

Rakenteiden kestävyys happamissa sulfaattimaissa

Sisältö

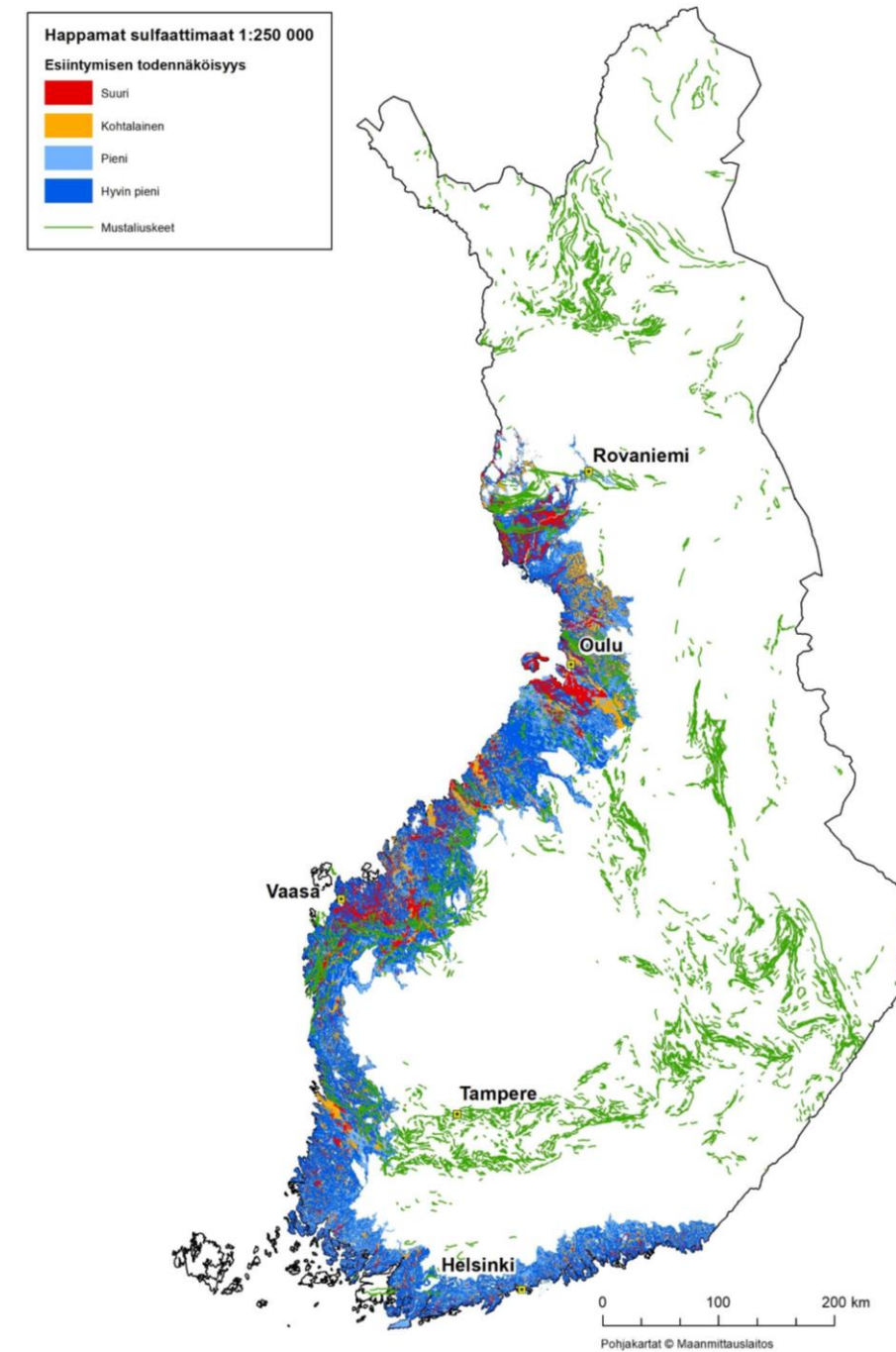
1. Työn tausta ja tavoitteet
2. Happamat sulfaattimaat
3. Vauriomekanismit
4. Korroosion ja turmeltumisen tutkimusmenetelmät
5. Kenttätutkimuksien toteutus ja alkumittaukset
6. Alkumittausten tulokset
7. Paalujen asennus
8. Jatkotutkimukset

