

Painopenger ja pystyjoitus pehmeiköllä

Instrumentointi rakentamisen seurannan ja pystyjoituksen toimivuuden arvioinnin tukena

Monica Löfman

Pohjanvahvistuspäivä 21.8.2025

RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Helsinki

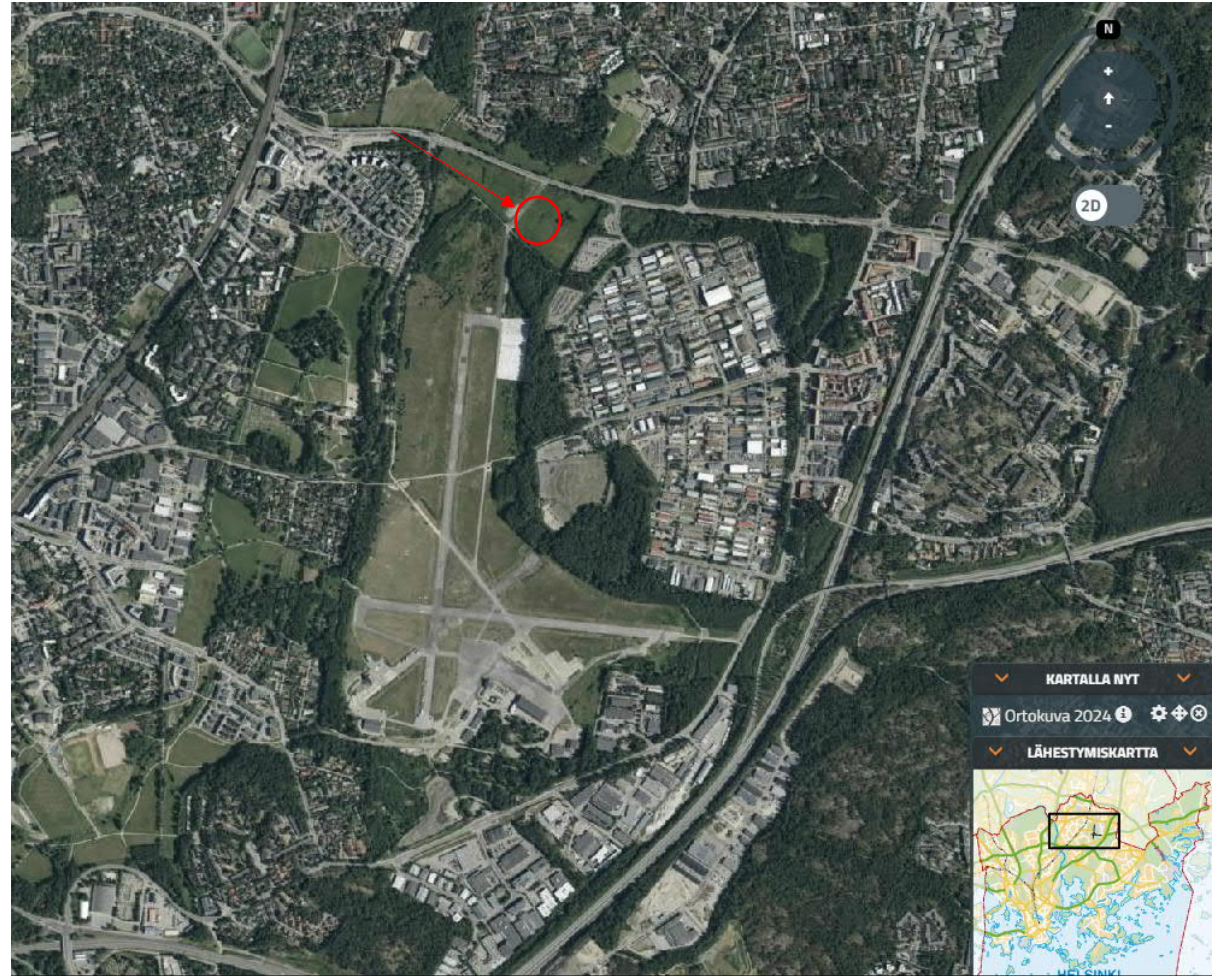
Kuva: Harri Saarinen

Sisällys

1. Kohteen esittely
2. Instrumentointi
3. Seurantamittausten tuloksia
4. Johtopäätökset

Koepenger H1-H2

- Koepenger sijaitsee Malminkentän pohjoisosassa
- *Pohjoiset koepenkeret* käsittivät puupaalutetun koepenkeren sekä koepenkeren H1-H2:
 - H1: Ylipenger, vastapenkereet ja geolujite, ei pystyöjia
 - H2: Pystyöjitettu pohjamaa, ylipenger, vastapenkereet ja geolujite
- Koerakentamisen tavoitteena oli selvittää esikuormituksen ja pystyöjituksen soveltuvuutta Malminkentän maaperäolosuhteissa
 - Taustalla HNH30-toimenpide *Malminkentän esirakentamisen päästöjä vähennetään -50 prosenttia vuoteen 2030 mennessä.*

