta jatkuu vastaavalla tavalla seuraavassa vaiheessa		



Väylävirasto
Trafikledsverket

Kallioon tukeutuvan paalun kantavuus?

NCCI7 mukainen “ehjä kallio”

Ehjä kivi vs ehjä kalliomassa

$$\sigma_u = 180 \text{ MPa} \Rightarrow < 8\% \sigma_u$$

$$E = 70 \text{ GPa} \Rightarrow < 16\% E$$



Kuva 5: Kairasydän, kalliolaatuluokka GSI 40.

Kalliolaatu	Q'		4	0,65	0,3	0,2	0,1
GSI	100		56	40	33	29,5	23
Ehjän kiven puristus- murtolujuus (MPa)	180		150	80	50	25	5
Kalliomassan puristus- murtolujuus (MPa)	180		12,8	2,7	1,1	0,4	0,05
Ehjän kiven kimmokerroin (MPa)	70 000		62 000	54 000	25 000	8 125	875
Kalliomassan kimmokerroin (MPa)	69 600		26 665	8 621	2 478	640	47

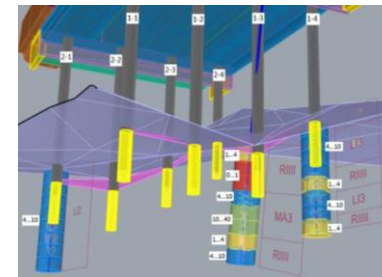
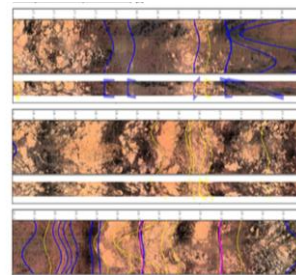
Kallion ehjyys:

(+) kuvantaminen porareiässä

tai näytteet

(-) malli vaatii useita reikiä

➤ Episteminen epävarmuus!



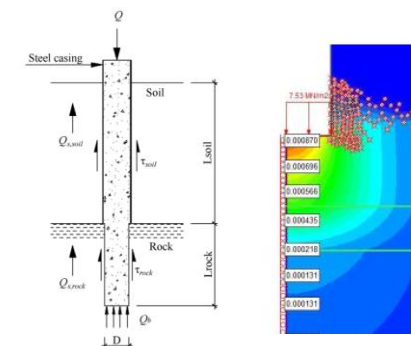
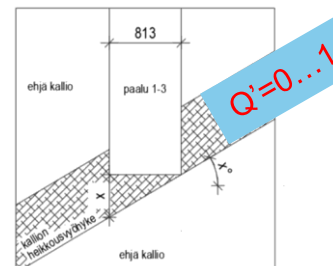
Paalutuspöytäkirja?

PDA?

Rock socket pile

Ratkaisu?

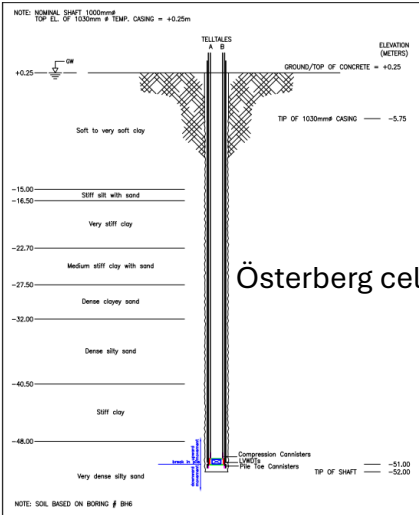
	Taso [m]
Paalun yläpää	16,753
Katkaisu taso	15,210
Työtaso	16,150
Maaporaus (työtaso)	14,150
Maaporaus (savi)	13,210
Maaporaus (moreeni)	9,393
Kallion pinta	8,393
Rikkonainen kallio	7,893
Ehjä kallio	7,893
Paalun alapää	4,693
Poraus ehjän kalliota	3,2



