

# Hailuodon kiinteä yhteys

## S1 Huikun silta ja S2 Riutun silta

### Kehitysvaiheesta toteutukseen



MIKKO PELTOMAA VÄYLÄVIRASTO

S1 TUOMO JÄRVENPÄÄ & ANSSI MATTILA & ALEKSI MÄKI-MANTILA & JARI PIKKUHOOKANA & VEIKKA VIKSTEDT, A-INSINÖÖRIT OY (PONVIA)

S2 VILLE VUORIO & MIKA LAHTI, AFRY FINLAND OY

SILTAGEO ARI JUNTUNEN & SIMO LUUKKONEN & SAKARI LOTVONEN, AFRY FINLAND OY

VILLE HOLOPAINEN HOL-VI OY JA TAPIO KÄKÖNEN TAK-PLAN

ANTTI RÄMÄ GRK SUOMI OY



[vayla.fi/hailuoto](http://vayla.fi/hailuoto)  
[facebook.com/hailuotokiinteä](https://facebook.com/hailuotokiinteä)  
[x.com/hailuotokiinteä](https://x.com/hailuotokiinteä)

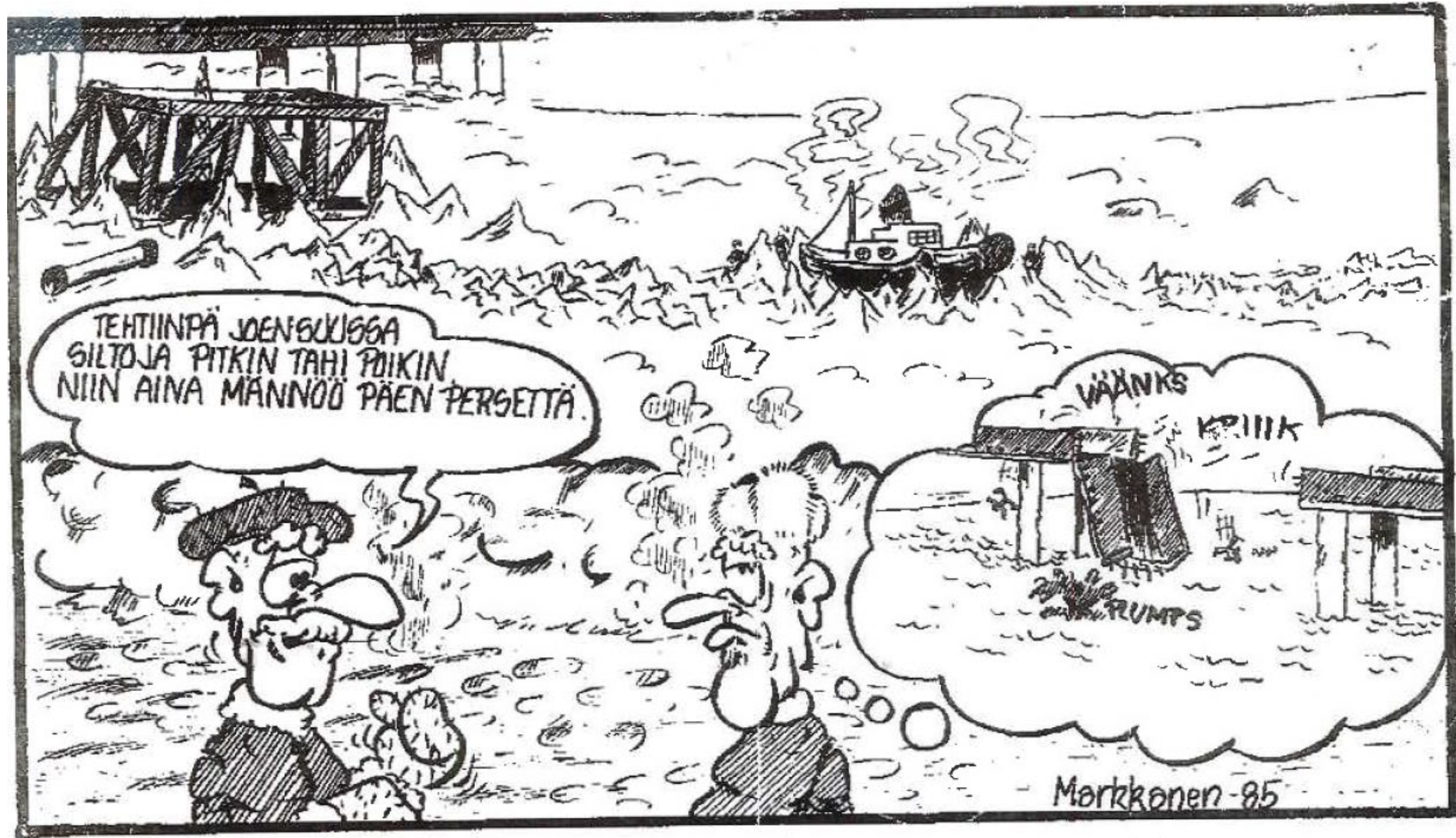
## Esityksen sisältö:

- **Hankkeen taustaa ja perinteisiä lukuja**
- **Silta S1 Huikun silta ja Silta S2 Riutun silta, yleisesittely**
- **Kehitysvaiheen tulokset ja erityisvaatimukset**
  - Silta S1 muutokset
  - Silta S2 muutokset
  - Siltojen betoniluokan valinta, NCCI2, jäähdytys
  - Perustamistapa ja koepaalutus
  - Tuulikuormat
  - Jääkuormat
  - S1 jäänsärkijä ja paaluperustus
  - S1 pilarit
  - S1 työsilta ja kasuunit: jalkalautta, riista-aita, riippukasuuni
  - S2 kasuunit ja sillan pituuden muutos 300 + 300 mm
- **Olosuhde haasteita ja ratkaisuja**
  - S1 työsilta ja kasuunit
  - S2 paalutus



Huikun ranta



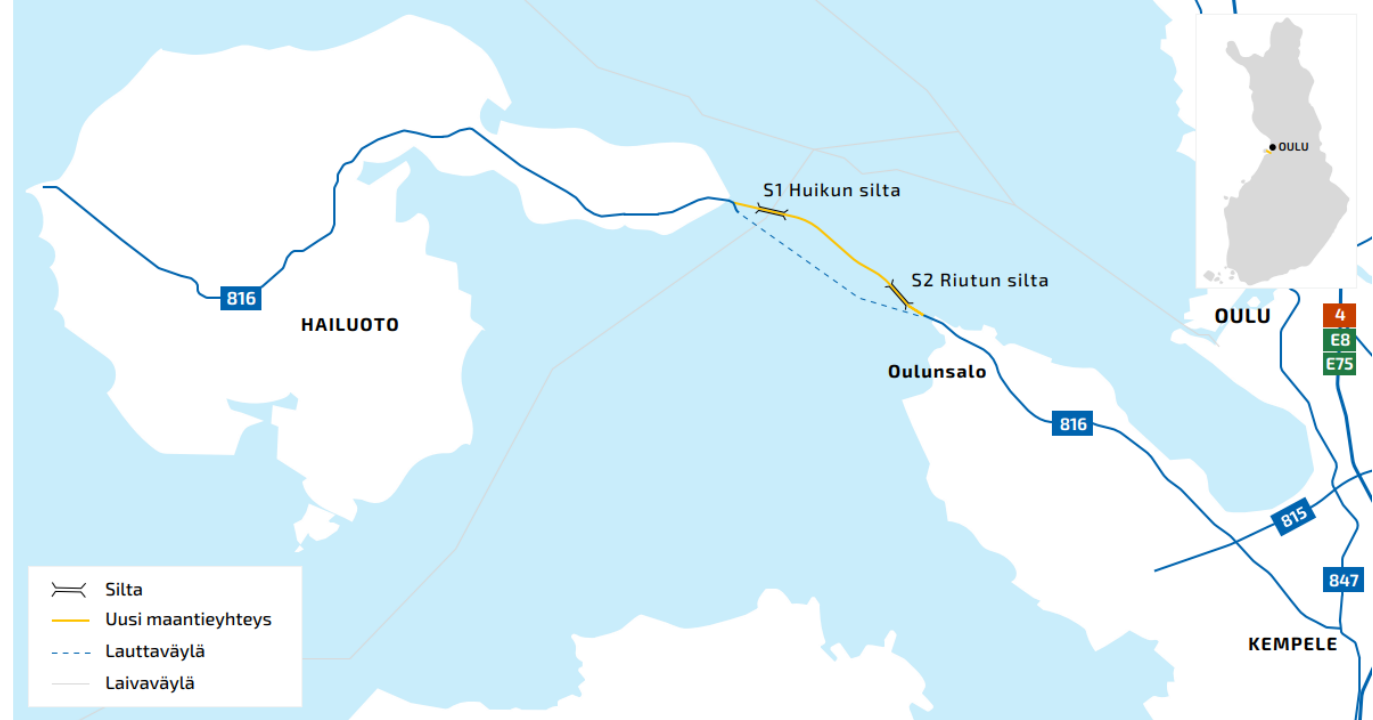


TEHTIINPÄ JOENSUUNNASSA  
SILTOJA PITKIN TAHI POIKIN  
NIIN AINA MÄNNÖÖ PÄEN PERSETTÄ.

WÄÄNKS  
KRIIK  
RUMPS

# Hankkeen taustaa

- Kiinteää yhteyttä mantereelta Hailuotoon selvitetty jo 1980-luvun alusta
- Yleissuunnitelma v. 2016
- HAIKI-allianssi muodostettiin 2022
- Lainvoimainen vesilupa tammikuussa 2024
- Rakentaminen alkoi toukokuussa 2024
- Käyttöönotto 2026 loppuun mennessä



Tilaaja  
Terhi Honkarinta  
Jukka Päkkilä



Rakentaja



Suunnittelija

- Geotekninen suunnittelu
- Silta S2
- Ympäristö



Suunnittelija

- Silta S1
- Väyläsuunnittelu

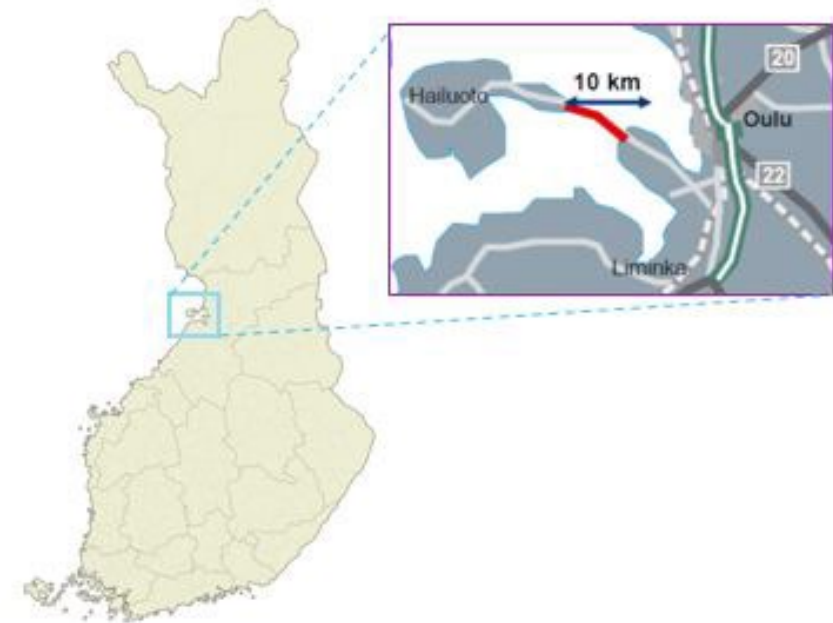






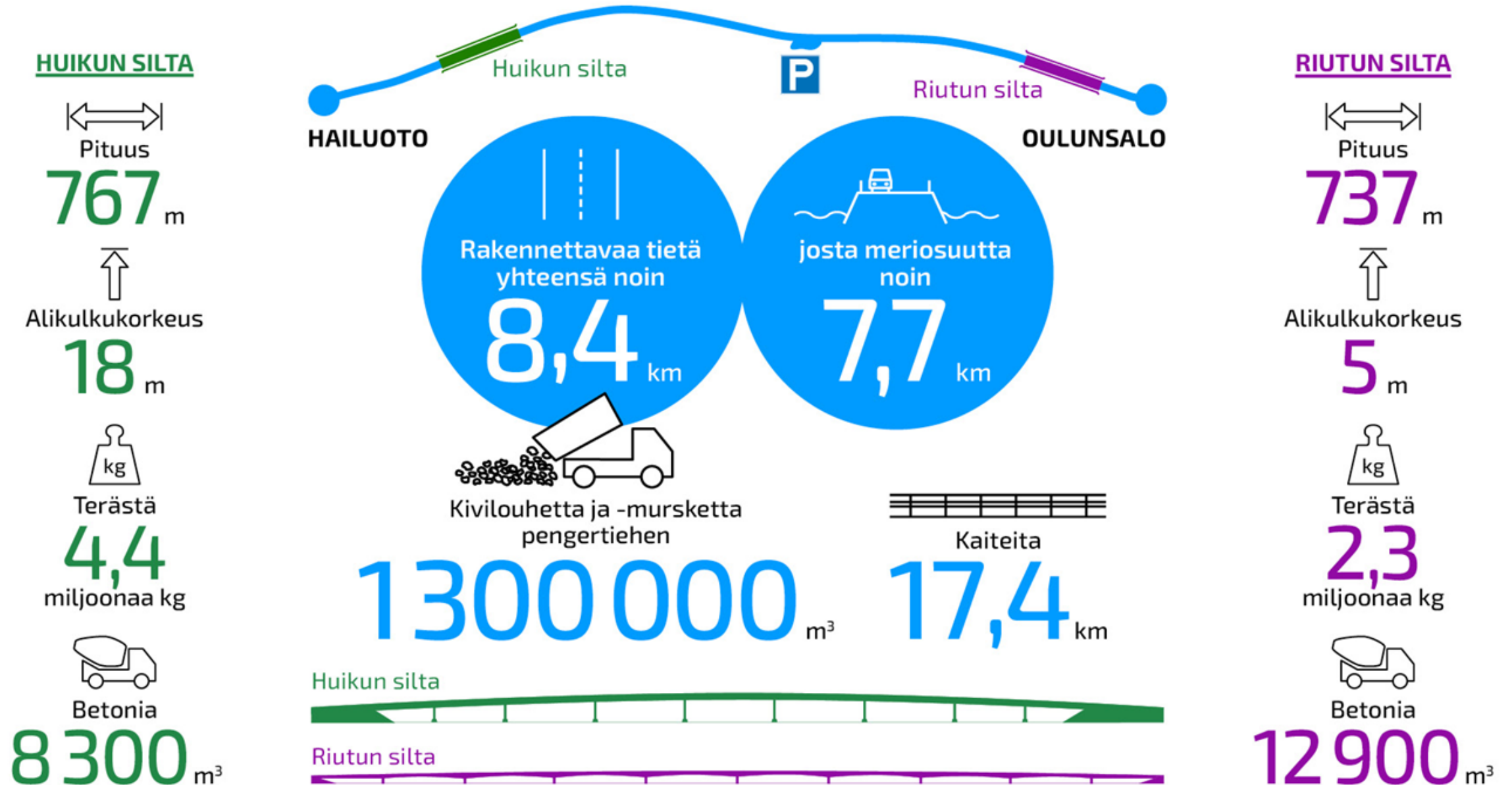
## Hailuoto ja lauttayhteys

- 1 000 asukasta, 650 kesämökkiä
- Lauttayhteys: 25 min/suunta, päiväsaikaan
- Jäätie talvella sääolosuhteiden mukaan



**Hankkeen hyöty-kustannussuhde 1,64, laskettuna 30 vuoden ajalle on positiivinen**, eli hankkeeseen investoitava raha saadaan yhteiskunnalle takaisin saavutettujen hyötyjen kautta.