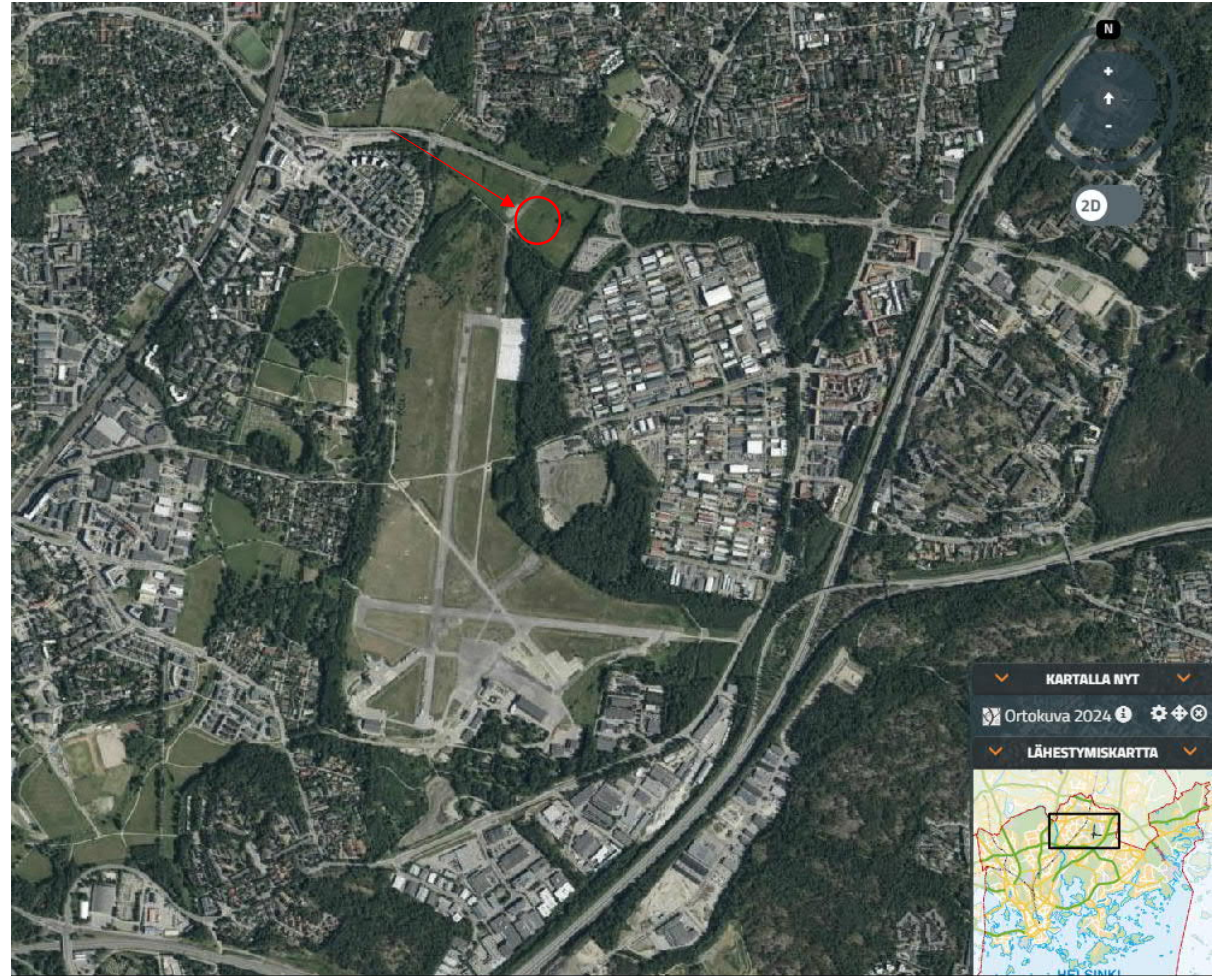


Kuva: Helsingin karttapalvelu

Koepenger H1-H2

- Koepenger sijaitsee Malminkentän pohjoisosassa
- *Pohjoiset koepenkeret* käsittivät puupaalutetun koepenkeren sekä koepenkeren H1-H2:
 - H1: Ylipenger, vastapenkereet ja geolujite, ei pystyöjia
 - H2: Pystyöjitettu pohjamaa, ylipenger, vastapenkereet ja geolujite
- Koerakentamisen tavoitteena oli selvittää esikuormituksen ja pystyöjituksen soveltuvuutta Malminkentän maaperäolosuhteissa
 - Taustalla HNH30-toimenpide *Malminkentän esirakentamisen päästöjä vähennetään -50 prosenttia vuoteen 2030 mennessä.*
- Toteutus 09/2024–01/2025
 - Tilaaja: Helsingin kaupunki
 - Suunnittelija: Ramboll
 - Urakoitsija: Tieluiska
 - Instrumentointi: Finmeas ja Stara

Ramboll



Kuva: Helsingin karttapalvelu

Suunnitelmaratkaisut & instrumentointi

• H1-H2:

➤ 2,5 m korkea pääpenger (1. vaihe)

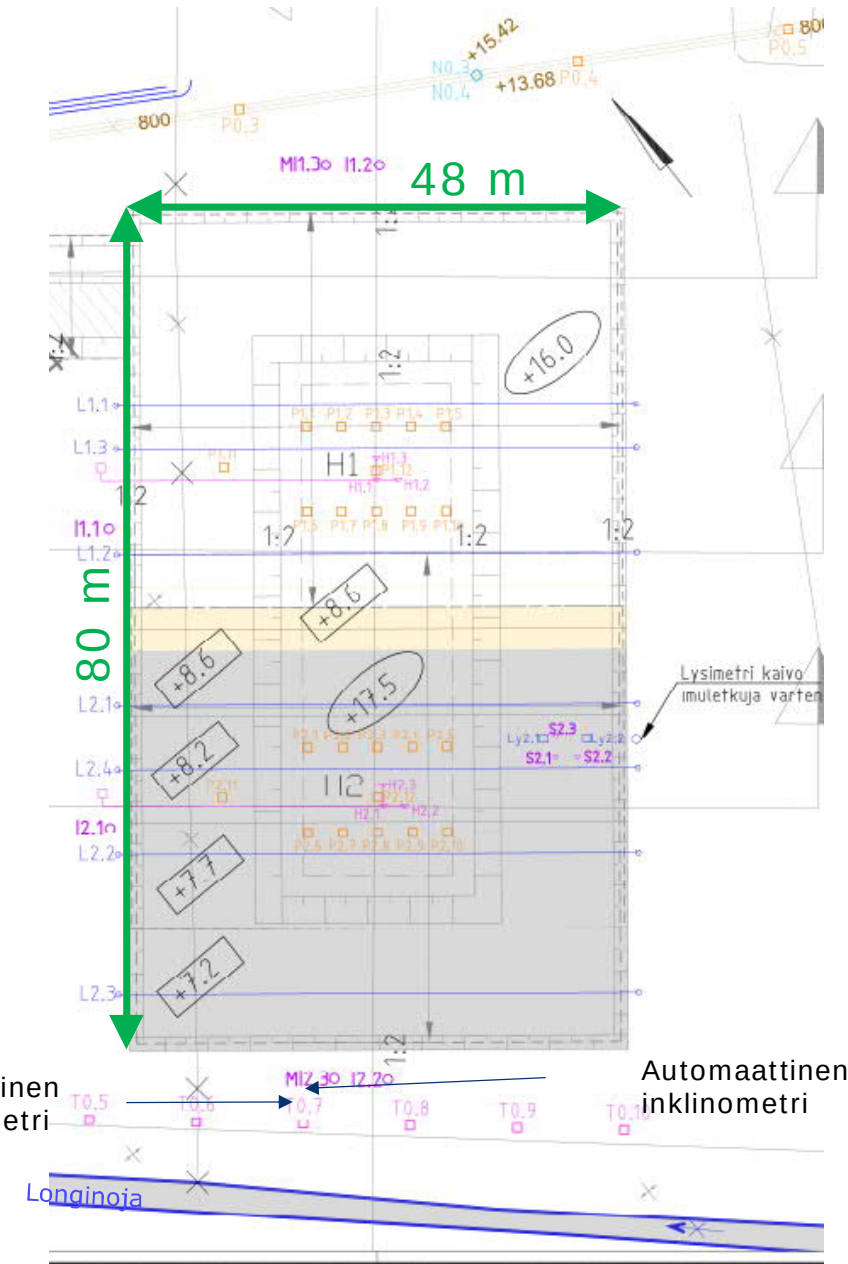
➤ 1 m vastapenkereet

➤ Geolujitteet penkereeseen nähden pituus- ja poikkisuuntaan

• Pystyoja kyllä/ei => ainoa eroavaisuus H1 ja H2 välillä

➤ H2 alueella saven alapinta hieman syvemmällä

□	Siirtymätangot koepenkereiden ja Longinojan välissä
◇	Painumanastat (2 kpl), asennetaan tarkastuskaivon yläreunaan
○	Inklinometriputki
—○—	Manuaalinen painumaletku (letkun päät suojataan kaivonrenkailla. Kaivonrenkaat asetetaan siten, että ne eivät tuki vesienhallinnan ojia)
✉	Huokosvedenpainekärki
🔧	Huokosvedenpaineen mittausyksikkö ja referenssitanko (esim. kalratangot kovaan pohjaan)
□	Painumalevy
▽	Siiviläkärki
□	Lysimetri



Suunnitelmaratkaisut & instrumentointi

• H1-H2:

➤ 2,5 m korkea pääpenger (1. vaihe)

➤ 1 m vastapenger

➤ Geolujitteet penkereeseen nähden pituus- ja poikkisuuntaan

• Pystyoja kyllä/ei => ainoa eroavaisuus H1 ja H2 välillä

➤ H2 alueella saven alapinta hieman syvemmällä

• Pystyöjitus mitoitettiin olettaen, että tavoiteltava konsolidaatioaste on $U \geq 95\%$ ja se saavutetaan 2 vuoden kuluessa