Työn tausta ja tavoitteet

- Diplomityö on toteutettu Helsingin kaupungille yhteistyössä Ramboll Finland Oy:n ja Tampereen Yliopiston kanssa
- Happamat sulfaattimaat muodostavat kemiallisesti aggressiivisen ympäristön
- Rakentaminen happamilla sulfaattimailla lisääntynyt → tarve arvioida rakenteiden pitkäaikaiskestävyyttä
- Aiemmat tutkimukset painottuneet enemmän ympäristövaikutuksiin
- Rakenteiden pitkäaikaiskäyttämisen kenttäolosuhteissa rajallisesti tietoa ja tutkimuksia vähän
- Työn tavoitteena selvittää maahan asennettavien rakenteiden lähtötilanne ennen altistusta hasu-olosuhteille ja luoda vertailupohja pitkäaikaisseurannalle

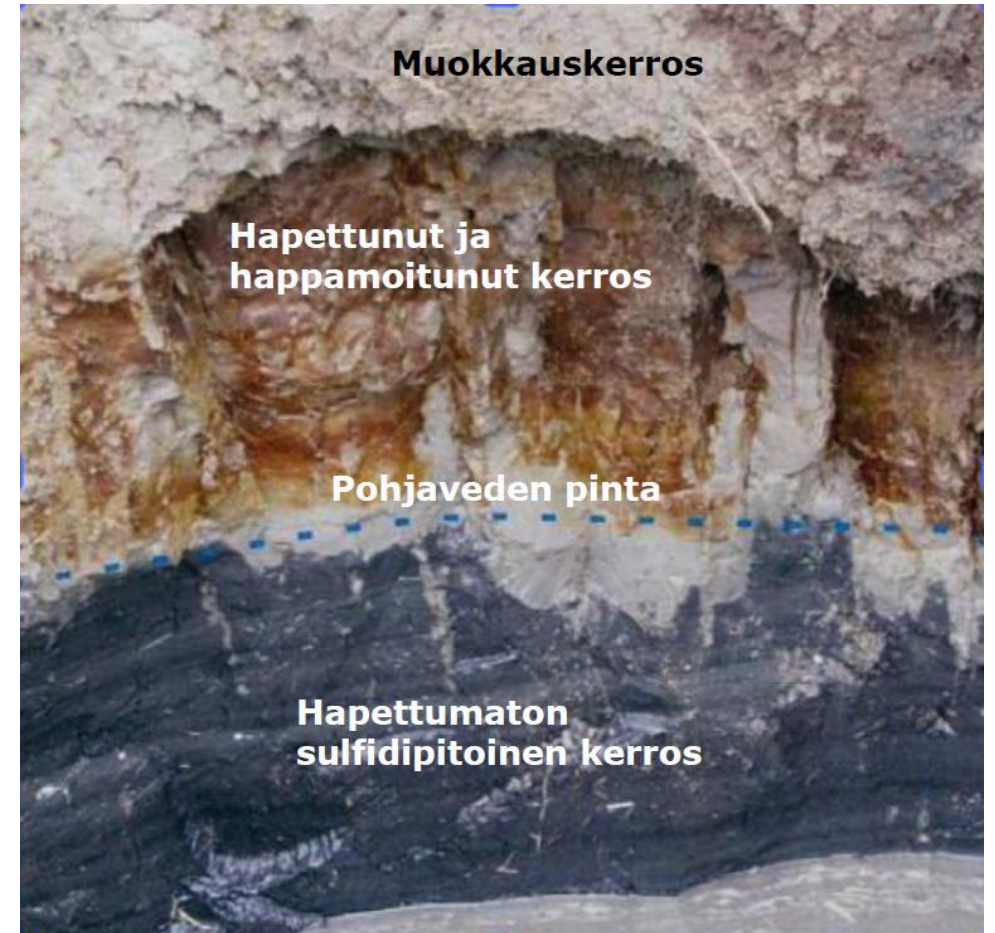
Happamat sulfaattimaat – synty ja esiintyminen