# Hailuodon kiinteä yhteys lukuina





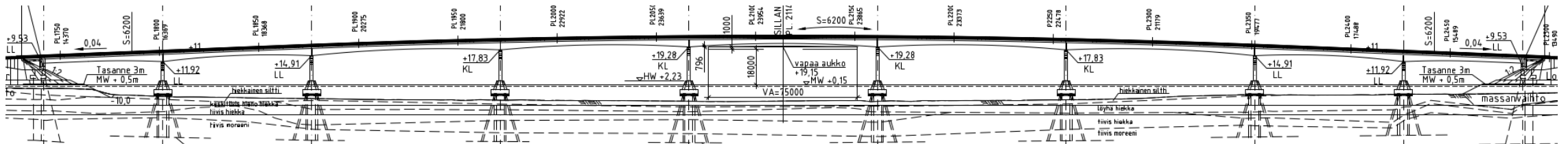
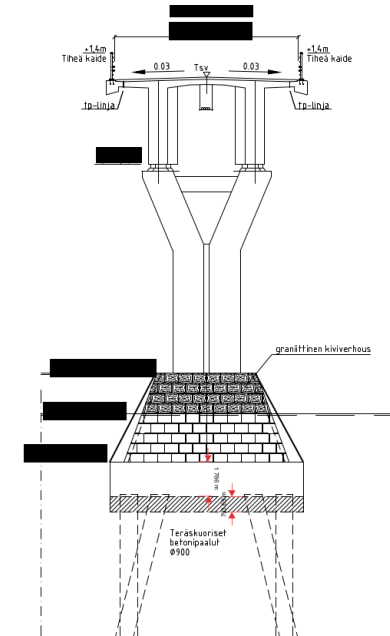
## Siltojen S1 ja S2 kehitysvaiheen suunnittelu, erikoisvaatimukset ja tulokset



## Allianssin kehitysvaihe, S1

- Yleinen kustannustaso on noussut merkittävästi ja hankkeessa on kova paine saada kustannuksia alas.
  - Kehitysvaiheen aikana tutkittiin ja vertailtiin kokonaistaloudellisesti edullisin ratkaisu silloille.
  - Sillan S1 osalta vertailu tehtiin viisteellisen betonisillan (ks. kuva alla) ja liittopalkkisillan välillä.
  - Liittopalkkisilta osoittautui hieman (~3%) halvemmaksi ja vähemmän riskejä sisältäväksi ratkaisuksi. Myös rakentaminen on nopeampaa.
- Liittopalkki valittiin toteuttavaksi vaihtoehdoksi.
- Välitukien määrää ei muutettu

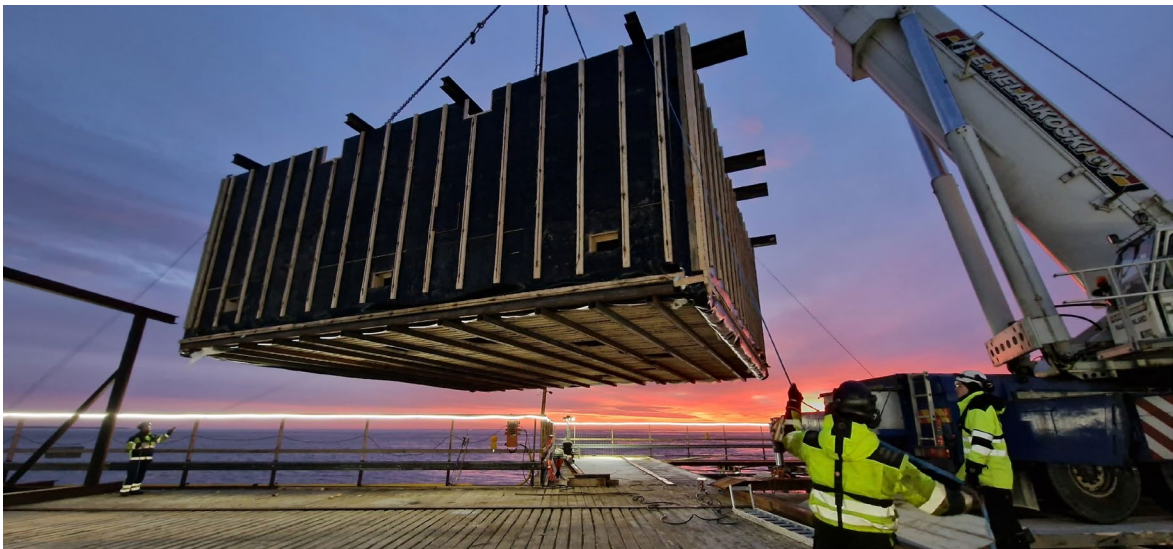
Sillan S1 betonipoikkileikkausversio



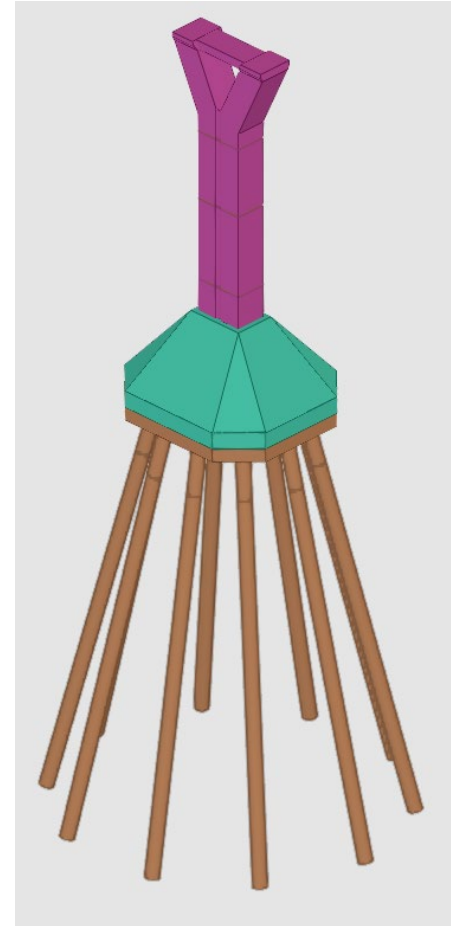


## Allianssin kehitysvaihe, S1

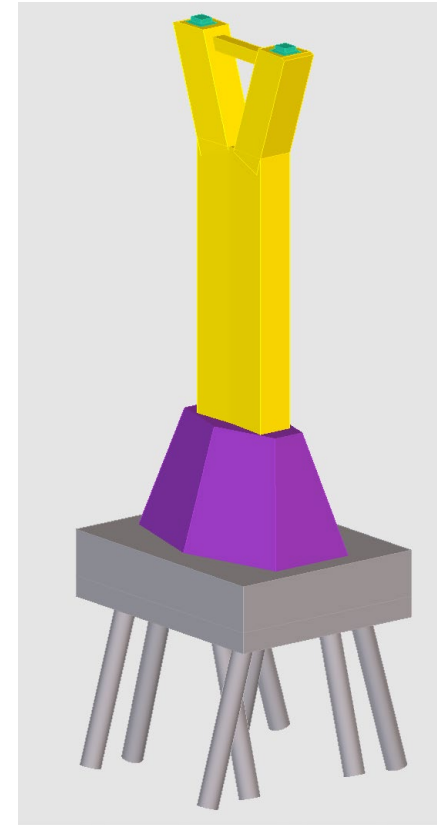
- Sillan kansirakenteen jännevälien optimointi
- Teräsrakenteen alustava suunnittelu ja määrien tarkentaminen
- **Tukirakenteiden ja erityisesti jäänsärkijän suunnittelu huomioiden kaikki siihen kohdistuvat kuormitukset.**
- Välitukien suunnittelu
  - Jäänsärkijät
  - Paalutusjärjestelyt
  - Betoniluokat



Kehitysvaiheen tulos:

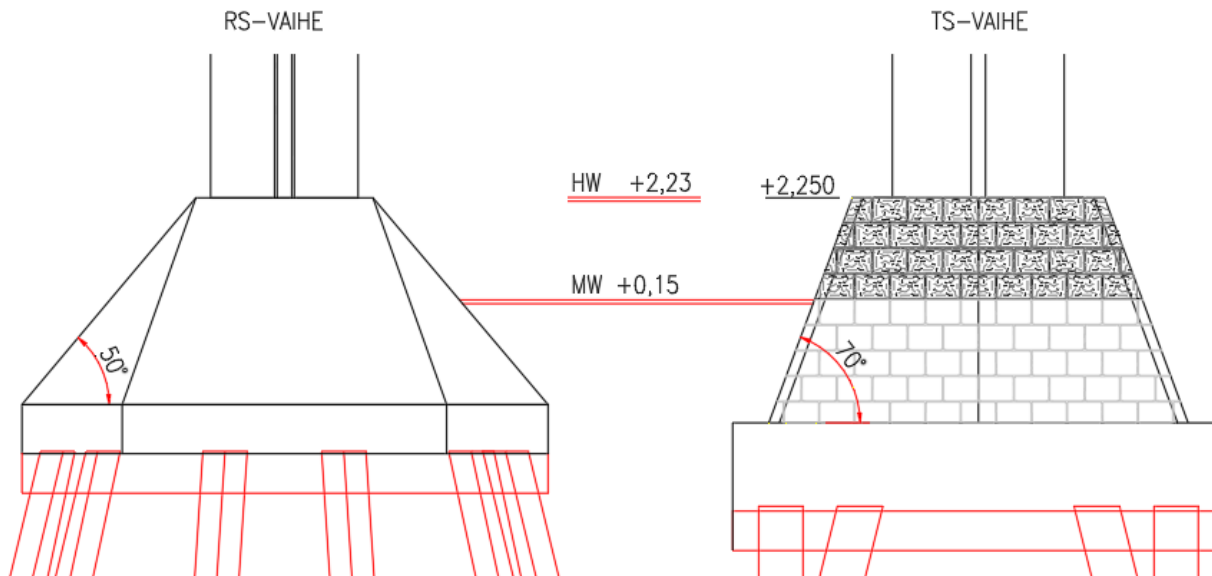


Tiesuunnitelman versio:



## Jäänsärkijä

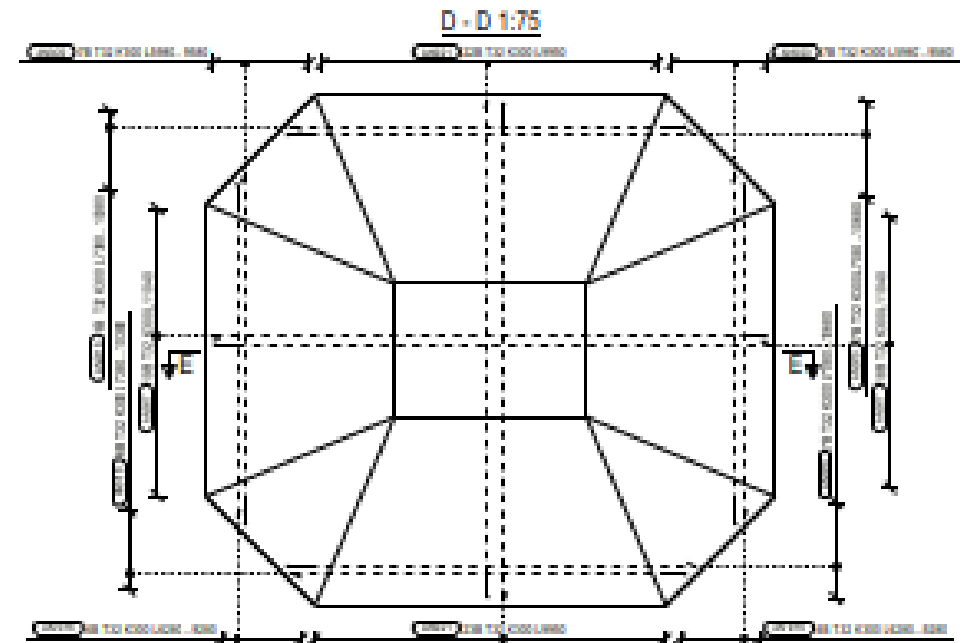
- TS-vaiheen jääkuorma 3MN → Muodon optimoinnilla 2MN
- Ilman jäänsärkijän muotoa, kuorma jopa 6MN
- **Valittu muoto ja kulma rikkoo jään taivuttamalla / leikkaamalla**
- Kiviverhous ei tarpeellinen → poistaminen vähentää kitkaa
- Kulutuskestävyyttä RST-verkolla



BETONIRAKENTEET:				SUUNNITTELUKÄYTTÖIKÄ 100 VUOTTA		
RAKENNEOSA	TUNNUS	RASITUSL. RYHMÄ	BETONIN LUJUUS	P-LUKU	BETONIPEITE C <sub>nom</sub> [mm]	BETONIN SUOJAUS
Jäänsärkijät	Ro16	R4	C45/55-3	P50	110/40rst	
Paalut *)	Ro01	R4	C35/45-3	P0	50	
Pilarit	Ro16	R4	C45/55-3	P50	110/60/40rst **)	
Työbetoni			C30/37			

\*) Paalut valetaan IT-betonilla.

