

EETU PARTALA

## Ruha–Lapua elementtipaalulaatat

RAKENTAMINEN JA SUUNNITELMARATKAISUT





Eetu Partala

# Ruha–Lapua elementtipaalulaatat

Rakentaminen ja suunnitelmaratkaisut

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 15/2015

Liikennevirasto

Helsinki 2015

*Kannen kuva: Eetu Partala*

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-073-5

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

**Eetu Partala: Ruha–Lapua elementtipaalulaatat – Rakentaminen ja suunnitelmaratkaisut.** Liikennevirasto, infra ja ympäristö -osasto. Helsinki 2015. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 15/2015. 34 sivua ja 1 liite. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-073-5.

**Avainsanat:** paalulaatta, ratasuunnittelu, sillat, pohjarakentaminen, geotekniikka

## Tiivistelmä

Suomen rataverkossa on jatkuvasti käynnissä rakennustöitä liikennöidyn radan välitömmässä läheisyydessä. Maamme rataverkon yksi ahkerimmin käytössä oleva osuus on Seinäjoen ja Oulun välinen rata, jolla rakennetaan uusia kaksoisraideosuuksia ja parannetaan yksiraiteista rataa. Molemmissa tapauksissa rakennustyöt tapahtuvat liikenteen ehdoilla ja usein lyhyissä liikennekatkoissa.

Yksi merkittäviä liikennekatkojen aikana tehtäviä työvaiheita on teräsbetonisten paalulaattojen rakentaminen. Aiemmin rakennettujen elementtipaalulaattojen rakenteelliset ominaisuudet olivat paikoin koettu riittämättömiksi, jonka vuoksi aloitettiin kehitystyö uusien rakennevaihtoehtojen löytämiseksi. Radan ja sen taitorakenteiden vaatimustason noustessa myös rakenneratkaisut tulee päivittää vastaamaan niille asetettuja nykyvaatimuksia.

Seinäjoen pohjoispuolella sijaitsevalle Ruha-Lapua osuudelle rakennettiin ensimmäiset uuden tyyppiset elementtipaalulaatat, jotka muodostavat paikalla valettua laattaa vastaavan yhtenäisen kokonaisuuden. Suunniteltu uusi EP elementtilaatta koostuu kolme metriä pitkistä ja kahdeksan metriä leveistä betonielementeistä, jotka liitetään jälkivalun avulla yhtenäiseksi laataksi. Kohteessa laatat olivat perustettu teräsputki-paalujen varaan.

Uuden ratkaisun toimivuutta tiukoissa liikennekatkoissa testattiin kesän 2014 aikana, jolloin rakennettiin usean katkon aikana n. 240 metriä pitkä paalulaattaosuus. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin uuden rakenneratkaisun soveltuvuutta ja selvitettiin mahdollisia kehitystarpeita tulevia ratarakenteiden elementtipaalulaattakohteita silmällä pitäen. Työssä keskityttiin laatan rakennettavuuteen olosuhteissa, joissa juna-liikenteelle ei missään työvaiheessa saa aiheutua haittaa. Useassa katkossa tehtyjen asennustöiden myötä selvitettiin eri työvaiheiden tahdistavat työsaavutukset, joiden avulla pystytään hyvin arvioimaan liikennekatkon aikana suunnitellun työn etenemistä. Aikataulutekijöiden lisäksi on määritetty elementtilaatan käyttörajoitukset esimerkiksi paalujen kallistuksien ja ratageometrian suhteen.

Tutkimuksessa selvisi kuinka uutta laattarakennetta voidaan soveltaa liikennöidyn radan paalulaattakohteissa. Jatkokehitystä varten määritettiin betonielementin, laatan alusrakenteiden ja liikenteen lomassa toteutettavien työvaiheiden ominaispiirteet, jotka huomioiden voidaan rakennetyyppiä käyttää muissakin ratakohteissa. Työssä korostui taitorakenne- ja työvaihesuunnittelun merkitys sekä suunnittelijan ja työmaan yhteistyö. Rataympäristön tuomat tiukat vaatimukset tulee huomioida tarkkaan paalulaattojen suunnittelun alkumetreistä lähtien, jolloin yhteistyön merkitys eri osapuolten kesken korostuu.