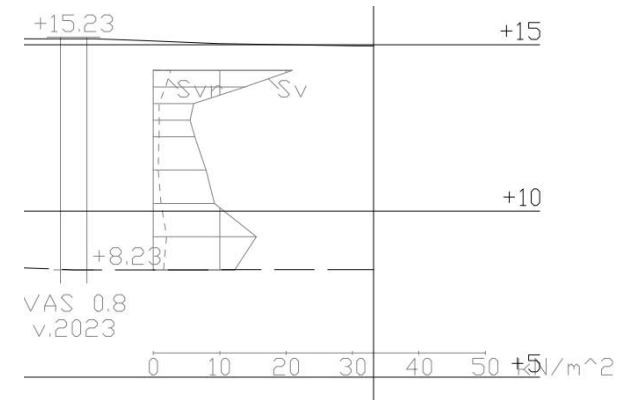
Ramboll

□	Siirtymätangot koepenkereiden ja Longinojan välissä
◇	Painumanastat (2 kpl), asennetaan tarkastuskaivon yläreunaan
○	Inklinometriputki
—○—	Manuaalinen painumaletku (letkun päät suojataan kaivonrenkailla. Kaivonrenkaat asetetaan siten, että ne eivät tuki vesienhallinnan ojia)
✉	Huokosvedenpainekärki
♀	Huokosvedenpaineen mittausyksikkö ja referenssitanko (esim. kalratangot kovaan pohjaan)
□	Painumalevy
▽	Siiviläkärki
□	Lysimetri

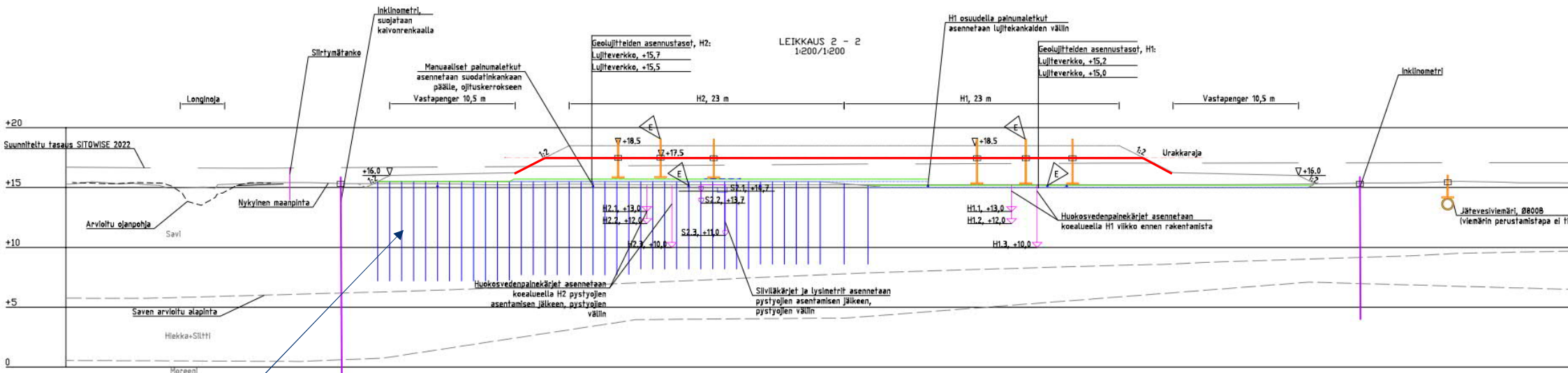


Pituusleikkaus & instrumentointi

- Savikerroksen paksuus n. 7-9 m
- Suunnitelmasta poiketen H2 alueen huokosvedenpainekärjet asennettiin ennen pystyjojen asentamista (pystyjojen asennus ei vaurioittanut kärkiä)



Savi / Lieju-
kerroksen $w \approx 80...130 \%$



Pystyjojat:
MembraDrain MD7407+
(3 mm x 100 mm)

----- Lujitekangas, pituussuuntainen
----- Lujitekangas, poikisuuntainen

Lujitekangas (x2):
Ultimatex DJL60
(ominaislujuus 660 kN/m & 60 kN/m)

Instrumentoinnin ja pystyöjien asennus (H2)



Huokosvedenpainekärjet asennettuina
(keskellä mittaussyksikkö, joka myöhemmin
siirrettiin penkereen ulkopuolelle)

(Kuva: Finmeas)



Lujitekankaiden asennusta
(kuva: Monica Löfman)

Painumalevyt ja painumaletkut



Painumalevyt juuri asennettuina



Penger valmis, painumalevyjen tankoihin asennettu GNSS-mittausyksiköt



Painumaletku

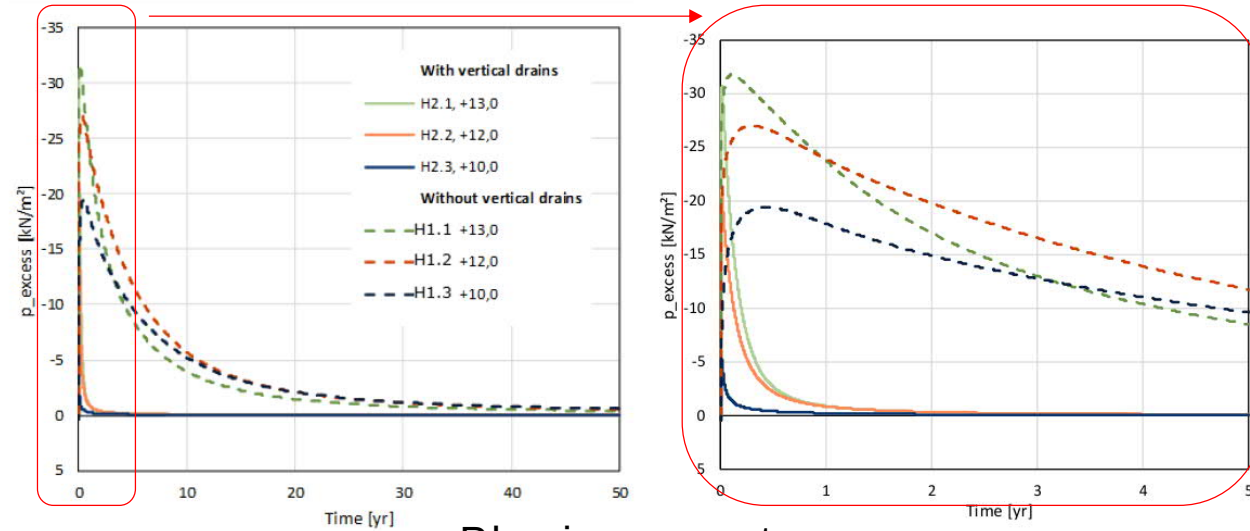
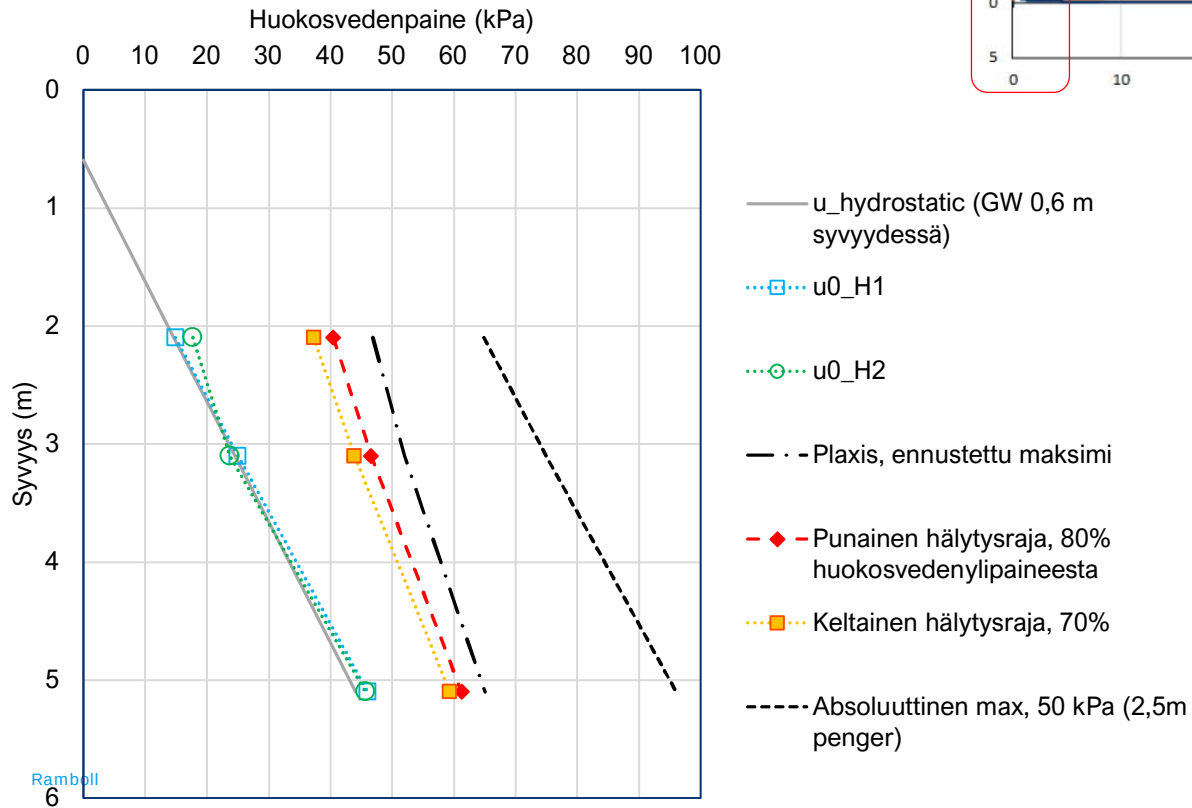