- Rikkipitoisia maaperiä, joissa esiintyy sulfidimineraaleja, kuten pyriittiä
- Esiintyvät erityisesti Suomen rannikkoalueilla
- Syntyneet hapettomissa meriolosuhteissa Itämeren kehitysvaiheiden aikana
- Sulfaatit pelkistyneet mikrobitoiminnassa sulfideiksi
- Vakaita luonnontilassa hapettomissa, veden kyllästämissä oloissa
- Ongelma syntyy hapen päästessä maaperään
- Hapettuminen → rikkihappoa → pH laskee voimakkaasti
- Tyypillisesti esiintyy hienorakeisissa sedimenteissä



Happamat sulfaattimaat rakentamisessa

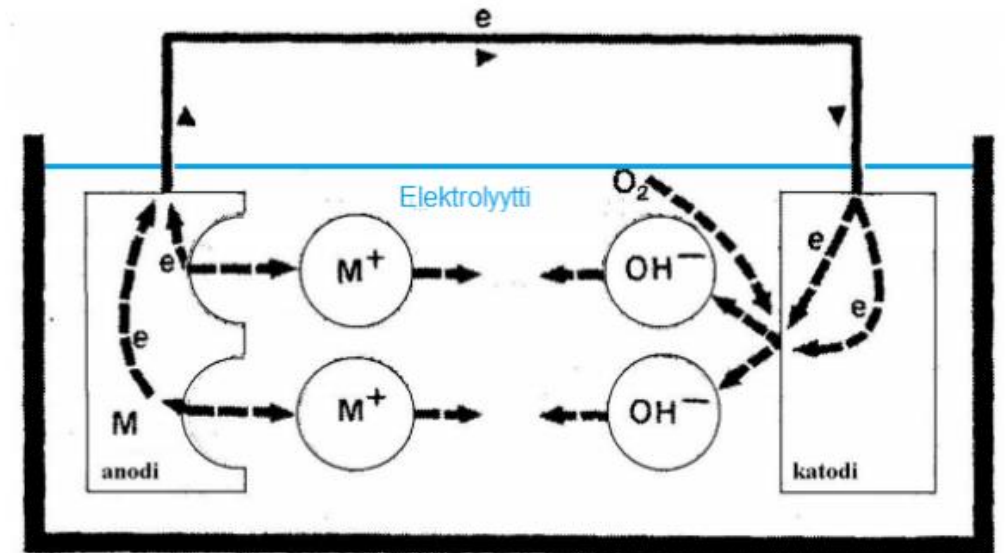
- Hapettuminen → happamuus + liukoiset metallit (Fe, Al, Zn) → kuormittaa ympäristöä ja vesistöjä
- Alhainen pH + korkea sähkönjohtavuus → kemiallisesti aggressiivinen ympäristö
- Riskienhallinta alkaa suunnitteluvaiheessa
- Tunnistaminen: kartta-aineistot + maaperätutkimukset
- Rakentaminen voi käynnistää happamoitumisen: kaivaminen, kuivatusmassojen siirto ja varastointi
- Keskeiset keinot: hapettumisen estäminen, massojen hallittu käsittely, neutralointi (kalkitus), vesienhallinta ja materiaalivalinnat
- Tarvitaan myös rakentamisen jälkeistä seurantaa



(muokattu lähteestä Auri 2019)