\*\*\*) Pilarin alapäässä 2m matkalla käytetään ruostumaton teräsverkkoa, jonka betonipeite on 40mm. Pilarin alapään betonipeite on 110mm B500B teräkselle. Muutoin pilarissa betonipeite on 60mm.



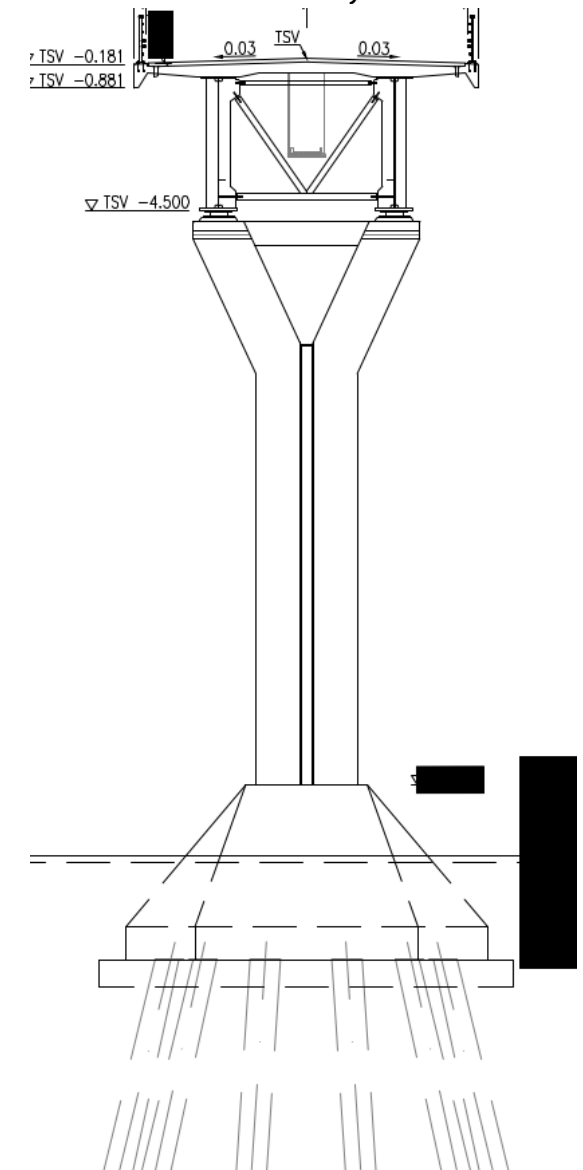


## S1 Huikun silta toteutussuunnitelma



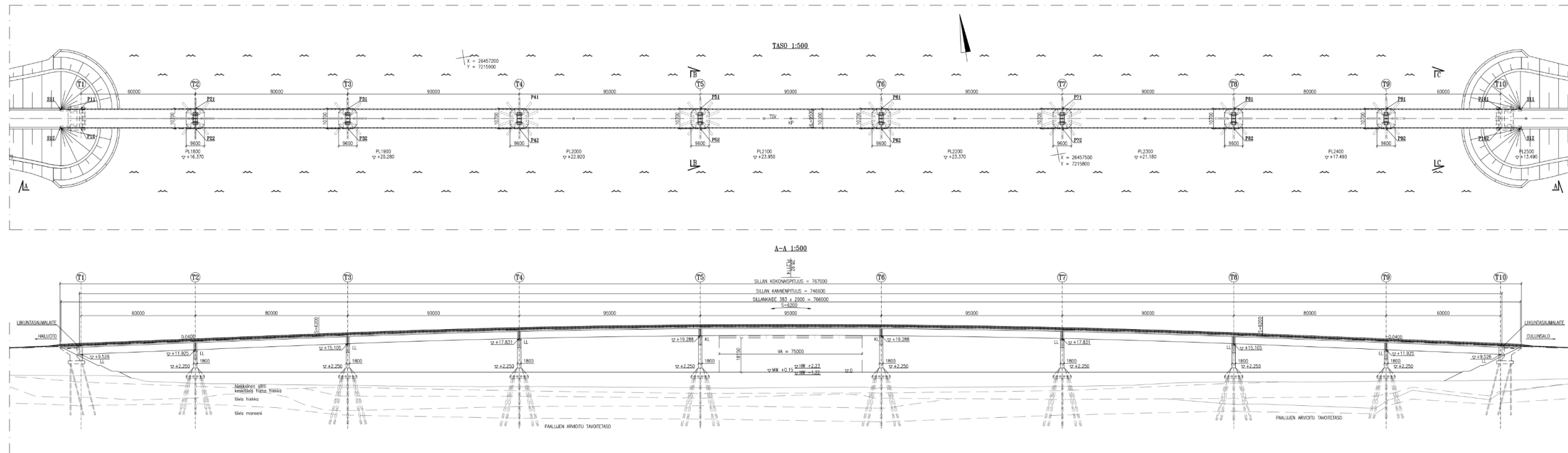
- Suunnittelija: A-Insinöörit
- Hailuodon puoleinen silta
- Kokonaispituus **767 m** (suomen 6. pisin)
- $J_m = 60 + 80 + 90 + 3 \times 95 + 90 + 80 + 60 = 745 \text{ m}$
- Hyötyleveys 9,5 m
- Alikulkukorkeus 18 m (laivaväylä)

- Teräsbetonikantinen jatkuva liittopalkkisilta, tasakorkeat palkit
- Teräspalkit säänkestävästä teräksestä, maalataan sivu- ja alapinnaltaan ( vaalean sininen)
- Rakenneteräsmäärä n. 2,3M kg
- Kansi valetaan yhdellä valulla.



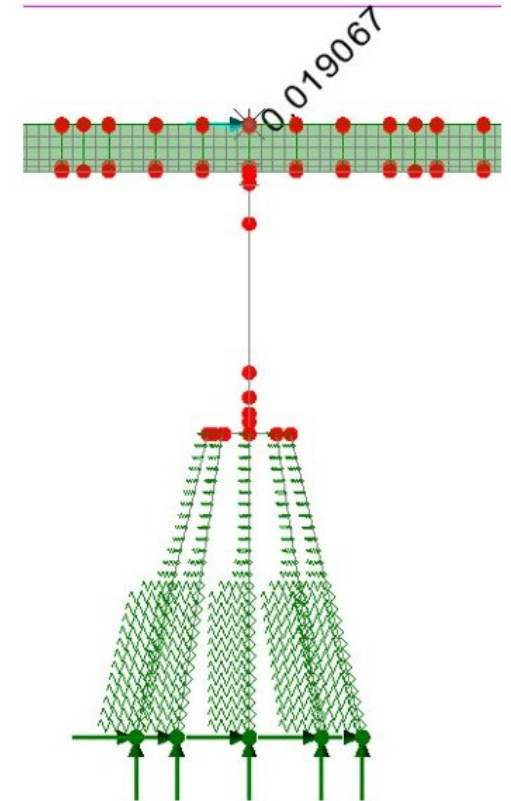
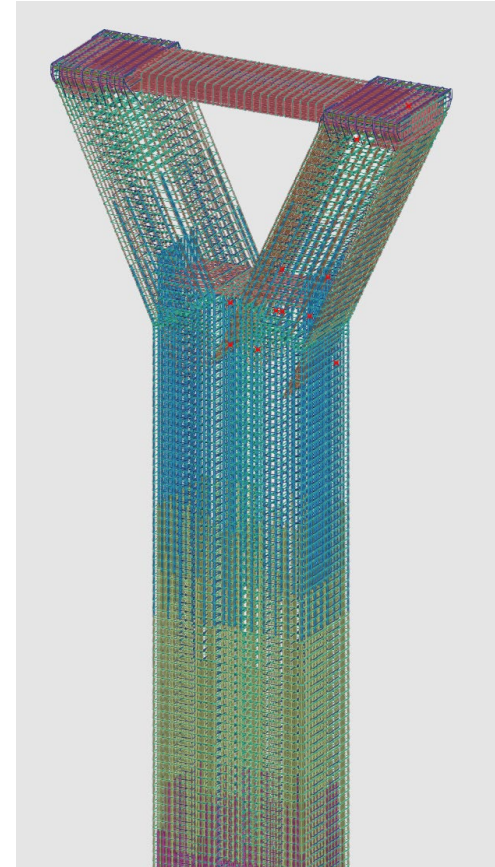
## S1 Huikun silta toteutussuunnitelma

- Lyöntipaaluperusteiset välituet jäänsärkijöillä.
- Työntöasennus, haasteena tuuliset olosuhteet ja esim. mahdollinen värähtely asennuksen aikana, **TSV:n pystykaari  $S=6200$  + suorat osuudet  $2 \times 126$  m T1 - T3 ja T8 - T10 myös huomioitava asennussuunnitelmassa**
- Laivaväylä aukossa T5-T6
- Vesistön keskisyvyys (MW) sillan kohdalla 6,7m.
- Tukirakenteissa otettu huomioon törmäyskuormat tuille T5-T6 ja jääkuormat T2-T9



## S1 sillan pilarit toteutussuunnitelma

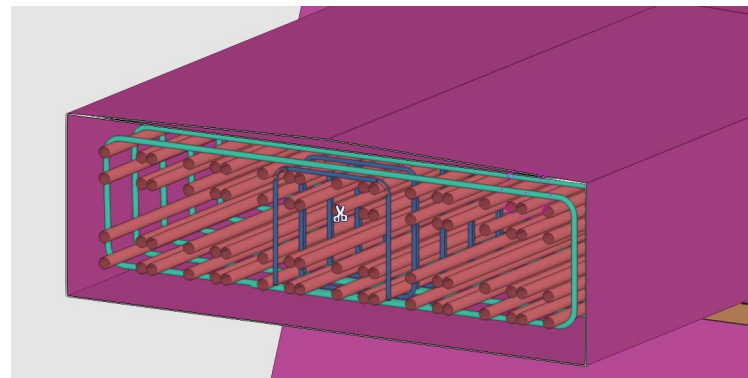
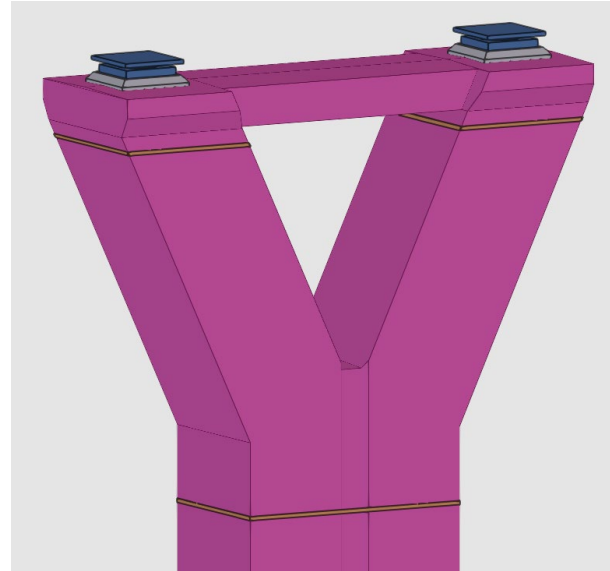
- Tuet TX ja TY kiinteät laakerit
  - Lämpötila
  - Laakerikitka
  - Jarru (XXX kN)
  - Pituussuuntainen tuuli
- Alusrakenteiden jäykkyyttä optimoitu siirtymät huomioiden
- Raudoitettavuutta ja valusaumoja mietitty yhdessä urakoitsijan kanssa





## S1 Pilarin yksityiskohtia

- Yksityiskohtien ongelmia tutkittu **vanhojen kohteiden ja kokemusten** perusteella
- **Poikkipalkkivaihtoehdoista tutkittu useita vaihtoehtoja**
  - Betonipalkki
  - Teräspalkki/putki
  - Jännittäminen
  - Umpirakenne
- Pilarin kriittisin rakenne
- Betonirakenteen haasteena vedetyn rakenteen halkeilu
- Y-haaran halkeilu
- RST-verkko eroosioalueelle