Painumaletkun pää suojakaivossa

Seurantamittausten tuloksia

.. ja pystyjen toimivuus

Huokosvedenpaineet – hälytysrajat



Plaxis ennuste

- Aluksi hälytysrajat määriteltiin Plaxis-ennusteeseen perustuen (70 % tai 80 % ennusteesta)
- Myöhemmin käyttöön otettiin myös "absoluuttinen maksimi":

$$\text{"Absoluuttinen maksimi"} = u_o + \widehat{\Delta u}^{H\gamma}$$

$$H = \text{pengerkorkeus (2,5 m)}$$

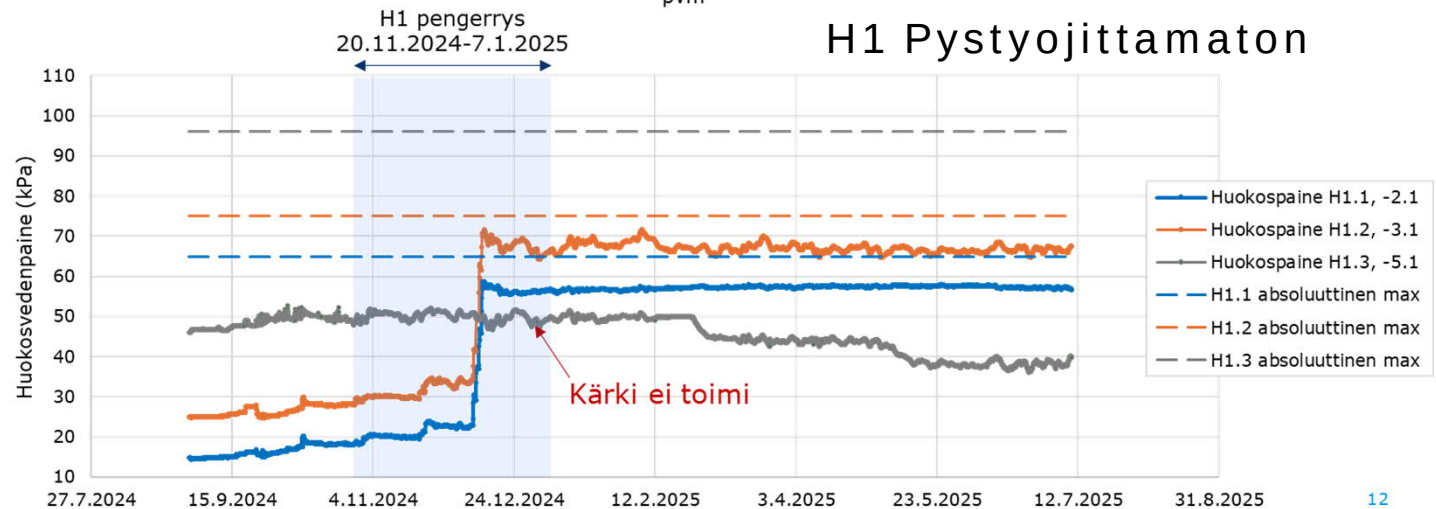
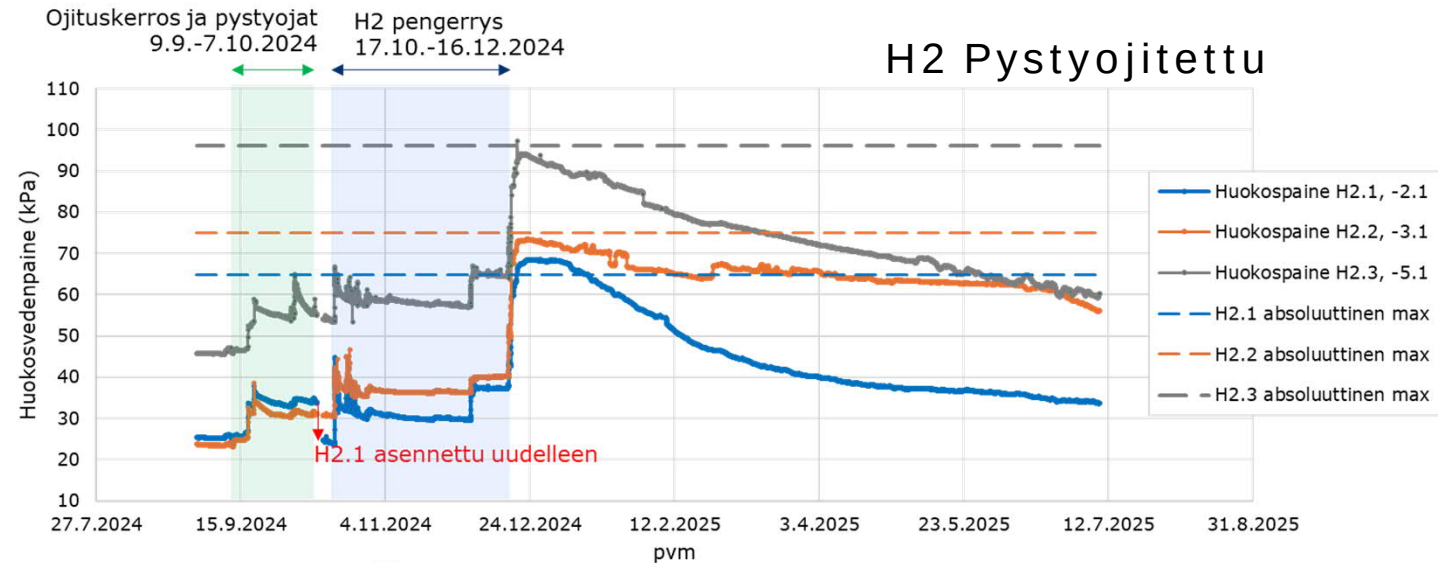
$$\gamma = \text{pengermateriaalin tilavuuspaino} \left(20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right)$$

Huokosvedenpaineet - havainnot

- Alueen H1 yksi kärki todettiin toimimattomaksi
- Etenkin pystyjojitetulla alueella huokosvedenpaineet kohosivat yli hälytysrajojen