Vauriomekanismit – teräs

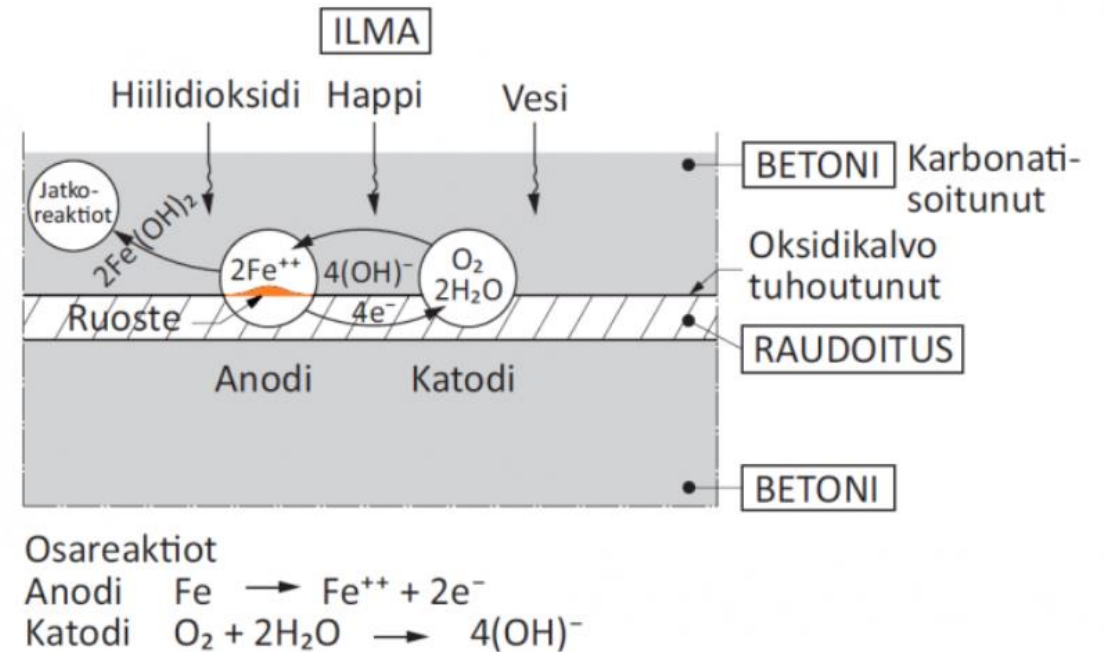
- Teräs korrodoituu sähkökemiallisesti maaperässä
 - Metallin pinnalle muodostuu anodi- ja katodialueita
- Korroosio edellyttää:
 - Huokosvettä, joka toimii elektrolyytinä
 - Hapetinta esim. happi tai liuenneet yhdisteet
- Korkea sähkönjohtavuus maaperässä
 - Tehostaa sähkövirran kulkua → nopeuttaa korroosioreaktioita
- Sulfaatinpelkistäjäbakteerit voivat aiheuttaa mikrobikorroosiota
 - Tuottavat sulfideja, jotka reagoivat teräksen kanssa
- Seuraukset:
 - Teräksen poikkipinta pienenee → kantavuus ja käyttöikä heikkenevät



(Peroloainen 2016 mukailten Yläsaari 2006)

Vauriomekanismit – teräsbetoni

- Sulfaatit reagoivat sementtikiven kanssa
 - Muodostuu ettringiittiä
- Ettringiitin muodostuminen lisää tilavuutta
 - → aiheuttaa sisäisiä jännityksiä
 - → johtaa halkeiluun ja rapautumiseen
- Happamuus hajottaa sementtimatriisia → betonin lujuus heikkenee
- Normaalisti betonin korkea pH suojaa raudoitusta
 - Happamissa olosuhteissa pH laskee → suojavaikutus heikkenee
- Seuraukset:
 - halkeamat ja rapautuminen
 - raudoituksen korroosio
 - → rakenteen käyttöikä lyhenee