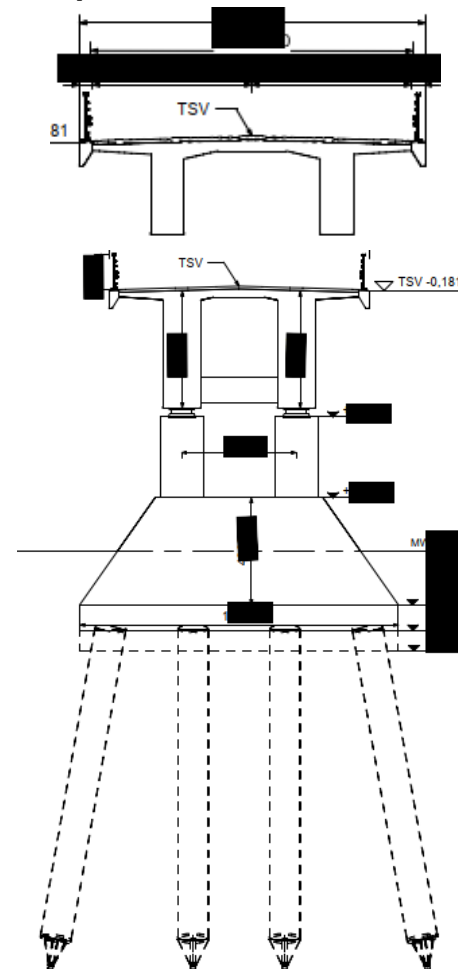


Kuva Raippaluodon sillalta / Heikki Lilja

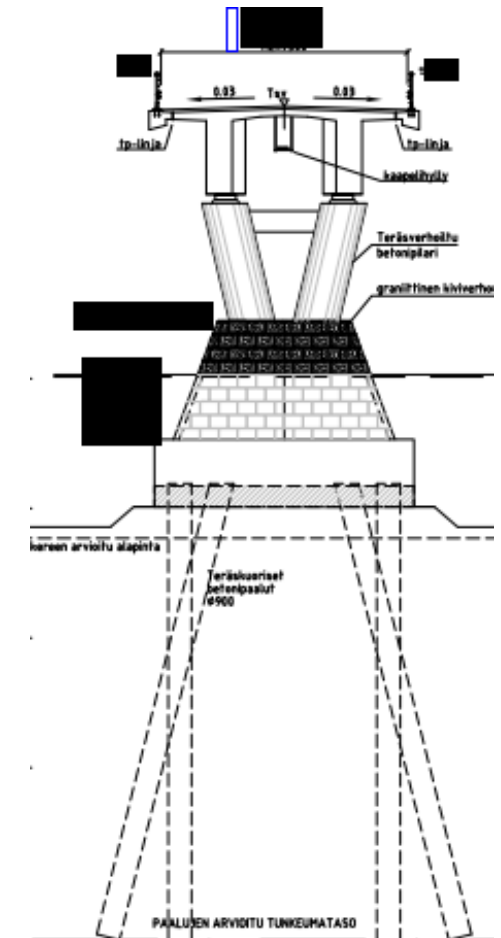
## Allianssin kehitysvaihe, S2

- Sillan jännemitat ja tukien määrä optimoitiin. Yksi tuki poistettiin → jännevälit pidentyivät.
- Jäänsärkijän muotoa, seinäkulmaa ja paalukkoa optimoitiin.
- Välituen pilarit muutettiin pystysuoriksi.
- Pääkannatinpalkkien muoto vaihdettiin tasakorkeasta viisteelliseksi.
- Päällysrakenteen ja jäänsärkijöiden betonilaatua vaihdettiin huomattavasti lujemmaksi betoniksi C35/45 → C50/60 NCCI2 vaatimusten mukaisesti.
- Jänneiden kooksi on tutkittu 22- ja 27-punoksiset versiot. Tässä vaiheessa suunnitelmassa on 22-punoksinen jänne.

### Kehitysvaiheen tulos:



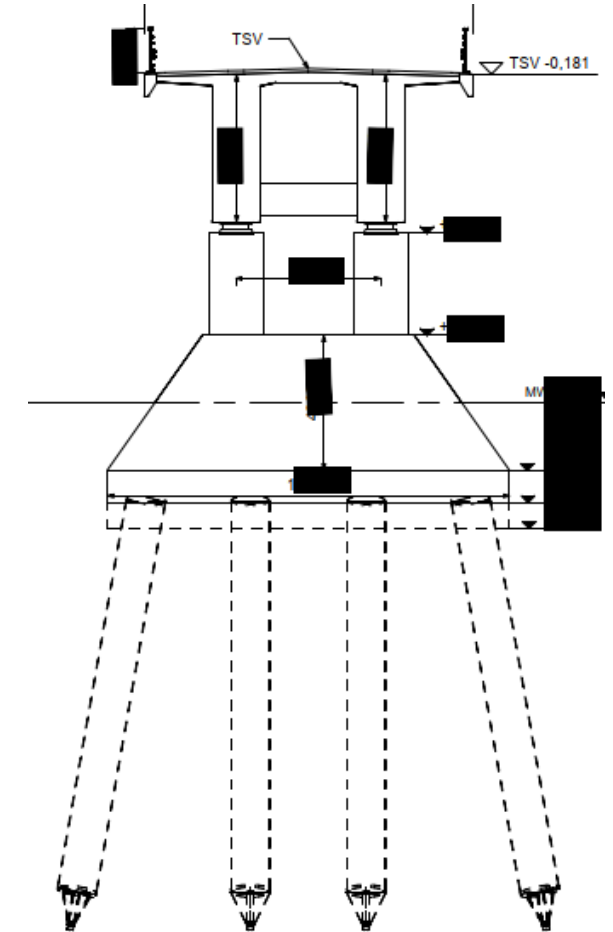
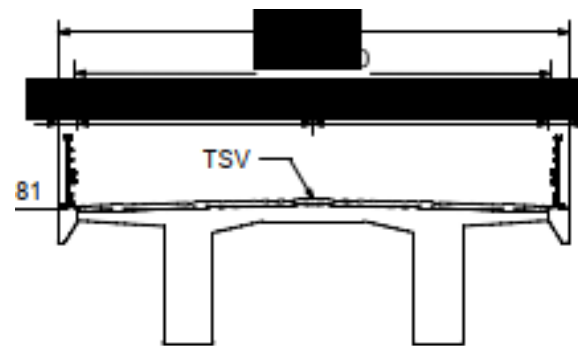
### Tiesuunnitelman versio:



## S2 Riutun silta toteutussuunnitelma



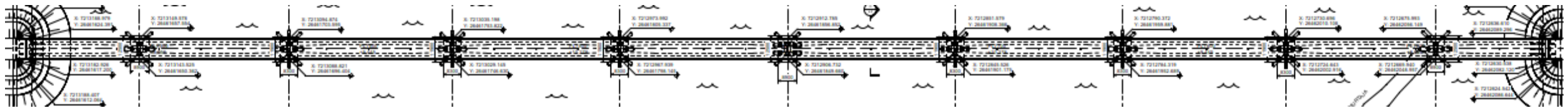
- Suunnittelija: AFRY
- Oulunsalon puoleinen silta
- Kokonaispituus **737 m** (suomen 7. pisin silta)
- $J_m = 51,5 + 71,5 + 78,0 + 4 \times 80,0 + 78,0 + 71,5 + 51,5 = 722 \text{ m}$
- Hyötyleveys 9,5 m
- Alikulkukorkeus 5 m
- Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta
- Lyöntipaaluperusteiset välituet jäänsärkijöillä.





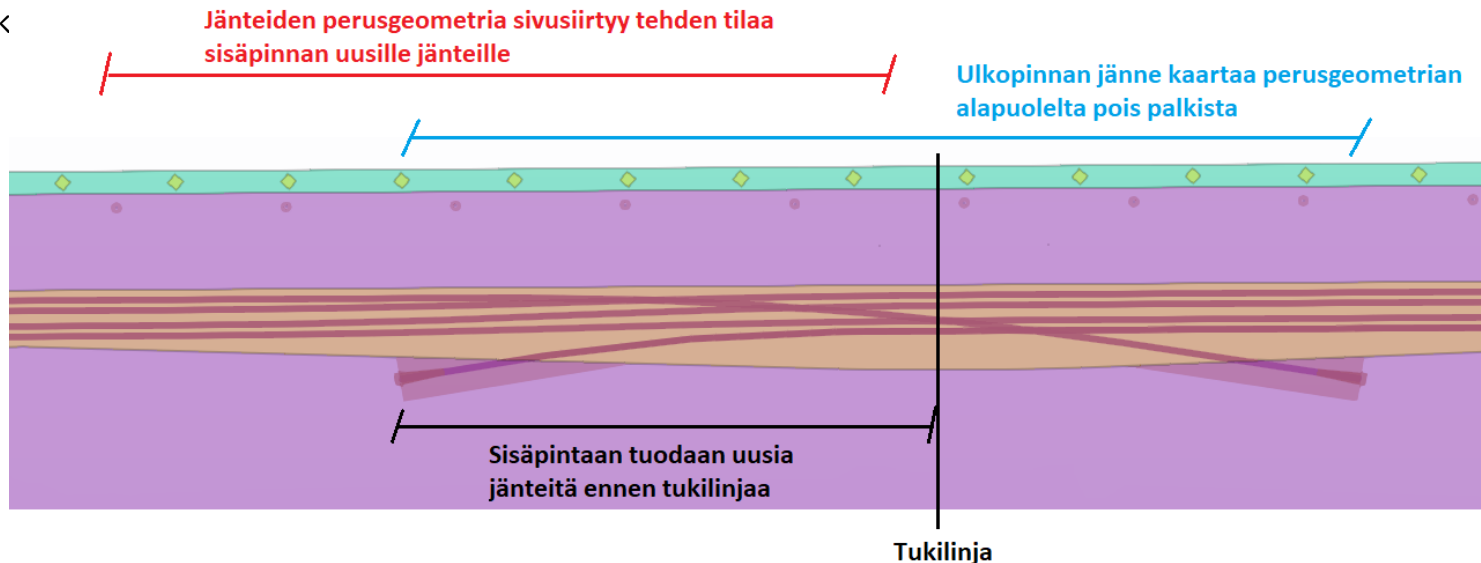
## S2 Riutun silta

- Viisteelliset palkit
- Paikallavalu yhdellä kertaa.
- Kannessa noin 7300m<sup>3</sup> betonia.
- Valun kesto 6-7 vrk.
- Kannen muodoissa huomioituna ennakkokokohotus ja lisäksi ennakkopidennys.
- Sillan kansi rakennetaan ennakkoon molemmista päistä hieman pidemmäksi, jotta kansi löytää lopullisen toivotun muodon betonin kutistuman, viruma, valunaikaisen lämmönkehityksen, jännittämisen yms aiheuttamien pituussuuntaisten muodonmuutoksien jälkeen.

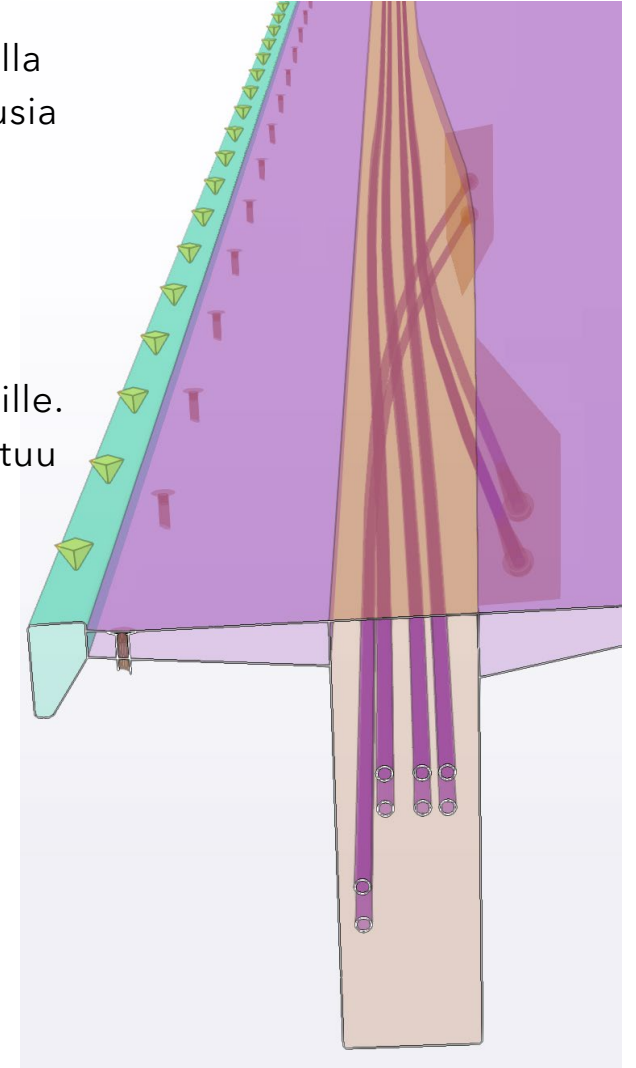


## S2 Jännittäminen

- Sillassa käytetään 22-punoksisia jänneteräksiä.
- Sillan kansi on 722m pitkä ja yhden jänteen sallittu maksimipituus 300m → jänneteräksiä tuodaan palkkeihin ja palkeista pois sillan matkalla väliankkurien avulla.
- Väliankkurit ja niiden betonikonsolit sijoittuvat palkkien sisäkylkiin välilaattojen alle. Konsoleissa kak



- Jännegeometria suunniteltu ja rytmitetty niin, että jokaisella välituella ennen tukilinjaa palkkiin tuodaan uusia jännteitä palkin sisäpinnasta ja ulkopinnan jännteet tuodaan ulos palkista tukilinnan jälkeen.
- Muut jännteet sivusiirtyvät palkissa tehden tilaa sisäpinnan uusille jännteille. Ulkopintaan siirtyvä jänne valmistautuu poistumaan palkista seuraavalla välituella.







# Betoniluokkien valinta

- **NCCI2 ohje vaatii että merellä olevat rakenteet** oletetaan kloridirasitetuiksi joka pinnoiltaan (myös kannen alapinta ja palkkien sivut) → Betoniluokan tulisi olla C55/67 P50 jos pintoja ei suojata (kuten impregnoida).
- C55/67 P50 betonin betonoitavuus on vaativaa. Allianssissa päädyttiin käyttämään **lujuusluokkaa C50/60 P50**.
- **Haasteena lämmönkehitys** erityisesti jäänsärkijöiden ja myös sillan S2 kansipalkin osalta. Tämä hallitaan vaikuttaa betonin suhteutuksella ja jäähdytyksellä. **Jäänsärkijöitten jäähdytystä kehitettiin n. 100 m<sup>3</sup> koekappaleella.**

Väyläviraston ohjeita 5/2022  
Eurokoodin soveltamisohje  
Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2

26

Taulukko 4.1. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset: päällysrakenne ja reunapalkit.