**Eetu Partala: Ruha-Lappo elementpålplattor – Byggande och planeringslösningar.** Trafikverket, infrastruktur och miljö. Helsingfors 2015. Trafikverkets undersökningar och utredningar 15/2015. 34 sidor och 1 bilaga. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-073-5.

## Sammandrag

I det finländska bannätet pågår oavbrutet byggnadsarbeten i den omedelbara närheten av banor med trafik. Ett av de livligaste avsnitten av vårt lands bannät är banan mellan Seinäjoki och Uleåborg, där nya dubbelspåravsnitt byggs och den enkelspåriga banan förbättras. I bägge fall utförs byggnadsarbetet på de villkor som trafiken ställer och ofta under korta trafikavbrott.

Anläggande av pålplattor av armerad betong är en av de viktiga arbetsfaserna under trafikavbrotten. De byggnadstekniska egenskaperna hos de elementpålplattor som byggts tidigare har lokalt upplevts som bristfälliga. På grund av detta inleddes ett utvecklingsarbete för att hitta nya konstruktionsalternativ. Då kravnivån på banan och dess tekniska konstruktioner höjs, måste också konstruktionslösningarna uppdateras så att de svarar mot de moderna kraven på dessa.

På avsnittet Ruha-Lappo norr om Seinäjoki byggdes de första elementpålplattorna av den nya typen, vilka bildar en enhetlig helhet som motsvarar en platta som ingjuts på plats. Den planerade nya EP-elementplattan består av tre meter långa och åtta meter breda betongelement, som förenas till en enhetlig platta med eftergjutning. Vid objektet anlades plattorna på stålörspålar.

Den nya lösningens funktion vid korta trafikavbrott testades på sommaren 2014, då ett cirka 240 meter långt avsnitt med pålplattor byggdes under flera avbrott. I detta samband undersöktes den nya konstruktionslösningens lämplighet och utreddes eventuella utvecklingsbehov med tanke på framtida objekt med elementpålplattor vid bankonstruktioner. Fokus låg på att utreda plattornas lämplighet för byggande i förhållanden där tågtrafiken inte får störas i någon arbetsfas. I samband med de installationsarbeten som gjordes under ett flertal avbrott utreddes de arbetsresultat som ska uppnås för att de olika arbetsfaserna ska vara synkroniserade. Utifrån denna information är det möjligt att göra en pålitlig bedömning av hur det planerade arbetet framskrider under ett trafikavbrott. Förutom faktorer som anknyter till tidtabellen har man definierat driftsbegränsningar som gäller elementplattor t.ex. vad gäller lutning och bangeometri.

Undersökningen klargjorde hur den nya plattstrukturen kan anpassas vid objekt med pålplattor på en bana med trafik. Med tanke på den fortsatta utvecklingen och användningen av konstruktionstypen vid andra banobjekt definierades särdrag för betongelement, underlag för plattor och arbetsfaser som ska genomföras utan att trafiken avbryts. Under arbetets gång framhövdes vikten av planering av tekniska konstruktioner och arbetsfaser samt samarbetet mellan planerare och byggarbetsplatsen. De strikta krav som banomgivningen medför ska beaktas noggrant genast från början av planeringen av pålplattor, då vikten av samarbete mellan olika parter understryks.

**Eetu Partala: Element pile slabs between Ruha and Lapua – Construction and planning solutions.** Finnish Transport Agency, Infrastructure and Environment. Helsinki 2015. Research reports of the Finnish Transport Agency 15/2015. 34 pages and 1 appendix. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-073-5.