1. Pengerrystä vaiheistettiin
2. Suurimmat huokosvedenpaineet pysyivät alle "absoluuttisen maksimin", pois lukien H2.1* joka ylitti hieman "maksimin"

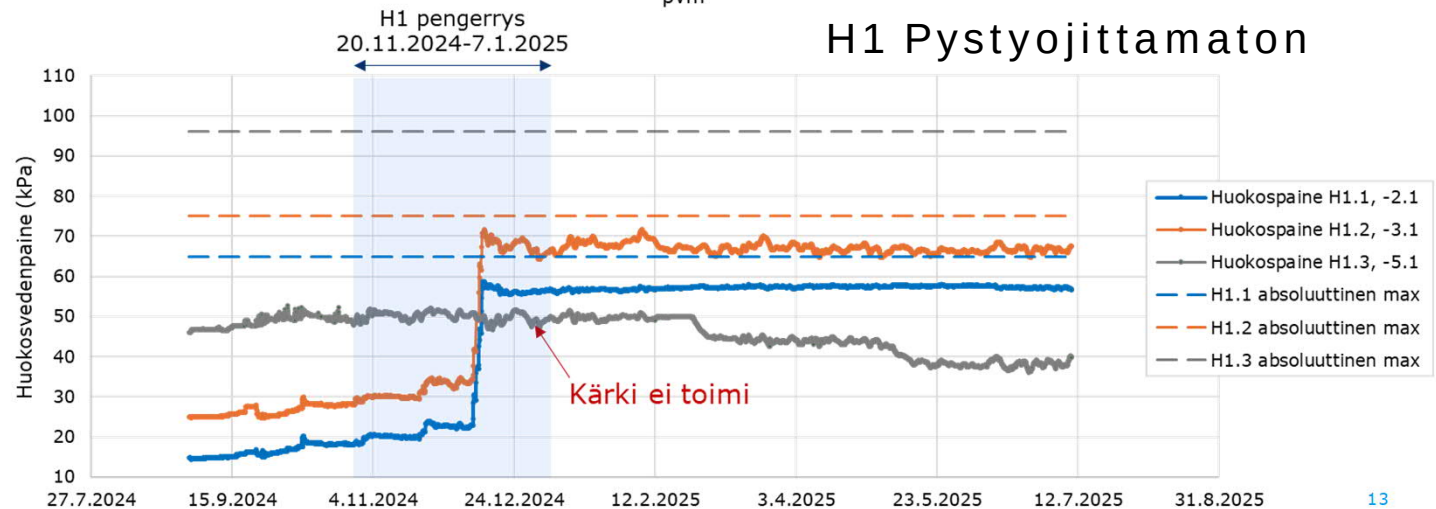
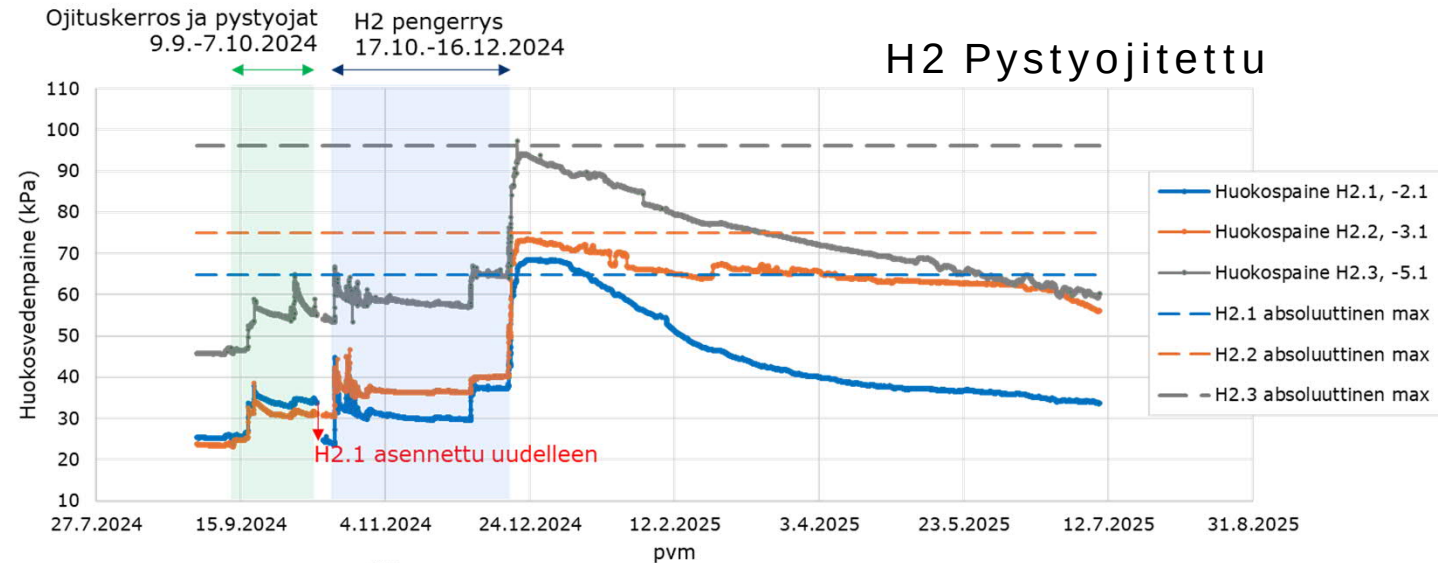
(*lähimpänä maanpintaa, kärki mikä piti asentaa uudelleen syvemmälle tasolle)



Huokosvedenpaineet - havainnot

- Alueen H1 yksi kärki todettiin toimimattomaksi
- Etenkin pystyojitetulla alueella huokosvedenpaineet kohosivat yli hälytysrajojen
 1. Pengerrystä vaiheistettiin
 2. Suurimmat huokosvedenpaineet pysyivät alle "absoluuttisen maksimin", pois lukien H2.1* joka ylitti hieman "maksimin"
- Pystyojien alueella H2 huokosvedenylipaineen purkautuminen on ollut huomattavasti nopeampaa
 - (Plaxis ennuste: 6 kk aikana 90 % huokosvedenylipaineesta purkautunut)