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Vaatimukset			Suunnittelukäyttöikä	Rasitusluokat
			Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Raudoituksen betonipeitteen nimellisarvo, $c_{nom}$ [mm]		
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat	Ro20	R1	C30/37	P30	40	100	XC3, XC4, XF2
		R2					
		R4					
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen suolasumurasitetut pinnat	Ro21	R1	C30/37	P30	45	100 (1)	XC3, XC4, XF2, XD1, XC3, XC4, XS1, XD1, XF2
		R2			40		
		R3					
Päällysrakenteen ja maatukien reunapalkit	Ro22	R1	C35/45	P50	45	50 (2)	XC4, XD3, XF4
		R2					
		R3	C30/37	P30	50	XC4, XS1, XD3, XF2	
		R4					
Siirtymälaatat	Ro23	R1	C35/45	P50	40 (3)	50	XC2, XD1, XF4
		R2					
		R3	C30/37	P30	50	XC2, XD1, XF2	
		R4					

- 1) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitetujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään C55/67 ja P-luvun ollessa vähintään P50 ei rakennetta tarvitse suojata.
- 2) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitetujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltöjen reunapalkkien kuoret [12] mukaisien reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään Ro20 rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.
- 3) Mikäli sillan siirtymälaatta valetaan maata vasten, on betonipeitteen nimellisarvo ( $c_{nom}$ ) oltava vähintään 50 mm.

Väyläviraston ohjeita 5/2022  
Eurokoodin soveltamisohje  
Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2

25

## 4.2 Ympäristöolosuhteet

Samassa kohteessa ja samassa rakenneosassa tulee välttää tarpeettoman monen betonilaadun käyttämistä. Kullekin rakenneosalle määritettävä rasitusluokkaryhmä R valitaan tiukemmaksi eri pinnoista saatavien rasitusluokkaryhmien mukaan.

Taulukoissa 4.1, 4.2 ja 4.3 käytetyillä rasitusluokkaryhmillä tarkoitetaan:

**Rasitusluokkaryhmä R1:** Päällysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoitodossa käytetään suolaa säännöllisesti (KVL > 1.500, esim. kaupunkien sisääntulotiet, talvihoitoluokka Is tai I) sekä betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.

**Rasitusluokkaryhmä R2:** Päällysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat tiellä, jonka talvihoitodossa käytetään suolaa (KVL > 350, talvihoitoluokka Ib tai TIb) sekä betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.

**Rasitusluokkaryhmä R3:** Siltarakenteet meren rannalla.

**Rasitusluokkaryhmä R4:** Siltarakenne ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään.

Suolasumurasituksen otaksutaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle sillan alitavan suolattavan ajoradan reunasta. Päällysrakenteen palkeilla ja kansilaatalla suolasumun otaksutaan vaikuttavan liikenteen tulosuunnan puoleisilla ulkoylfjen pysty- ja vinopinnoilla (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.

Esijännitettyjen betonielementtien jänneterästen betonipeitteen nimellisarvo saadaan lisäämällä 10 mm taulukoissa 4.1, 4.2 ja 4.3 esitettyyn tavanomaisen raudoitteen betonipeitteen nimellisarvoon. Sementti-injektoiduissa suojaputkissa olevien jänneterästen vähimmäisetäisyys rakenteen pinnasta määritetään kappaleen 8.10 mukaisesti.

## Tuulikuormat

- **Teetettiin asiantuntijaselvitys (Risto Kiviluoma / WSP)**
- Pituus- ja pystysuuntainen tuulikuorma
- S1 alttiimpi tuulen vaikutukselle
  - S1 sillan alimmat ominaistajuudet 1 Hz luokkaa
- Analyysi perustuu siltojen kansipoikkileikkausten tuulitunnelikokeisiin (Iso-Britannia)
- Dynaaminen värähtely
  - Staattinen korvauskuorma
- Työn aikainen värähtely haasteena

### S1 (24 m)

28 m/s (10 min keskituuli)

38 m/s (3 s. puuskatuuli)

### S2 (11 m)

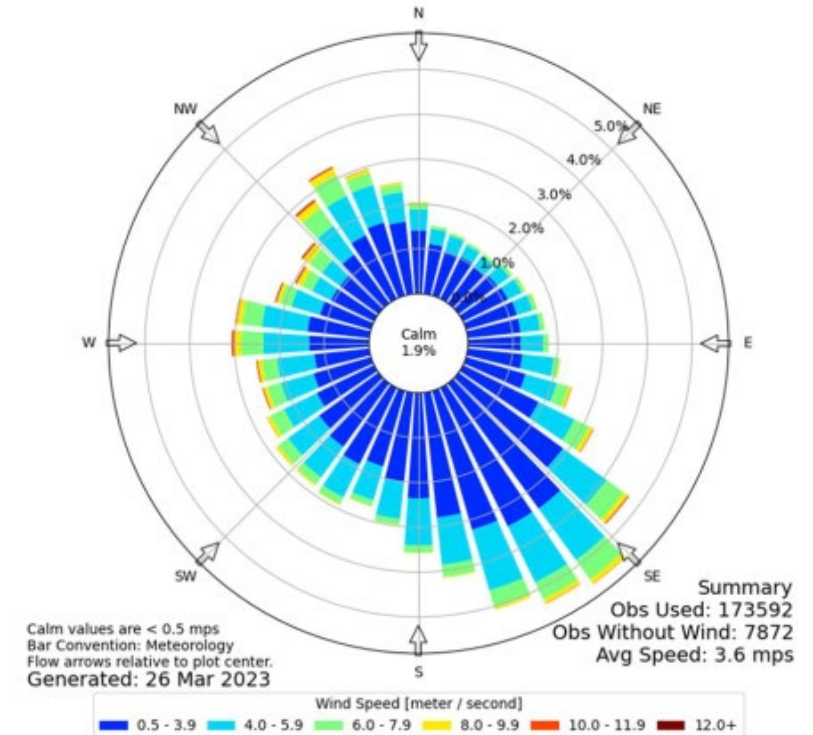
26 m/s (10 min keskituuli)

35 m/s (3 s. puuskatuuli)

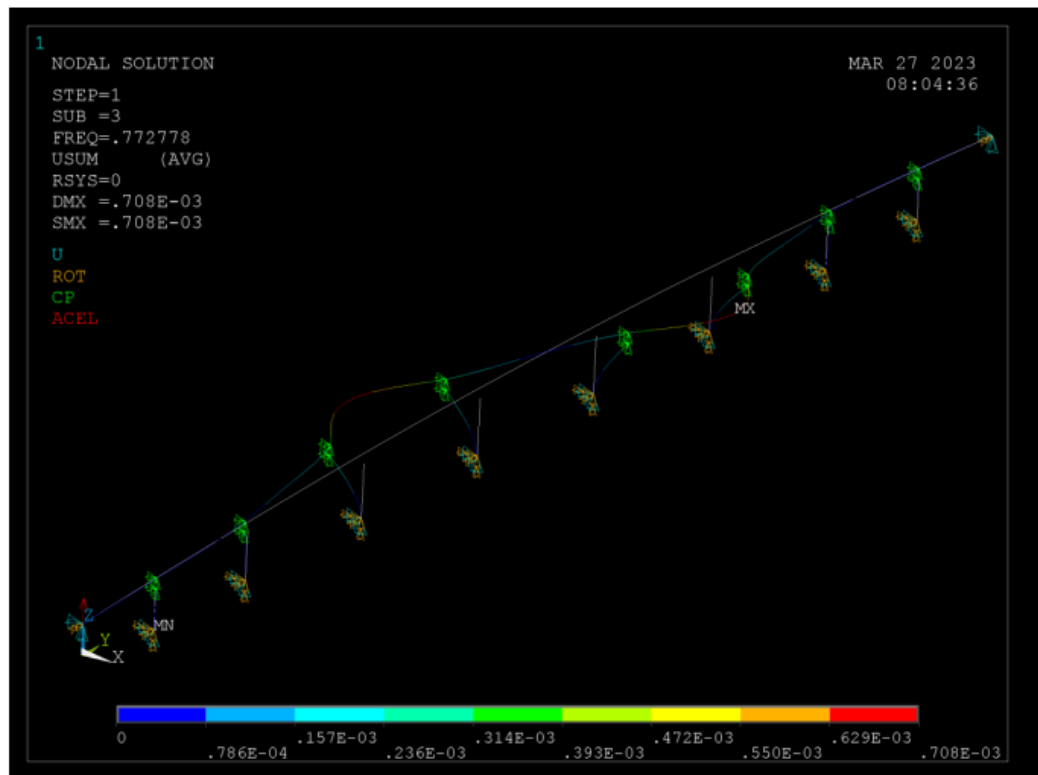
Tarkasteltujen sääasemien mitatut (oikaisemattomat) tuulen 3 s. puuskanopeudet ovat olleet 10 v tarkastelujaksolla suurimmillaan 36 m/s.



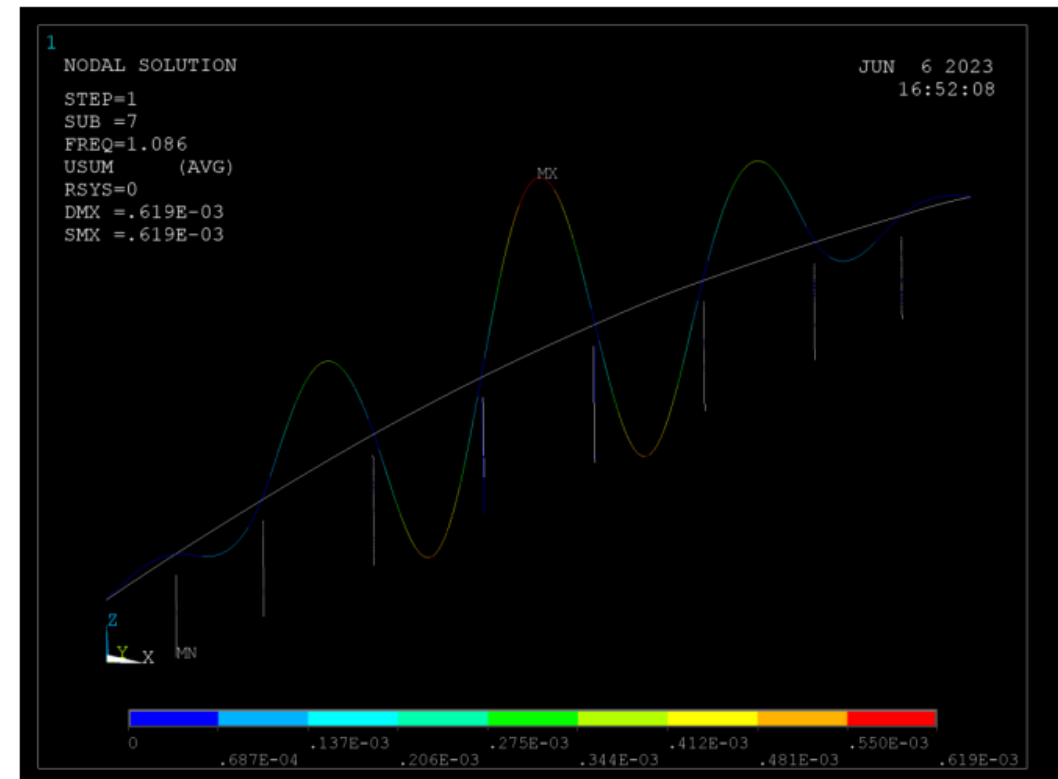
Windrose Plot for [EFOU] Oulu  
Obs Between: 01 Jan 2002 03:50 AM - 30 Dec 2022 11:50 PM Europe/Helsinki