## Summary

Construction work in the immediate vicinity of the track is constantly underway in various sections of the Finnish railway network. One of the most heavily used sections of the Finnish railway network is the track between Seinäjoki and Oulu. New double-track sections are being built while the single-track sections are improved in this part of the network. In both cases, the construction work is being performed on the terms of train traffic, often during brief traffic suspensions.

One of the important work stages carried out during these traffic suspensions is the construction of reinforced-concrete pile slabs. The structural properties of previously constructed element pile slabs were considered partially inadequate, which is why development work was commenced to find new structural options. As the level of demand for the track and its specialist engineering structures rises, structural solutions must also be updated to match the related contemporary requirements.

The first new type of element pile slabs were constructed in the Ruha–Lapua track section, located north from Seinäjoki. These slabs create a uniform whole corresponding to a slab cast in place. The designed new EP element slab comprises three-metre long and eight-metre wide concrete elements that are conjoined to form a unified slab by means of after-casting. At the site, the slabs had been supported by tubular steel pilings.

The functionality of the new solution in relation to brief suspensions was tested in the summer of 2014, during which a section of pile slab measuring about 240 metres was constructed. This study assessed the suitability of the new structural solution for its application as well as possible development needs regarding future element pile slab sites in the railway network. The work concentrated on the slab's constructability under conditions in which railway traffic may not be hampered during any work stage. The work achievements related to the various work stages were assessed via the installation work, which was performed in several stints. These can be used to estimate the progress of planned work during traffic suspensions. In addition to schedule-related factors, usage restrictions for element slabs related to such matters as pile inclination and track geometry were also determined.

The study revealed ways in which the slab structure can be applied to pile slab construction sites in operated track sections. The characteristics of concrete elements, slab substructures, and work stages performed during suspended traffic were determined for purposes of further development. This type of structure can be used elsewhere when these characteristics are taken into account. The work brought into focus the importance of specialist engineering structure and work stage planning as well as cooperation between the planner and worksite. The strict requirements imposed by the track environment must be carefully considered from the very beginning of pile slab planning, which further emphasises the significance of cooperation between the various parties.

## Esipuhe

Tämä tutkimus on tehty rataympäristön paalulaattarakenteiden kehittämiseksi ja antamaan tietoa liikennekatkoissa rakennettavien paalulaattarakenteiden painopisteistä. Liikennöity rata asettaa omat vaatimuksensa niin suunnittelulle kuin toteutuksellekin, joten on tärkeää tiedostaa rakennusympäristön vaikutus rakennusratkaisujen toimivuuteen. Tutkimuksessa on tuotu näitä ominaisuuksia esiin, jotta niitä voidaan hyödyntää rakenteiden jatkokehityksessä ja työn suunnittelussa.

Työn on laatinut suunnittelija Eetu Partala Ramboll Finland Oy:stä. Tilaajana on toiminut silta-asiantuntija Sami Nojonen Liikennevirastosta. Hänen lisäksi työn ohjaukseen on osallistunut Liikenneviraston geoasiantuntija Panu Tolla sekä Ramboll Finland Oy:n suunnittelijaryhmä.