(Betonitieto 2025)

Vauriomekanismit – puu

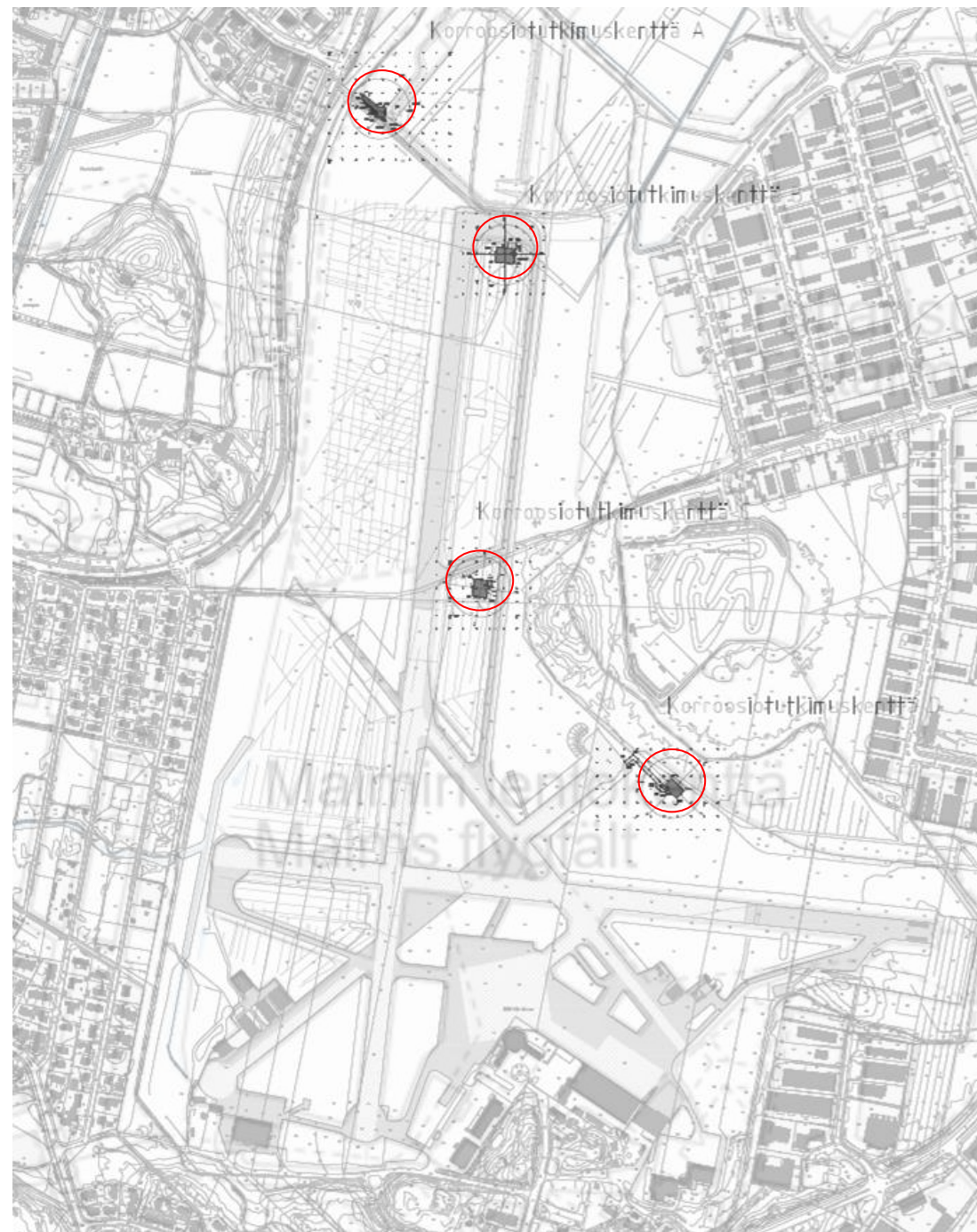
- Puu vaurioituu pääasiassa biologisen hajoamisen kautta
 - Sienet ja bakteerit hajottavat puun rakennetta
- Hajoaminen edellyttää:
 - riittävää kosteutta
 - hapellisia olosuhteita
- Olosuhteiden muutos (esim. pohjaveden aleneminen) voi aktivoida aiemmin passiivisen hajoamisen
- Mikrobit hajottavat selluloosaa ja ligniiniä → puun rakenne heikkenee
- Seuraukset:
 - Lujuus heikkenee vähitellen → kantavuus ja kestävyys heikkenevät