## Tuulikuormat



Poikittaisvärähtely

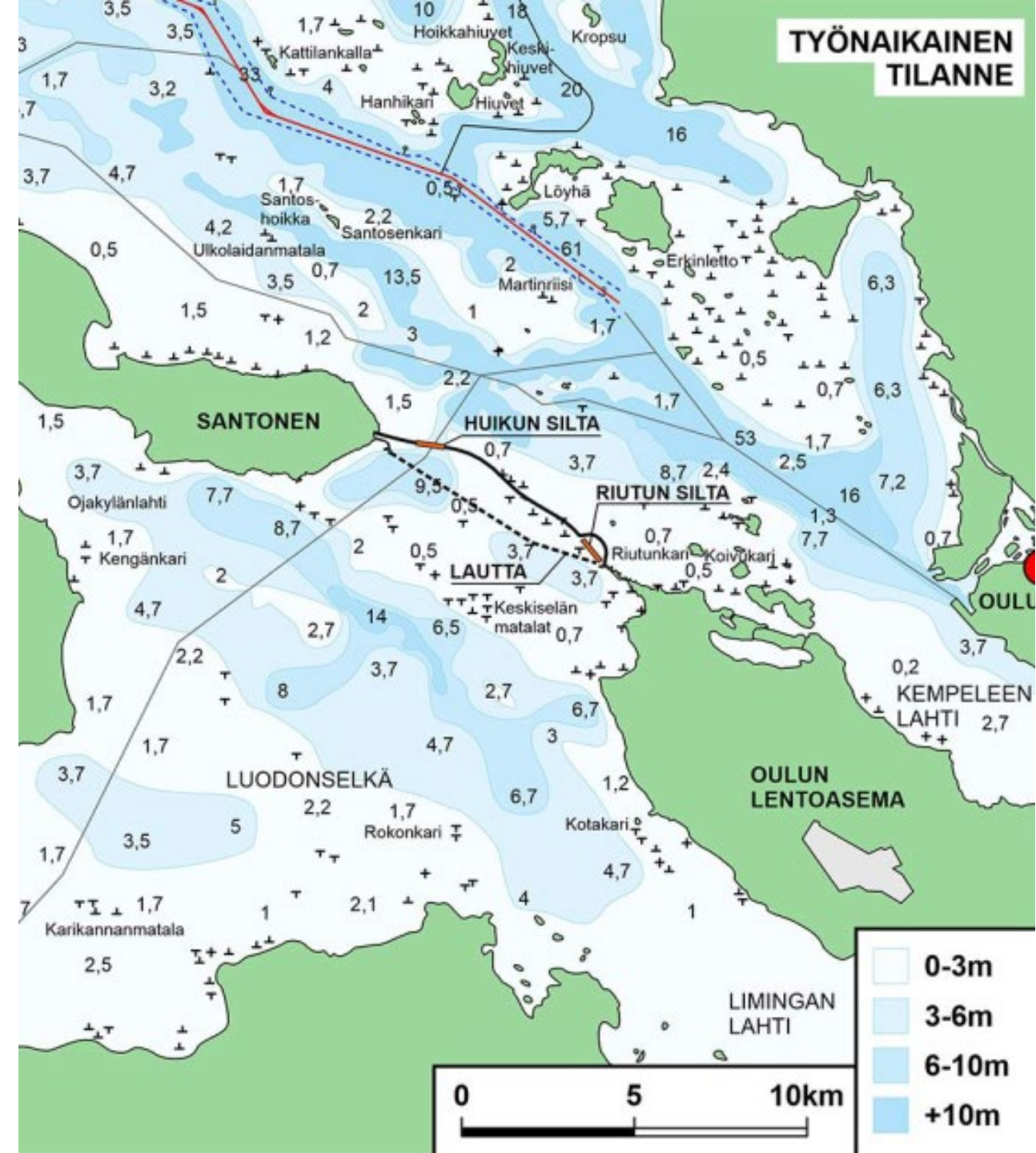


Pystyvärähtely



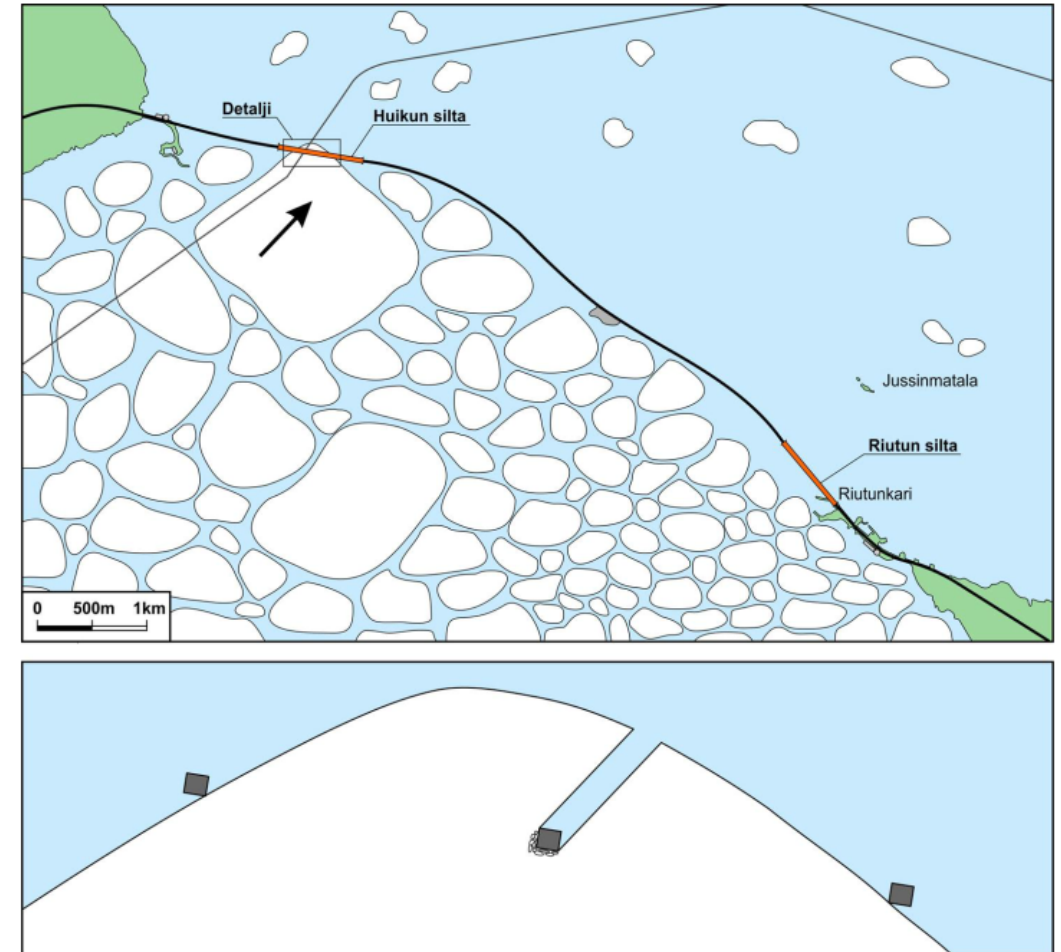
## Ympäristöolosuhteet

- Hankealue lähes kokonaan merialueella
  - Vesisyvyys pengertien kohdalla 1...3 m
  - S1 kohdalla vesisyvyys syvimmillään n. 8 m
  - S2 kohdalla vesisyvyys syvimmillään n. 6 m
- **Alueelle muodostuu pysyvä jääkansi joka vuosi**
  - Jääkansi muodostuu marras-joulukuussa ja lähtee huhti-toukokuussa
  - Alueella liikkuvia jäälauttoja myrskyjen seurauksena
  - Jääkannen paksuus 50-70 cm
  - Loppusyksy 2024 - alkutalvi 2025 aiheutti ongelmia mm. S1 kasuuneille (ei kunnollista ja kiinteää jääkantta)

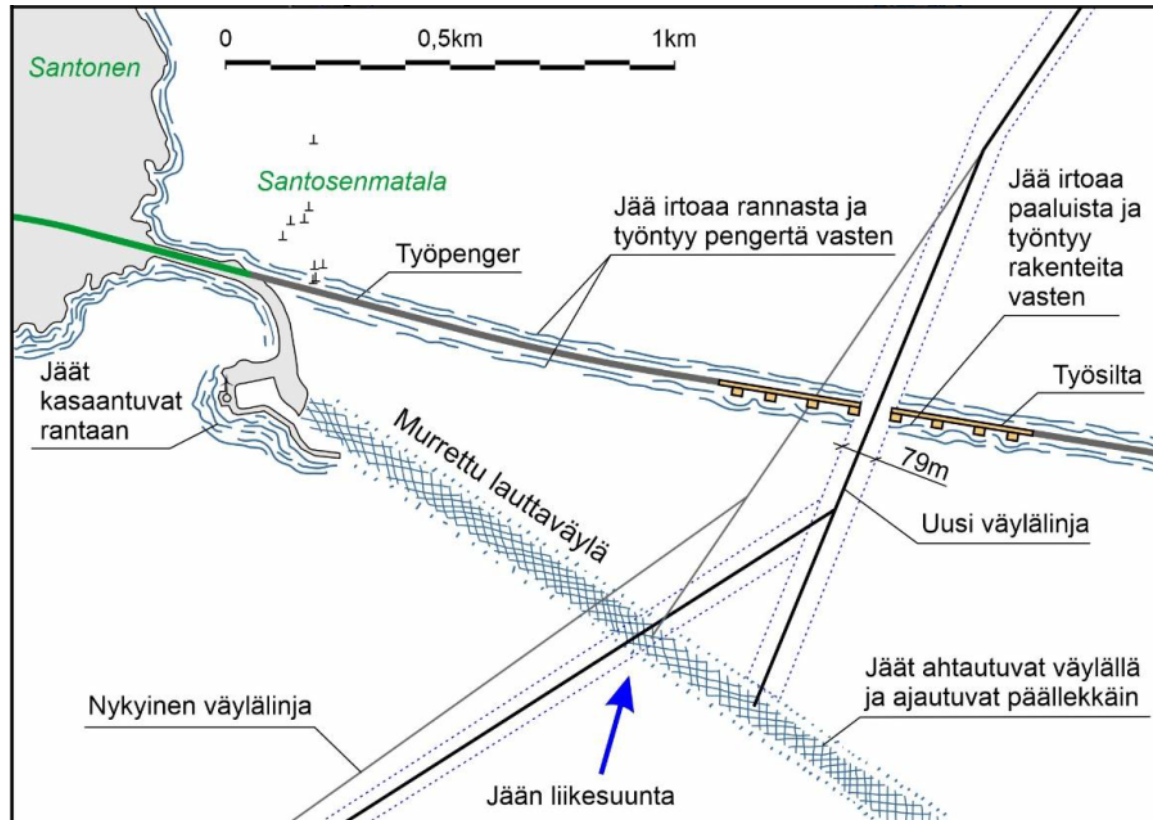


## Jääkuormat

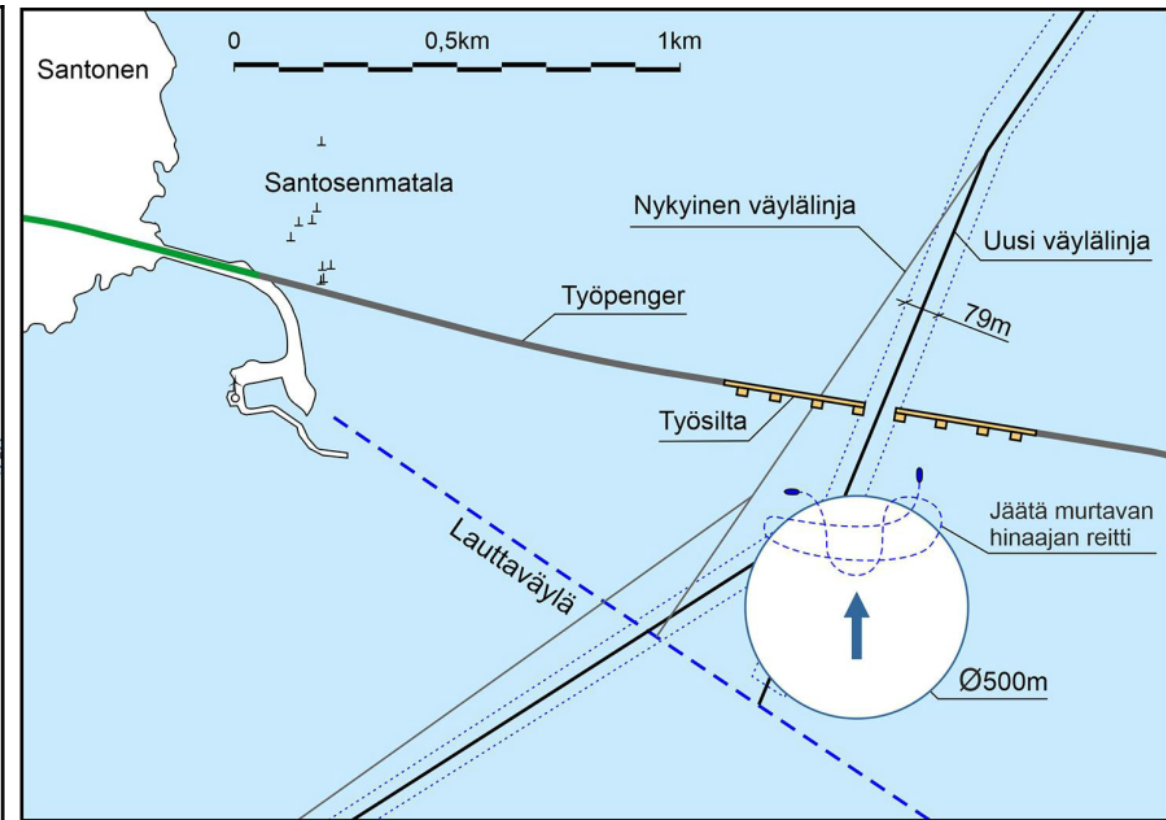
- **Tehty asiantuntijaselvityksiä (Esa Eranti / Eranti Engineering, Jaakko Heinonen VTT)**
- **NCCI1 -mukaiset kuormitukset soveltuvat jokiolosuhteisiin**
- Jään hitaat liikkeet / Veden pinnan vaihtelu
- Jään dynaamiset liikkeet
  - **Mitoittava tilanne jäälautan törmäys**
- 50v kiintojään paksuus 115cm - tyypillinen 75cm
- 30v liikkuvan jään paksuus 30cm
- **Mitoitusarvoksi 80cm liikkuva jäälautta (100v toistumisväli)**
  - Taivutuslujuus
  - Kitka
  - Kasautumiskorkeus



## Jääkuormat - työn aikainen tilanne



Massiivinen jääkentän liike



Jäälautan murtaminen työn aikana



A satellite photograph showing a large, irregularly shaped ice field in a bay. The ice is light grey and white, with some darker patches. The surrounding land is a mix of green fields and brownish areas. The water is dark brown. Labels in white text are overlaid on the image. A scale bar at the bottom center indicates 2 km.