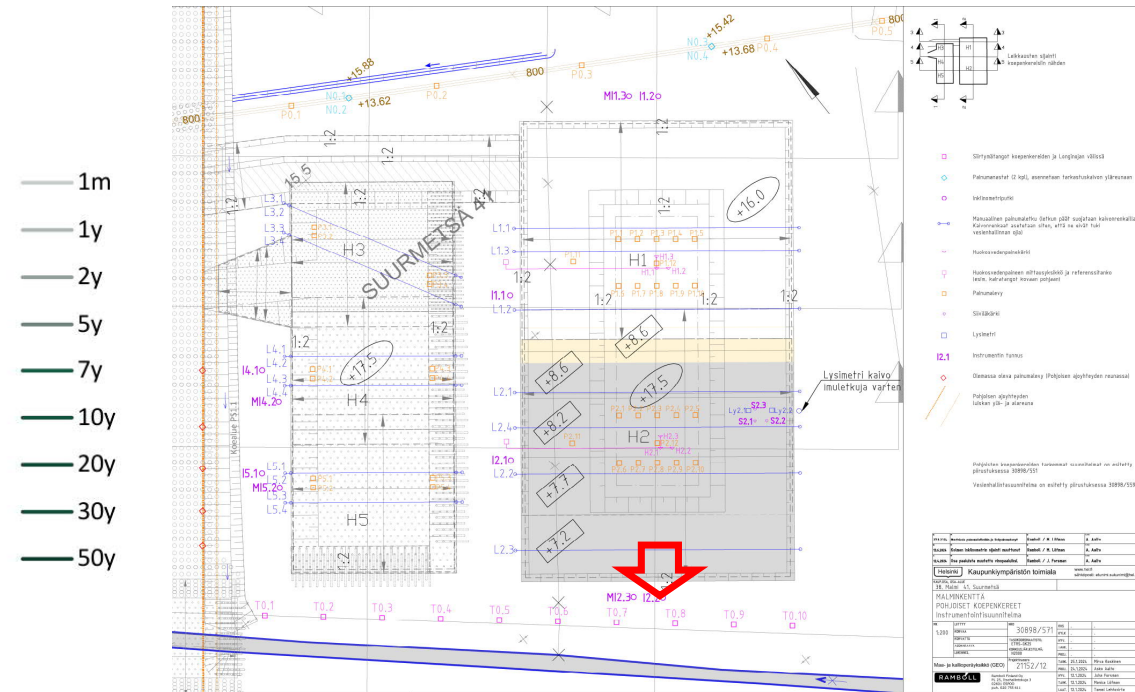
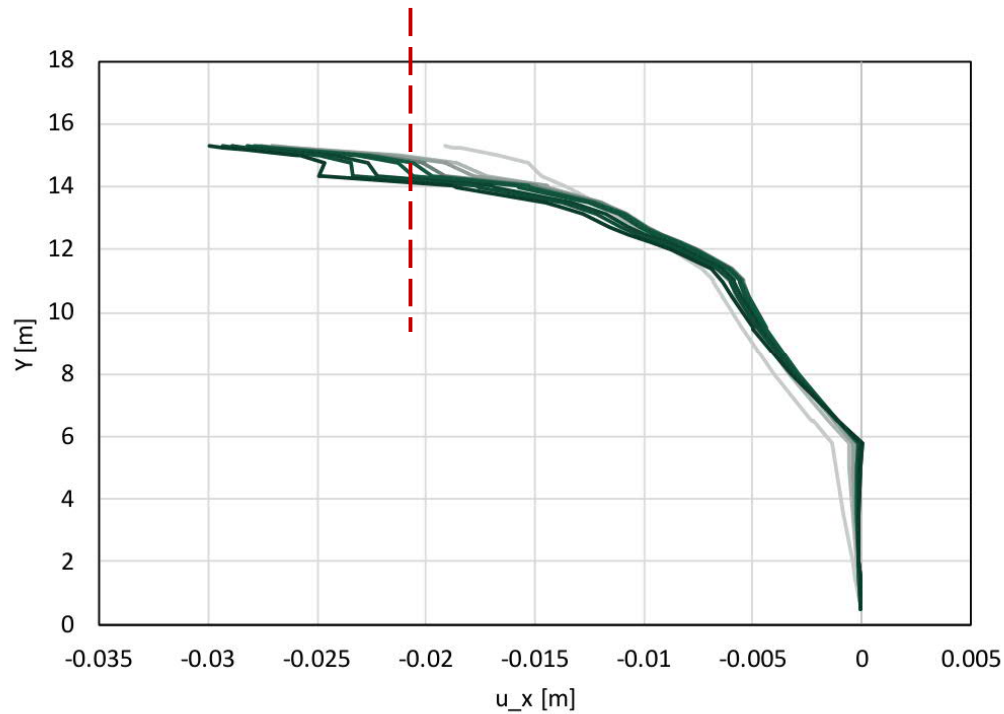
(*lähimpänä maanpintaa, kärki mikä piti asentaa uudelleen syvemmälle tasolle)



Hälytysrajat – inklinometrit

– Malminkenttä – Pohjoiset koepenkereet: LIITE 4

Hälytysraja = 21 mm (80 % ennustetusta maksimista)



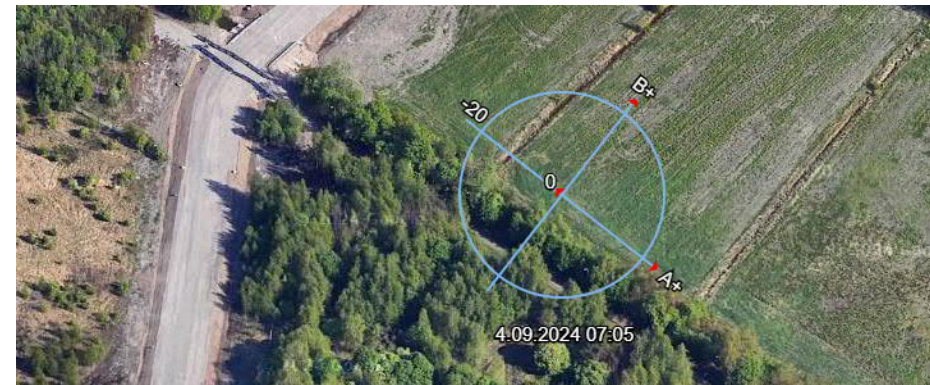
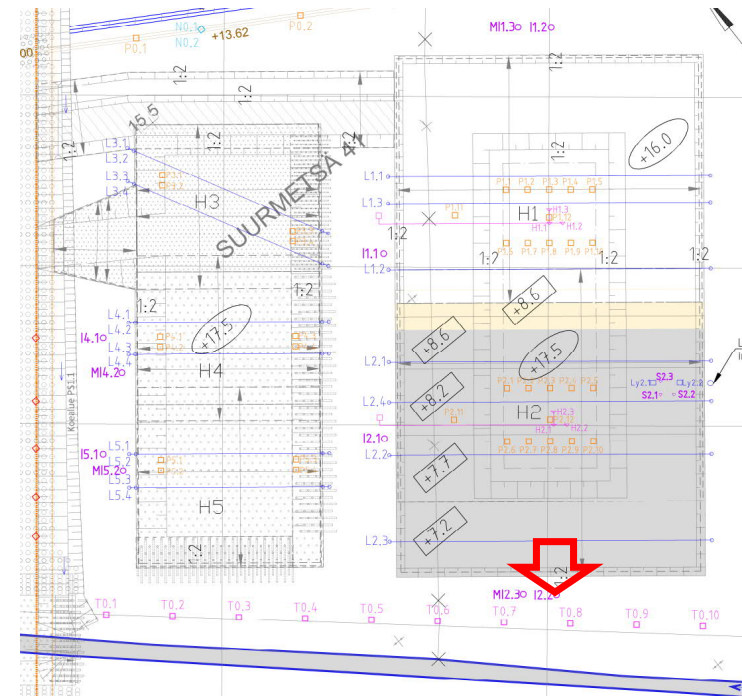
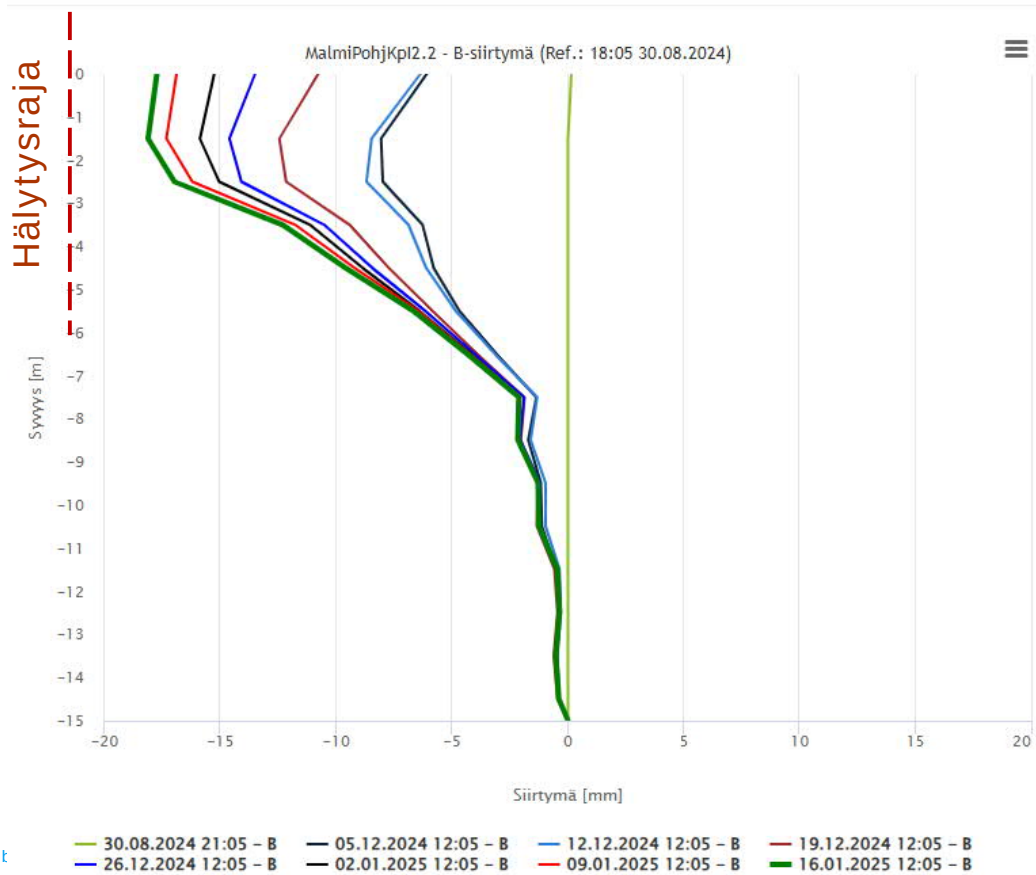
Kuva 26. Sivusiirtymä inklinometrin kohdalla, koepenkereen ja Longinojan välissä (y-akseli on korkeustaso, ja x-akseli on siirtymä metreinä). 1m = 1 kk ja 1y = 1 v.