Helsingissä maaliskuussa 2015

Liikennevirasto  
Infra ja ympäristö -osasto



# Sisällysluettelo

1	YLEISTÄ .....	8
1.1	Rakennuskohde.....	8
1.2	Paalulaatta.....	10
1.3	Rakenne.....	10
1.4	Tekniset tiedot ja suunnitteluperusteet .....	11
1.5	Rakentaminen .....	12
2	TYÖTEKNIikka .....	15
2.1	Työvaiheet ja aikataulu .....	15
2.2	Paalut.....	16
2.2.1	Paalutuksen työvarat.....	16
2.2.2	Paalujen valu.....	18
2.2.3	Paalujen katkaisu .....	19
2.2.4	Paaluhatut .....	20
2.3	Maanrakennustyöt.....	21
2.4	Elementtien asennus .....	22
2.5	Jälkivalukaistat .....	23
3	RAKENNETEKNIikka .....	25
3.1	Rakennemalli.....	25
3.1.1	Betonirakenne.....	25
3.1.2	Geotekniikka .....	26
3.2	Paalut ja paaluhatut.....	27
3.3	Laattaelementti.....	27
3.4	Elementtilaatan nostolenkit .....	28
3.5	Pätyelementit.....	28
4	KEHITYSEHDOTUKSET .....	30
5	KUSTANNUSVERTAILUT .....	31
5.1	Rakennevaihtoehdot .....	31
5.1.1	EP elementtipaalulaatta.....	31
5.1.2	Kolmen pystypaalun elementtilaatta .....	31
5.1.3	Paikallavalettu paalulaatta.....	32
5.2	Kustannusvertailuun kuuluvat rakenneosat.....	33
5.3	Kustannusvertailut rakenneosittain.....	34
	KUSTANNUSVERTAILUT .....	1
	LIITTEET	
	Liite 1 Kustannusvertailut	