Hailuoto

Jäätilanne -  
Luodonselkä  
09.05.2018

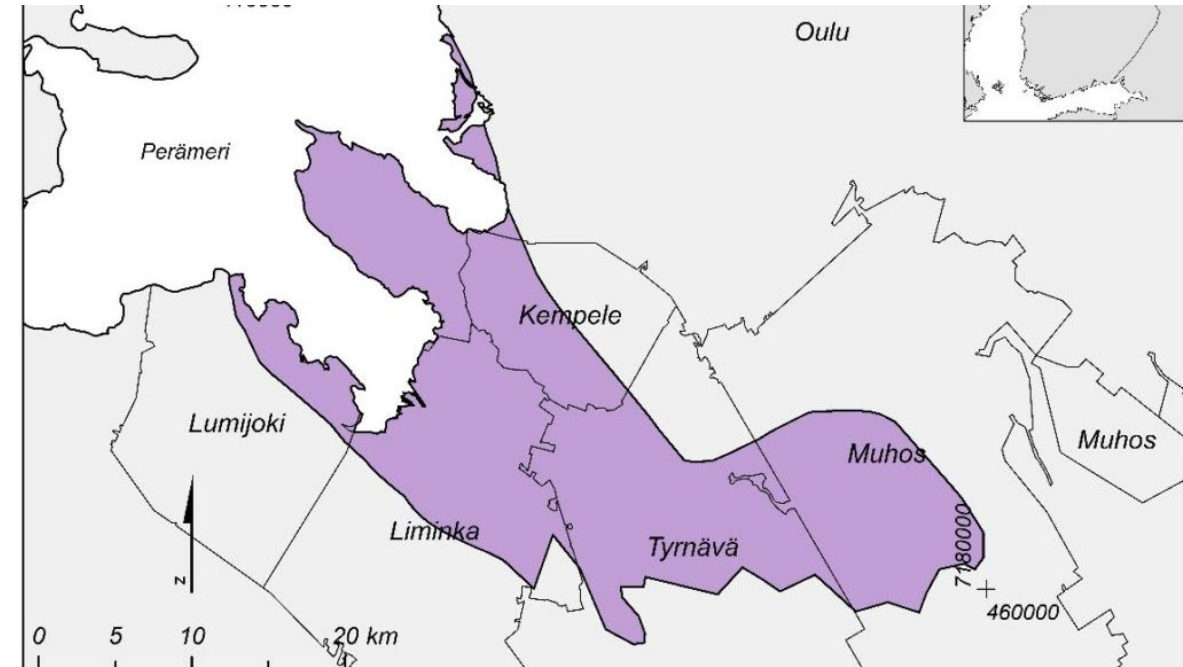
Lauttaranta





## Pohjaolosuhteet 1

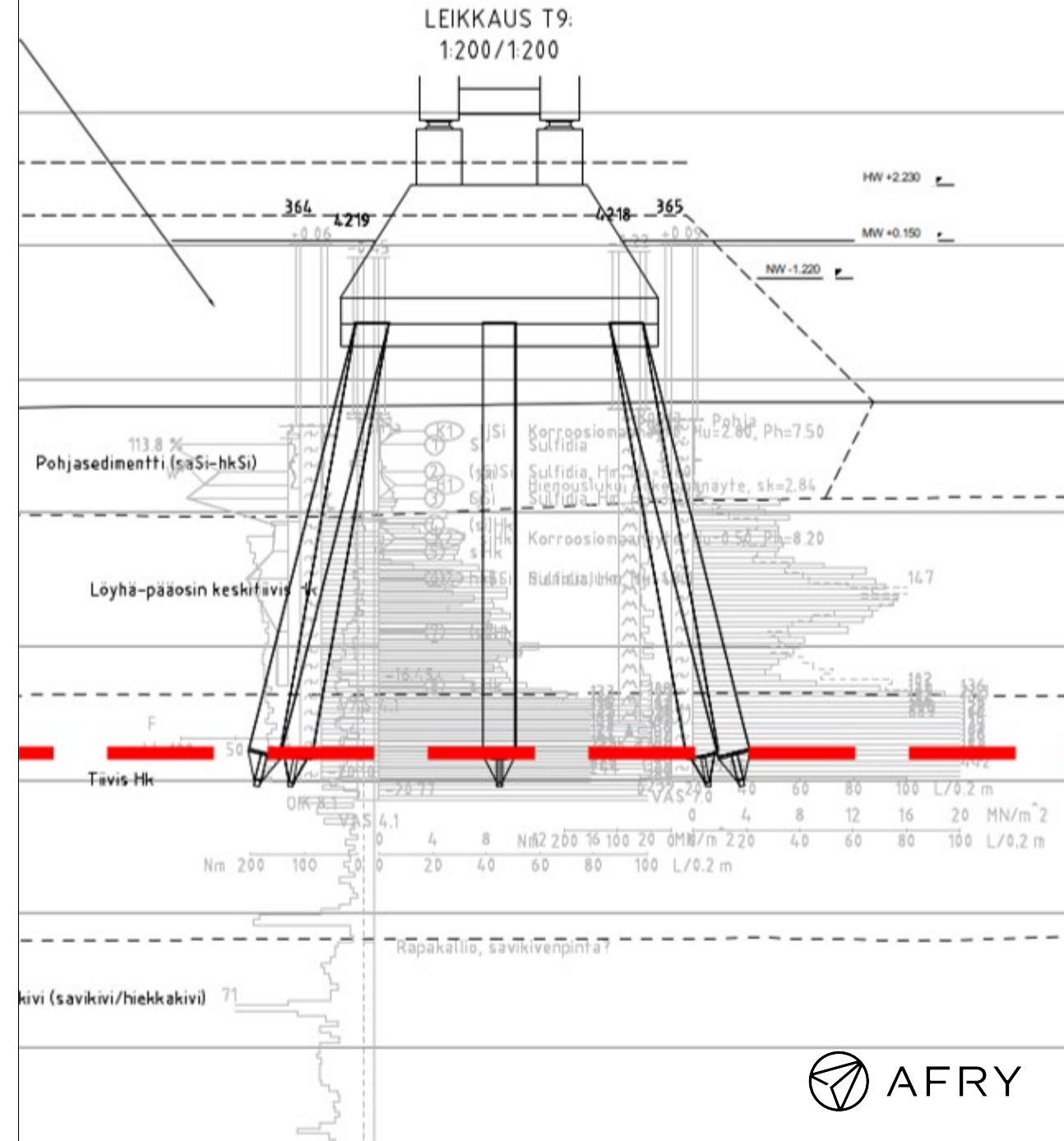
- Hankealue sijaitsee Muhoksen muodostuman alueella
  - 1300 milj. vuotta sitten tapahtunut n. 1 km syvä peruskallion vajoama
  - Vajoamaan sedimentoitunut savikiviä ja savikivikallion päällä olevien maakerrosten paksuus kymmeniä metrejä
  - Kallio syvällä ja kallion laatu epävarma





## Pohjaolosuhteet 2

- Merenpohja pehmeää savista silttiä ja liejuista savea n. 1...4 m paksuna kerroksena
- Löyhä-keskitiivis hiekka 2...>10 m paksuna kerroksena
- Tiivis hiekka, joka muuttuu syvemällä moreenimaiseksi kerrokseksi
- S2 kohdalla sedimenttikivi havaittu porakonekairauksilla n. 35 m syvyydellä



## Korroosio

- **Maaperän** sähkönjohtavuuden, sulfaatin ja kloridin osalta pitoisuudet ylittävät sallitut raja-arvot siltapaikoilla. **Korroosio-olosuhteet ovat tavanomaisesta poikkeavat.**
- Meriveden tutkimustulosten perusteella korroosio-olosuhteet ovat tavanomaisesta poikkeavat (sähkönjohtokyky, kloridit).
- Teräsputkipaaluissa teräskuorta ei oteta huomioon rakenteellisessa mitoituksessa

**Näytetunnus:** O-18-00745-001

**Näyte otettu:**

**Näytetyyppi:** Maa

**Kuvaus:** 4219/ 6-7m

**Vastaanottoptvm:** 28.3.2018

**Näytteenottaja:**

### Analyysit

**Yksikkö**

**Tulos U**

#### Fysikaalis-kemialliset tutkimukset

pH (1:5)		7,5
Sähkönjohtokyky (1:5)	mS/m	77
Humuspitoisuus (550 °C)	% ka	2,8
Sulfaatti, happoliukoinen	mg/kg ka	1790
Vesiliukoinen kloridi	mg/kg ka	490

**Näytetunnus:** O-18-00745-002

**Näyte otettu:**

**Näytetyyppi:** Maa

**Kuvaus:** 4219/ 10-11m

**Vastaanottoptvm:** 28.3.2018

**Näytteenottaja:**

### Analyysit

**Yksikkö**

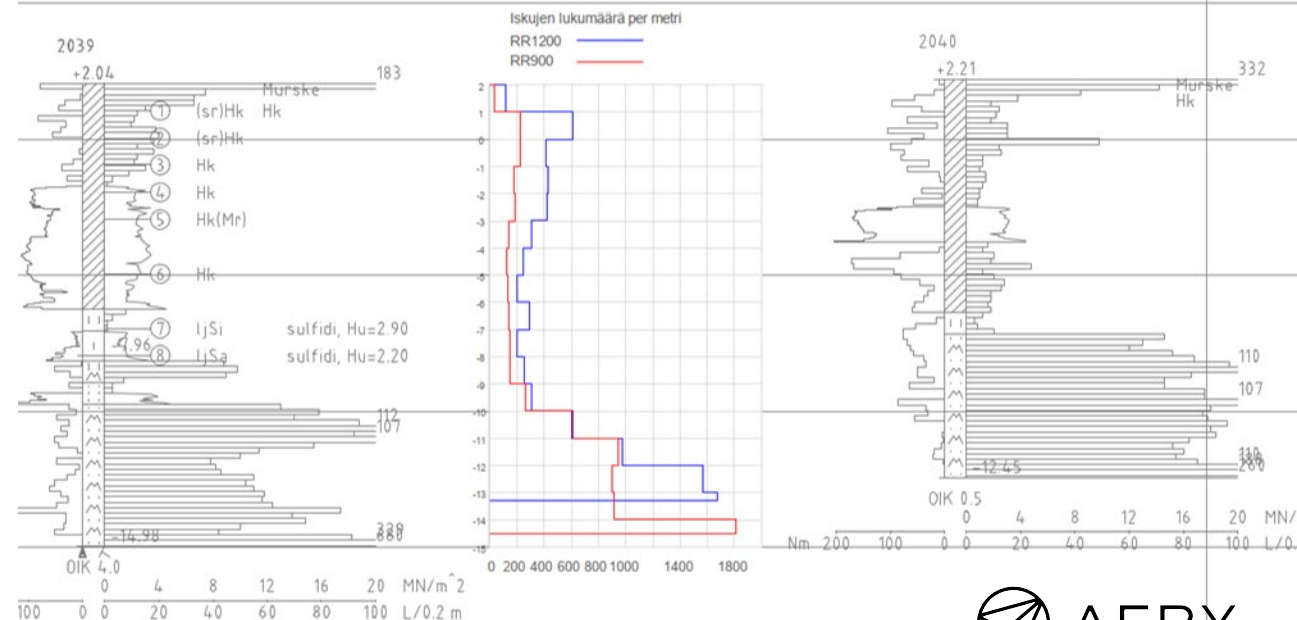
**Tulos U**

#### Fysikaalis-kemialliset tutkimukset

pH (1:5)		8,2
Sähkönjohtokyky (1:5)	mS/m	53
Humuspitoisuus (550 °C)	% ka	<0,5
Sulfaatti, happoliukoinen	mg/kg ka	49
Vesiliukoinen kloridi	mg/kg ka	1560

## Paalutukset

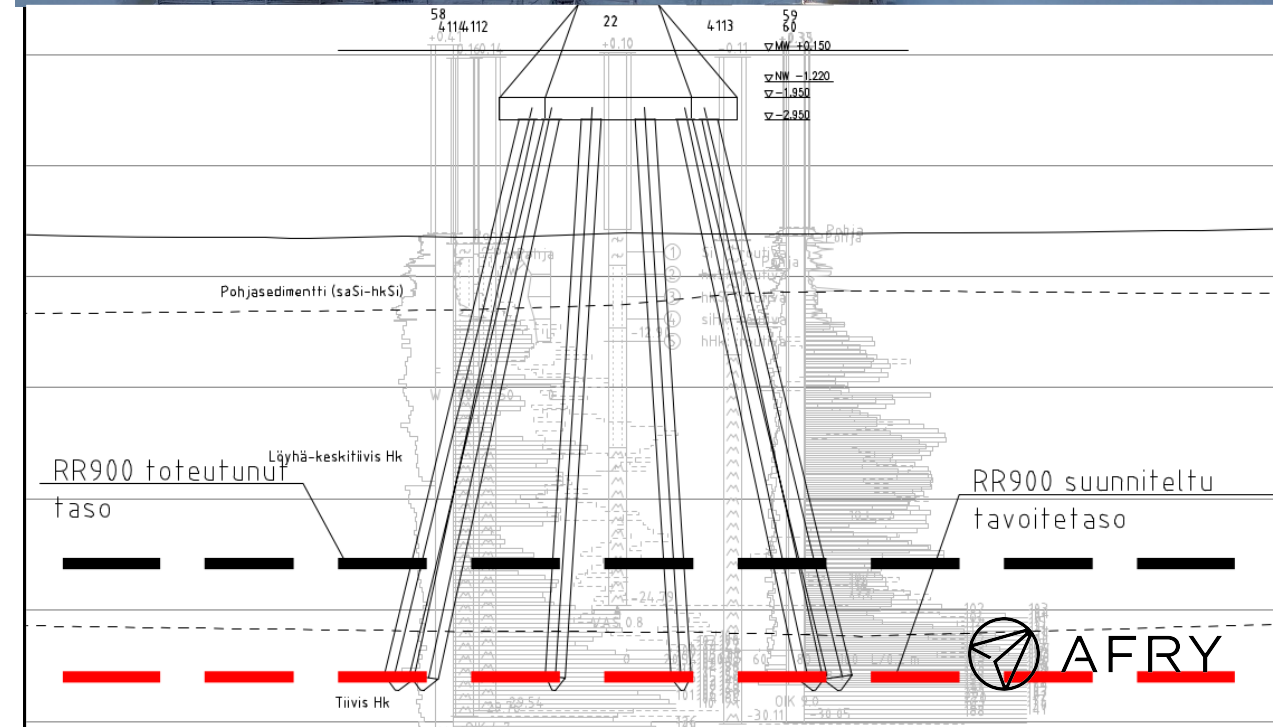
- Tiesuunnitelmassa paaluina oli lyömällä asennettava teräskuoriset betonipaalut, maatuilla D500 ja välituilla D900
- Siltojen perustamiseksi tutkittiin eri vaihtoehtoja, mutta lyötävät teräsputkipaalut todettiin lopulta parhaimmaksi vaihtoehdoksi
  - **S1 maatuilla Ø610/12,5 ja välituilla Ø910/12,5**
  - **S2 maatuilla Ø610/12,5 ja välituilla Ø1200/12,5**
  - **Rakentamissuunnittelussa S2 osalta poistettiin yksi välituki, jolloin paalukokoa piti kasvattaa**
- Paaluvalintaa tuki helmikuussa 2023 Oulunsalon rantaan lyödyt koepaalut D900 ja D1200
  - Koepaalutusten perusteella vaadittu kestävyys saavutetaan kohtuullisella lyöntimäärällä
  - PDA-mittausten perusteella riittävä puristus- ja vetokestävyys mahdollista saavuttaa valituilla paalutypeilla