Ramboll

1. vaiheen mukainen siirtymä (Plaxis)

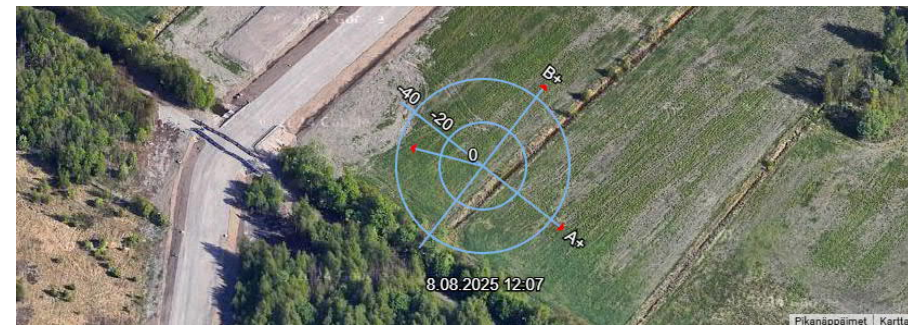
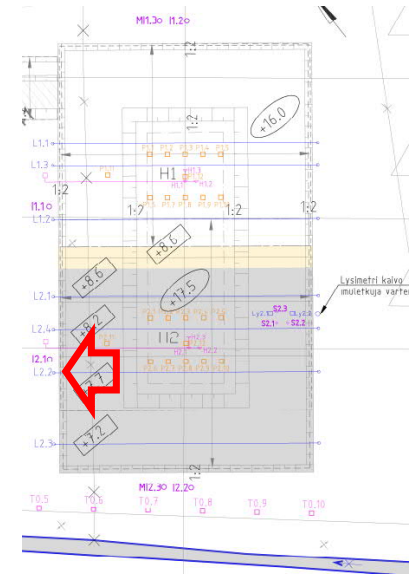
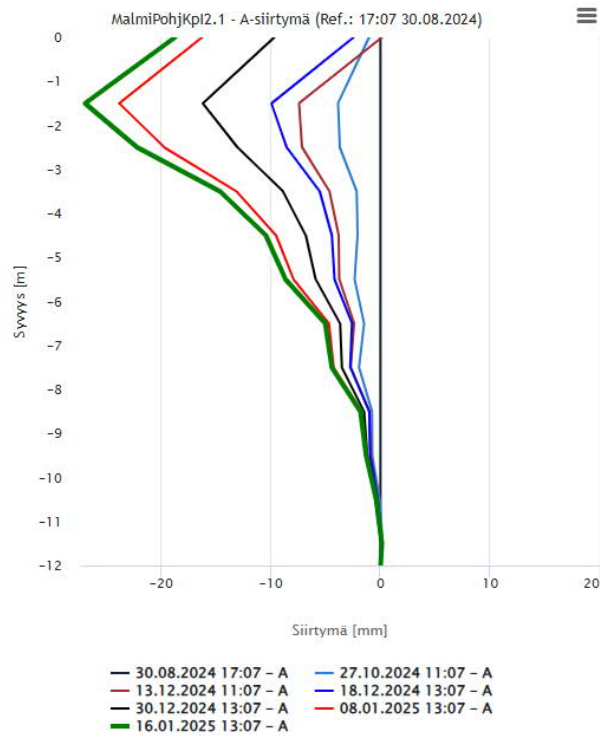
Inklinometri Longinojan suuntaan

- Max. sivusiirtymä n. 17 mm => hälytysrajaa ei ylitetty
- Sivusiirtymänopeus per viikko hidastui painumanopeuden hidastuessa



Muut inklinometrit – työnaikaiset siirtymät

- H2 sivusiirtymä poikkileikkauksessa oli suurempi, max. sivusiirtymä n. 27 mm (= > liittyy H2 huomattavaan painumaan)
- Alueen H1 inklinometreissa havaitut sivusiirtymät olivat pienempiä, n. max. 13 mm (viemäriputken suuntaan alle 10 mm)



Muut työnaikaiset siirtymät

- Longinojan reunan siirtymätangoissa ei havaittu liikettä (siirtymätangot ”sihtauslinjassa”).
- HSY:n viemärilinjan mittauksissa (x, y, Z) ei myöskään havaittu merkittäviä siirtymiä.



(kuvat: Monica Löfman)