Korroosion ja turmeltumisen tutkimusmenetelmät

- Visuaalinen tarkastus → vaurioiden tunnistus (korroosio, halkeamat, lahovauriot)
- Mittaukset
 - Rakenteiden mitat, kuten pituus, halkaisija ja paino
 - Teräs: seinämäpaksuus → korroosion eteneminen
 - Teräsbetoni: halkeamaleveydet, pintavauriot → rapautuminen
 - Puu: lahon syvyys ja laajuus → biologinen hajoaminen
- Näytteenotto ja laboratoriotutkimukset
 - Materiaalinäytteet jatkotutkimuksiin
 - Kemiaalliset analyysit ja mikrorakenne
 - Korroosiotuotteiden ja vauriomekanismien tunnistaminen
 - Materiaalin ominaisuuksien muutokset, esim. lujuus
- Seurantatutkimukset

Kenttätutkimuksen toteutus

- Tutkimus toteutettiin Helsingissä Malmin vanhalla lentokentällä
- Koekentät A-D
- Maaperäolosuhteet:
 - Alueella esiintyy happamia sulfaattimaita
 - Hienorakeisia sedimenttejä (savi, lieju)
 - Sulfidipitoiset kerrokset lähellä maanpintaa
- Koekentille asennettiin:
 - Teräspaaluja, -tankoja ja -pontteja
 - Teräsbetonipaaluja eri rasitusluokissa (XA1, XA3 ja GWP)
 - Teräsbetonipaalujatkoksia
 - Puupaaluja
- Keskeinen tavoite:
 - Selvittää rakenteiden lähtötilanne ennen altistumista
 - Luoda pohja pitkäaikaiselle seurantatutkimukselle



Alkumittausten sisältö

- Kaikille paaluille tehtiin seuraavat toimenpiteet:
 - Silmämääräinen tarkastus alkutilan, pintakunnon ja mahdollisten poikkeamien havainnoimiseksi
 - Kappaleiden yksilöinti pysyvillä tunnisteilla
 - Kaikkien kappaleiden valokuvaus ja dokumentointi
 - Punnitus
 - Pituuden mittaus
 - Laskennallisen massan määrittäminen
- Teräsponttien alkumittauksia ei voitu suorittaa vielä työn tässä vaiheessa, sillä pontit saapuivat työmaalle vasta myöhemmin



(Salo 2025)

Rakenneosakohtaiset mittaukset

- Teräsrakenneosat
 - Terästangot
 - Halkaisijamittaukset työntömitalla 0,5 m välein
 - Teräspaalut
 - Halkaisijamittaukset työntömitalla rakenneosien päistä sekä putkimitalla 1,0 m välein
 - Seinämäpaksuus työntömitalla rakenneosien päistä sekä NDT-ultraäänilaitteella 0,5 m välein
- Teräsbetonipaalut
 - Vertailukappaleista käyryys
 - Vertailukappaleista lähetettiin näytteet laboratoriokokeita varten
- Puupaalut
 - Latvan ja katkaisutason halkaisijamittaukset
 - Sydänpuun osuus paalun päistä leikatuista kiekkoista
 - Suoruus
 - Vertailukappaleesta sahattiin metrin välein kiekkoja, joista määritettiin kosteuspitoisuus, tiheys ja sydänpuun osuus
 - Metrin kappaleet lähetettiin puristuslujuustesteihin