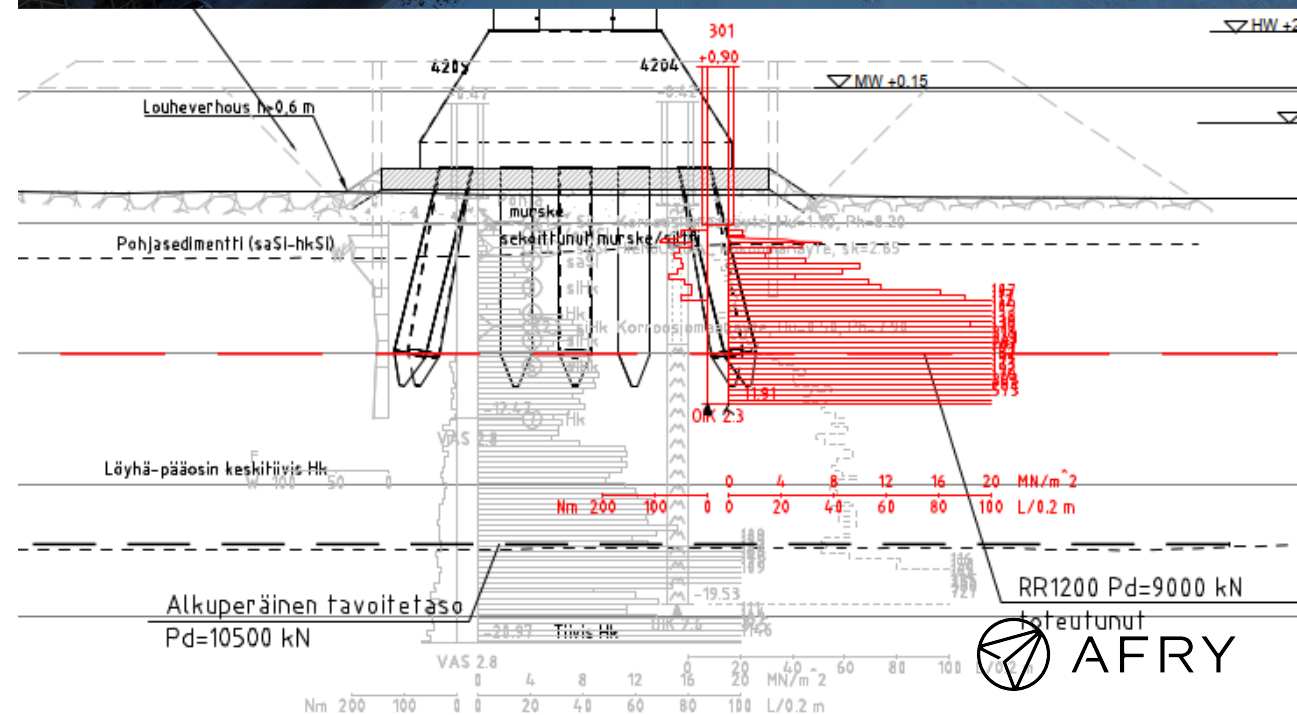
## S1 paalutus

- Paalutus tehdään työsillalta
- Paalujen asennus 9 tn hydraulijärkäleellä, PDA-mittaukset 10 tn vapaapudotteisella järkäleellä
- S1:lla paalukuormat enimmillään  $P_d = 7,63 \text{ MN}$  ja  $T_d = 1,48 \text{ MN}$
- **S1:n Ø900-paaluilla samanlaisia ongelmia kuin S2:n Ø1200-paaluilla: suuret lyöntimäärät, jäävät suunniteltua ylemmäs.**
- Kantokestävyydet (PDA) ja vetokestävyydet (Capwap) kuitenkin riittävät eikä tähän mennessä lisäpaaluja ole tarvittu (paalutus kesken).
- Molempien siltojen maatuorien Ø600-paalujen lyönnissä ei ongelmia.
- Siltojen paalutuksesta (geotekninen mitoitus, kairaustulokset ja mittaustulokset) laaditaan diplomityö (Väylävirasto/Oulun yliopisto).



## S2 paalutus

- Paalutus työpenkerein päältä tasolta +1,15
- **Paalutus aloitettiin 7/2024, kaikki paalut löyty 1/2025**
- S2:lla paalukuormat enimmillään  $P_d=9,4$  MN ja  $T_d=1,75$  MN
- Alusta alkaen paalujen tunkeutuminen keskitiiviiksi tulkittuun kerrokseen oli hankalaa
- Ø1200-paalut jäivät säännönmukaisesti alkuperäisestä tavoitetasosta
- **Lyöntimäärät jopa tuhansia lyöntejä metriä kohti. Tunkeutumista saatiin jonkin verran parannettua esirei'ityksellä (D300 porapaalukalusto).**
- **Paalut suunniteltiin lyhyemmiksi. Kantokestävyyden (PDA) ja vetokestävyyden (CAPWAP) sekä perustuksen vaakajäykkyyden perusteella paalumäärää lisättiin, 2-4 lisäpaalua/tuki.**
- Kestävyydet varmistettiin PDA-mittauksilla ja CAPWAP-analyysilla.
- Paalutuksen jälkeen tehtyjen kairausten perusteella pohjamaa (hiekkä) tiivistyy voimakkaasti pudotusjärkälleellä toteutetun paalutuksen seurauksena.





- Paalutyypinä lyötävä teräsputkipaalu Ø273/8,0
- Aluksi paaluputket alapäästä avoimia
  - Paaluilla ei tapahtunut tulppaantumista ja paalupituudet kasvoivat jopa yli 30 metriin
  - Alapäihin asennettiin **maakärjet**, jolloin paalupituus jäi alle 20 metriin
  - Kantavuudet varmistettiin PDA-mittauksilla molemmilla paalutypeillä
- Paalut lyötiin ja työsilta rakennettiin lautalta sulan veden aikana: aikataulu- ja olosuhde-etu





## Olosuhdehaasteita

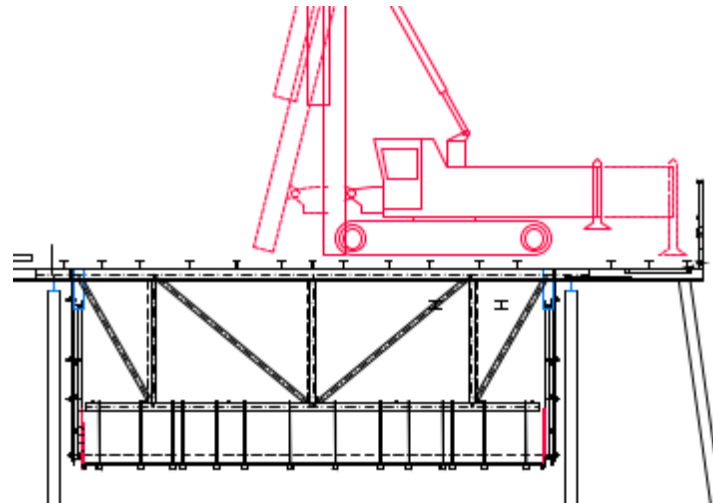
### S2 paalutus

- D1220 T4 12 h > 60 mm
- D1220 PDA mittauksen lopputulos paalun yp:ssä



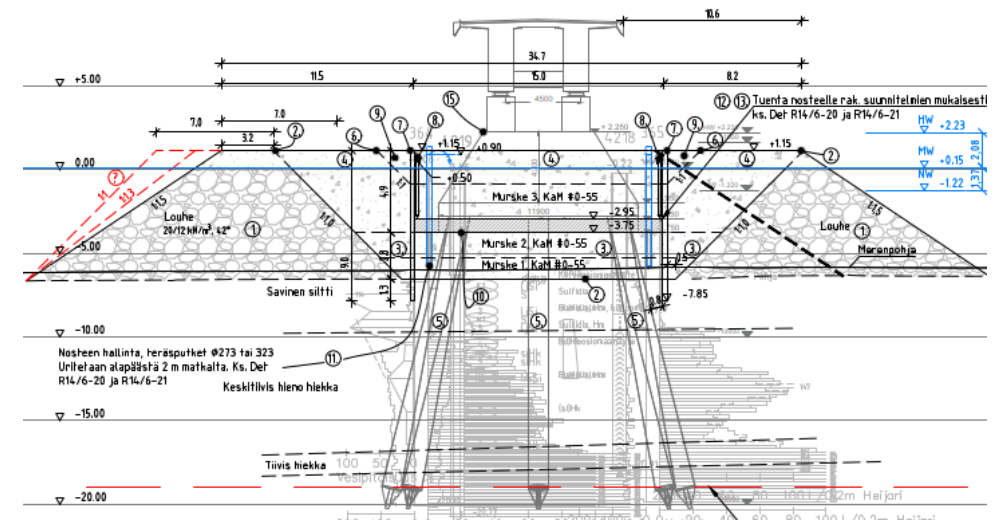
### S1 kasuunit

- aallokon voimaa ei arvioitu riittävästi



### S2 kasuuni

- louhepenger/mursketäyttö/pontti-kasuunit/työbetoni





# TYÖMAAKUVIA S1





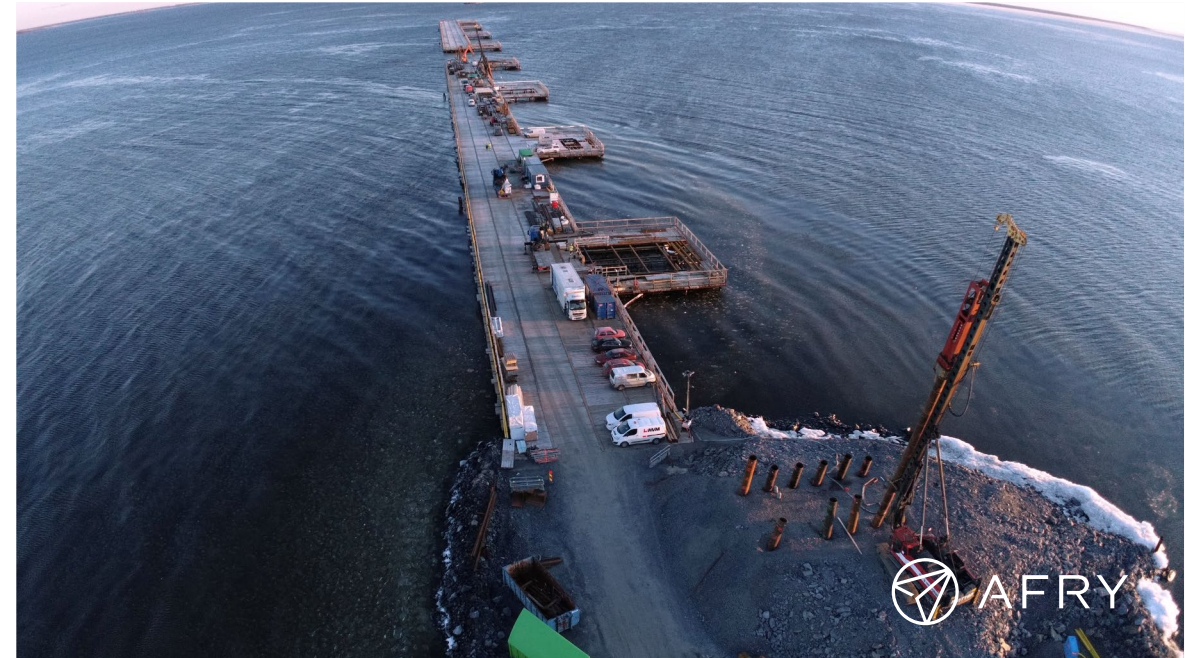
## TYÖMAAKUVA S2 Kasuuni, jäänsärkijä ja teline





## Paalutuksen havainnot / opit:

- Suuriläpimittaisia teräsputkipaaluja pudotusjärkäleellä upotettaessa hiekka tiivistyy voimakkaasti.
- Tämän seurauksena kitkapaalun vaippa- ja kärkivastus kasvavat niin, että paalun lyöntimäärät kasvavat odottamattoman suuriksi ja paalutustyö hidastuu merkittävästi.
- Jos ei ole selvää tiivistä tukeutumiskerrosta (tiivis moreeni, kallio), kantokestävyys ja tavoitetaso tulee varmistaa useilla koepaaluilla ja PDA-mittauksilla todellisissa olosuhteissa.
- Paalun lyönnin nopeuttaminen augeroimalla (porapaalukalusto) saattaa aiheuttaa vinopaaluille toleranssin ylityksiä.





## S1 Huikun silta Tuki 5 paalutus