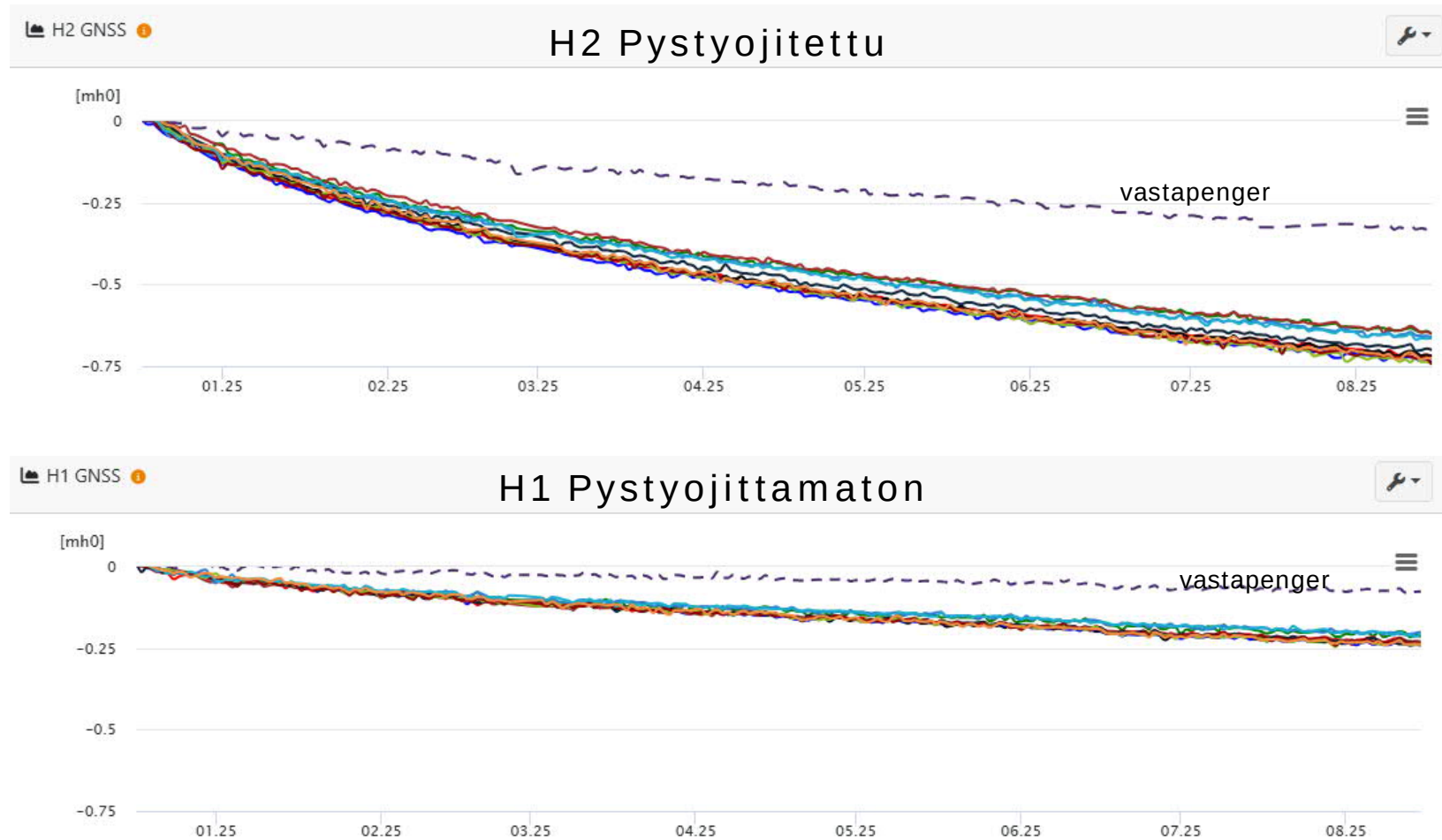
Painumat

- Pystyjojitetulla alueella H2 painumat huomattavasti suurempia ($\approx 0,7$ m n. 8 kk aikana)

➤ (Plaxis: $\approx 0,5$ m)

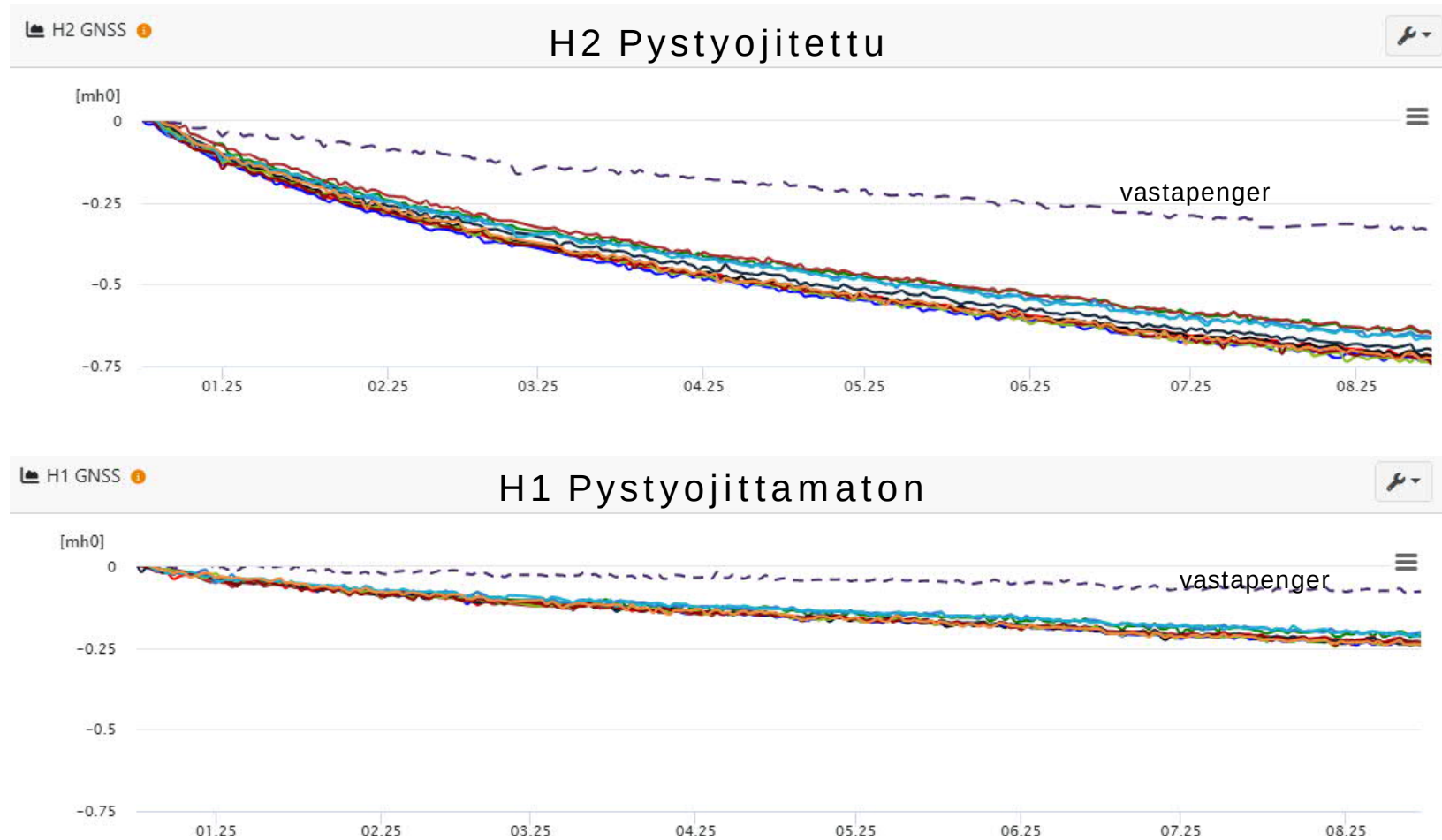
- Ilman pystyjoja vastaavassa ajassa painuma vain $\approx 0,2$ m

➤ (Plaxis: $\approx 0,2$ m)



Painumat

- Pystyjojitetulla alueella H2 painumat huomattavasti suurempia ($\approx 0,7$ m n. 8 kk aikana)
 - (Plaxis: $\approx 0,5$ m)
- Ilman pystyjoja vastaavassa ajassa painuma vain $\approx 0,2$ m
 - (Plaxis: $\approx 0,2$ m)
- Painumalevyjen manuaalimittaukset ja GNSS-mittaukset vastasivat hyvin toisiaan
- Painumaletkumittaukset vastasivat painumalevyjen tuloksia



Yhteenveto

Yhteenveto

- Koepenkereen H1-H2 toteutuksen aikana seurattiin aktiivisesti siirtymiä, huokosvedenpaineita ja painumia
- Suuria sivusiirtymiä ei havaittu
- Pystyjojitetulla alueella H2 huokosvedenpaineissa oli enemmän nousua, joka liittyy arvion mukaan pystyojien asennukseen, mikä lisäsi kumuloituvia huokosvedenylipaineita
- Painuma- ja huokosvedenpainemittausten mukaan pystyojat ovat merkittävästi nopeuttaneet saven konsolidaatiota, ja $U = 95\%$ 2 v. aikana saavuttaminen vaikuttaa todennäköiseltä
- Seuranta jatkuu



kuva: Harri Saarinen 29.1.2025

Bright
ideas.
Sustainable
change.