(Salo 2025)

Alkumittausten keskeiset tulokset - teräsrakenneosat

- Kaikki rakenneosat olivat lähtötilanteessa hyväkuntoisia, eikä rakenneosissa havaittu vaurioita tai poikkeamia
- Terästangot
 - Tankojen pituus vaihteli välillä 3,99–4,01 m (nimellispituus 4,0 m)
 - Halkaisija vaihteli välillä 70,32–70,76 mm (nimellismitta 70 mm)
 - Massa per metri vaihteli välillä 30,54–31,23 kg/m (keskiarvo 30,82 kg/m) → lähellä valmistajan arvoa 30,2 kg/m
- Teräsputkipaalut
 - Paalujen pituus vaihteli välillä 6,00–6,03 m (nimellispituus 6,0 m)
 - Halkaisija oli keskimäärin 140,16 mm (nimellismitta 140 mm)
 - Massa per metri vaihteli välillä 31,10–32,00 kg/m (keskiarvo 31,66 kg/m) → lähellä valmistajan arvoa 32 kg/m
 - Seinämäpaksuus oli keskimäärin 9,63 mm (nimellismitta 10 mm)

Alkumittausten keskeiset tulokset - teräsbetonipaalut

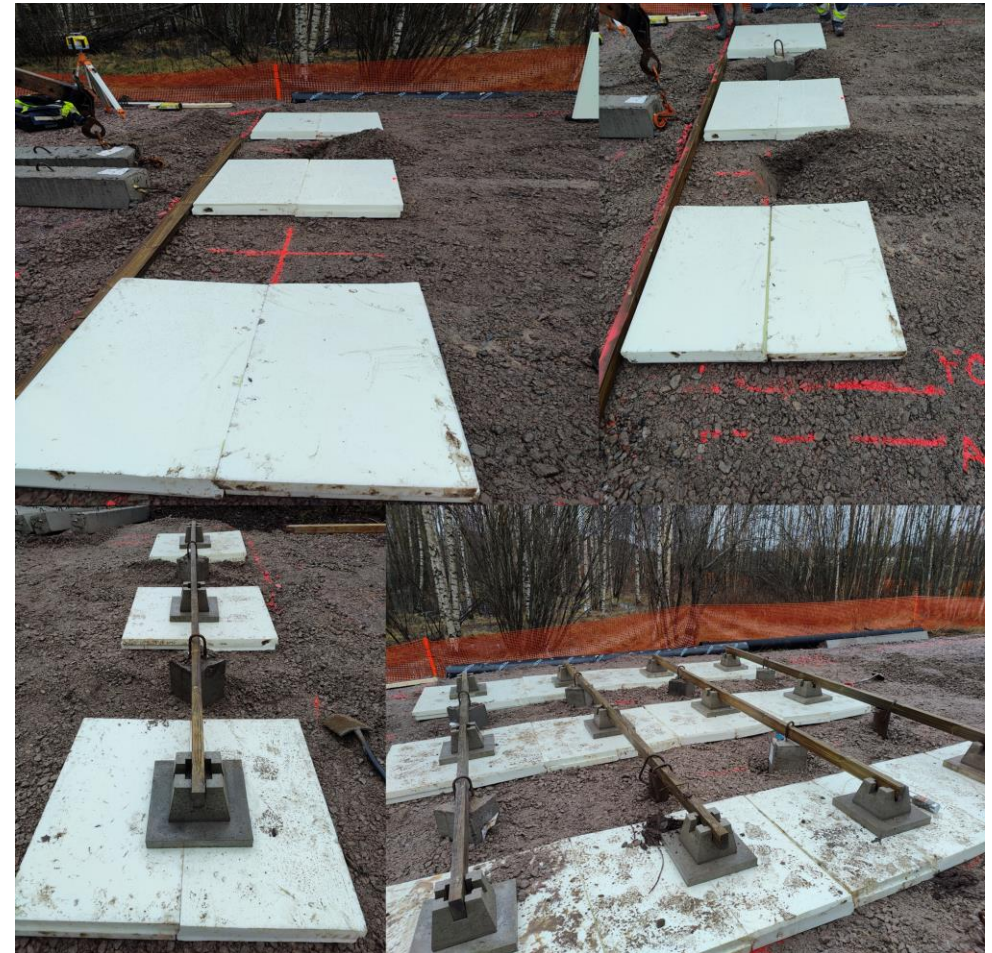
- Kaikki rakenneosat olivat lähtötilanteessa hyväkuntoisia, eikä rakenneosissa havaittu vaurioita tai poikkeamia
- Kaikkien paalujen nimellispituus 3,0 m ja poikkileikkaus 250x250 mm
- Jatkoskappaleet
 - Pituus 3,12–3,16 m
 - Massa per metri 162,02 kg/m
 - Käyryys keskimäärin 1,33 mm
- Vähähiiliset paalut (GWP)
 - Pituus 2,95–3,07 m
 - Massa per metri 156,56 kg/m
 - Käyryys keskimäärin 2,5 mm
- Rasitusluokat XA1 ja XA3
 - Pituus XA1 2,99–3,03 m ja XA3 3,00–3,04 m
 - Massa per metri XA1 158,03 kg/m ja XA3 160,95 kg/m
 - Käyryys keskimäärin XA1 2,33 mm ja XA3 2,17 mm