“Porattu betonipaalu” kalliossa – rock socket pile



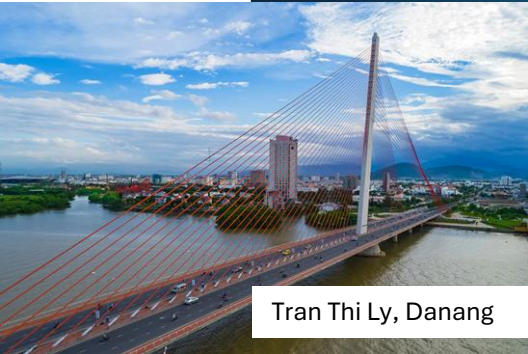
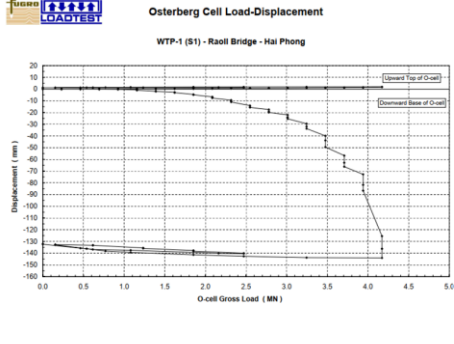
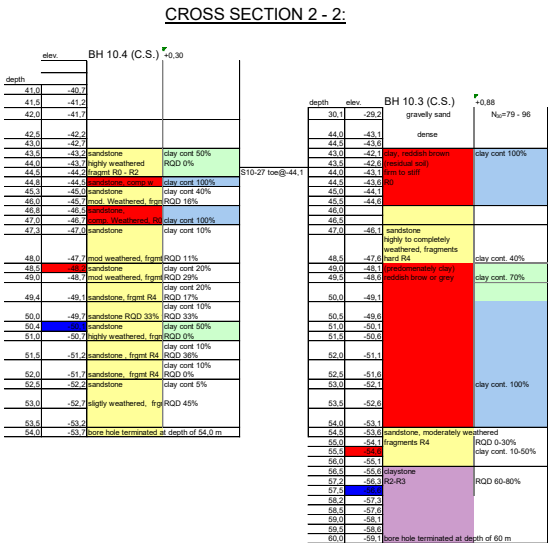
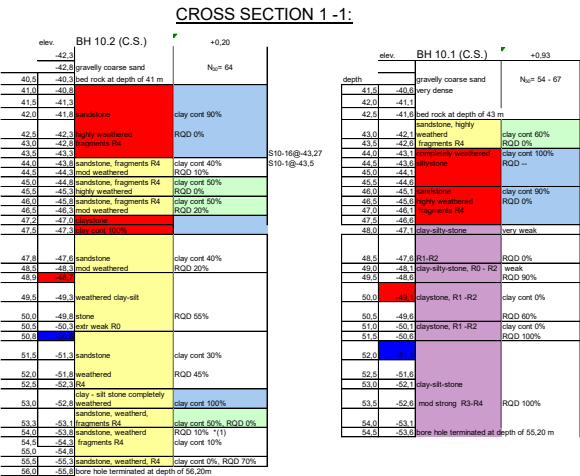
Väylävirasto
Trafikledsverket



Osterberg cell



Binh bridge, Hai Phong



Tran Thi Ly, Danang

Teräspuutkipaalujen asentaminen täryttämällä

- Myös Väyläviraston kohteissa paaluja on alettu asentaa täryttämällä ilman loppuasennusta iskevällä paalutusvasaralla.
- Työmenetelmä PO-2016 vastainen
- Miksi?
 - Upotus perustuu maan häiritsemiseen, jolloin tunkeutumisnopeus ei korreloi lopullisen kantavuuden kanssa
 - Tärytys voi löyhdyttää tiivistä kitkamaata ja alentaa kantavuutta pitkäaikaisesti
 - Paalun tunkeutumisnopeus riippuu laiteasetuksista ja ominaisuuksista.
 - Mekaaniset holkkijatkokset voivat holkkijatkokset jäädä kiristymättä

Pysyvien taitorakenteiden perustuksissa tai tilapäisten, yleisellä liikenteellä olevien taitorakenteiden perustuksissa, tulee kaikkien paalujen **loppuasennus tehdä iskevällä paalutusvasaralla**

Lisätietoja

- Pålkommision rapport 99; Vibratorers användningsmöjligheter vid driving av pålar och spont, 2000
- Aki Kopra; Täryttämällä asennettujen teräspuutkipaalujen kantavuuden määrittäminen, diplomityö 2013
- RR®- ja RD®-paalut – Suunnittelu- ja asennusohjeet, SSAB (Ladattavat tiedostot - SSAB)



Loppulyöntikäyrät ja -taulukot hydraul- ja paineilmapaaloille

Rammer S52	.....
Rammer S54	.....
Rammer S56	.....
Rammer E68	.....
Rammer G80	.....
Rammer M18	.....
BSP500	.....
BSP500N	.....
BSP600	.....
Furukawa F9	.....
Furukawa F12	.....
Furukawa F19	.....
Furukawa FXJ175	.....
Furukawa HB20G	.....
Furukawa F22	.....
Furukawa F27	.....
Furukawa FXJ375	.....
Hydraram SG600S	.....
Hydraram SG800S	.....
MSB MS600H	.....
OKB350	.....
OKB1000 / SPD1000	.....
OKB1500 / SPD1500	.....
OKB2000 / SPD2000	.....
Hammer HS450	.....
Hammer HS700	.....
General Breaker GB8 (AT/AF)	.....
D&A 130V	.....
D&A 150V	.....
D&A 180V	.....
Brokk BHB 705	.....
Epiroc MB1700	.....

SSAB

Miten liikenneyhteys on rakennettavissa?

ei sillan - vaan siltapaikan suunnittelu järjestyksessä:

1. Kokonaisvakavuus siltapaikalla
2. Leikkaukset ja pohjaveden hallinta, kuivatus – pohjanvahvistustarve?
3. Penkereet – pohjanvahvistustarve?
4. Sillan pituus ja siltatyyppi
5. Pohjanvahvistusten toteuttaminen (ml. liikenne)
6. Sillan perustamisen toteuttaminen (ml. liikenne)

Sikanevan AKS....ei kun YKS

Sillanpaikka?



Panu Tolla 10.2.2026



Väylävirasto
Trafikledsverket

Kiitos mielenkiinnosta!



Kysyttävää?