Alkumittausten keskeiset tulokset - puupaalut

- Kaikki rakenneosat olivat lähtötilanteessa hyväkuntoisia, eikä rakenneosissa havaittu vaurioita tai poikkeamia
- Pituus vaihteli välillä 5,95–6,02 m (keskiarvo 5,98 m)
- Massa per metri keskimäärin 15,95 kg/m
- Tiheys vaihteli välillä 440–470 kg/m³
- Halkaisija keskimäärin:
 - Latva 0,16 m
 - Tyvi 0,21 m
- Suoruuden keskimääräinen poikkeama 12,38 mm (maks. 30 mm)
- Sydänpuun osuus keskimäärin 45 %
- Kosteuspitoisuus
 - Kentällä 14,9–28,9 %
 - Labrassa 15,5–15,9 %
- Puristuslujuus keskimäärin 23,5 MPa

Paalujen asennus

- Työalustana toimi suodatinkangas N3 + 0,5 m murskepeti, pintamaita ei poistettu
- Paalujen sijainnit merkittiin maastoon paalukaavioiden mukaisesti
- Alkukaivu tehtiin kaivinkoneen kauhalla ja paalut asennettiin maahan painamalla
- Jokaisen paalun sijaintitieto otettiin ylös yksilöintitunnuksen kanssa
- Asennuksen jälkeen paalut kannakoitiin paikoilleen



(Salo 2025)

Jatkotutkimukset

- Rakenteita seurataan pitkäaikaisesti jokaisella koekentällä A-D
- Ensimmäiset nostot terästangoille 1-5 vuoden aikana
- Teräsbetonipaaluja nostetaan ensimmäisen kerran 2 vuoden kohdalla
- Puupaalut nostetaan 5 vuoden kohdalla
- Muutoin teräspaalut ja -pontit sekä loput teräsbetonipaalut nostetaan 5, 10, 15, 30 vuoden kohdalla
- Samanaikaisesti seurataan havaintoputkista:
 - Pohja- ja orsiveden pinnan korkeutta
 - Veden laatua koko seurantajakson ajan
- Jokaisella kentällä:
 - 2 havaintoputkea (pohjavesi + orsivesi)
 - Rinnakkaiset putket näytteenottoa varten
- Lisäksi jatkuvatoimisia mittauksia
 - Kolmesta orsivesiputkesta
 - Yhdestä pohjavesiputkesta

Kiitos!