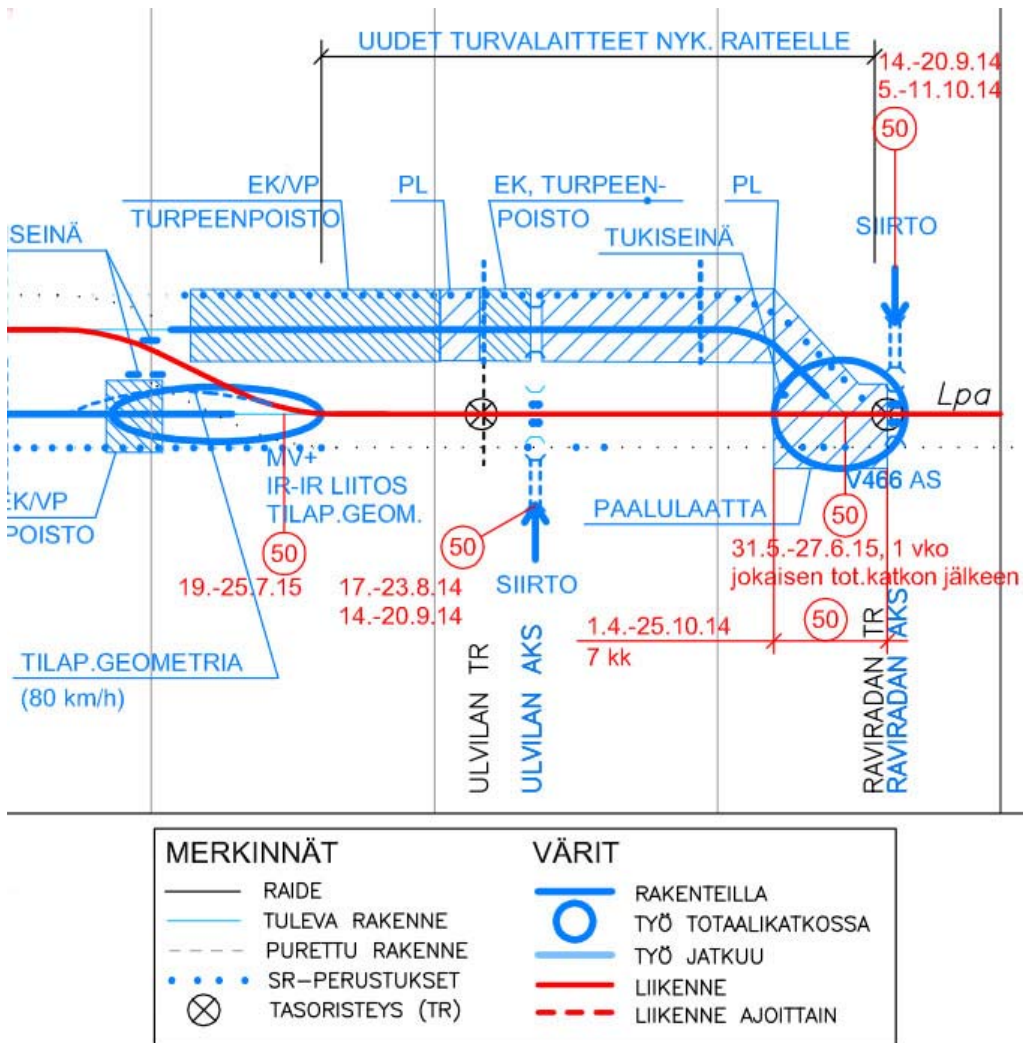
# 1 Yleistä

## 1.1 Rakennuskohde

Paalulaattarakenne liittyy Seinäjoki-Oulu – ratahankkeeseen ja sijaitsee välillä Ruha-Lapua (km438+370...439+480). Toteutettu elementtipaalulaatta on osa rakennussuunnitelmaa, joka sisältää kaksoisraiteen rakentamisen Ruha-Lapua välillä, Lapuan liikennepaikan ja Ruhan raiteenvaihtopaikan.

Rakennuskohde sijaitsee Lapuan liikennepaikan päässä, jossa kaksoisraide päättyy. Vaihdealueelle rakennetaan elementtilaatta, joka liitetään kaksoisraiteen paikallavalupaalulaattaan. Rata on koko rakennustyön ajan liikennöitynä, jonka vuoksi vaihdealueen laatta toteutetaan elementtirakenteisena 20–24h liikennekatkojen aikana.

Alla on esitetty ote työvaiheaikataulusta.



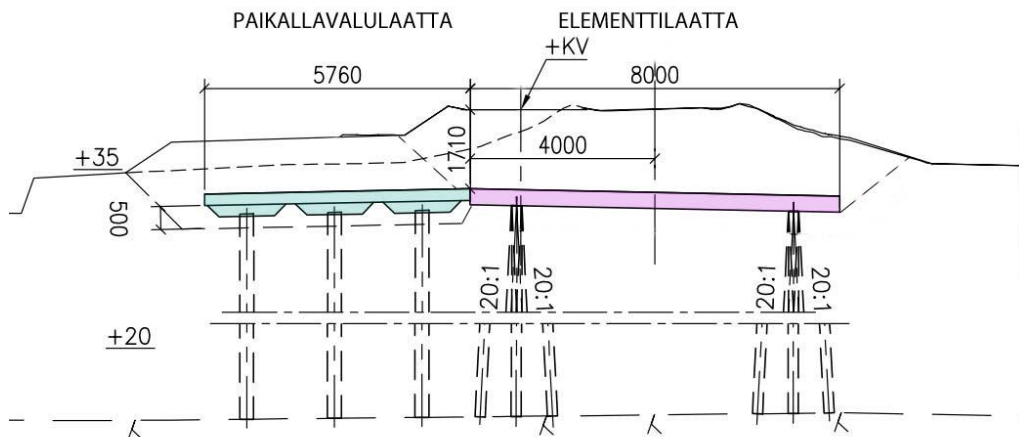
Kuva 1. Työvaiheaikataulu, kaksoisraiteen päättäminen.

Vaihdealueen elementtipaalulaatta on osa n. 1100 metriä pitkää laattajonoa. Laatasto koostuu yhteensä 38 eri paalulaatasta, joiden pituus on keskimäärin 30–35 metriä. Laatoista ensimmäiset 30 toteutetaan paikallavalutekniikalla ja loput 8 elementtirakenteisena. Rakennettavan paalulaataston kokonaisala on n. 10500 m<sup>2</sup>, josta elementtILAATTA on 1440 m<sup>2</sup>.

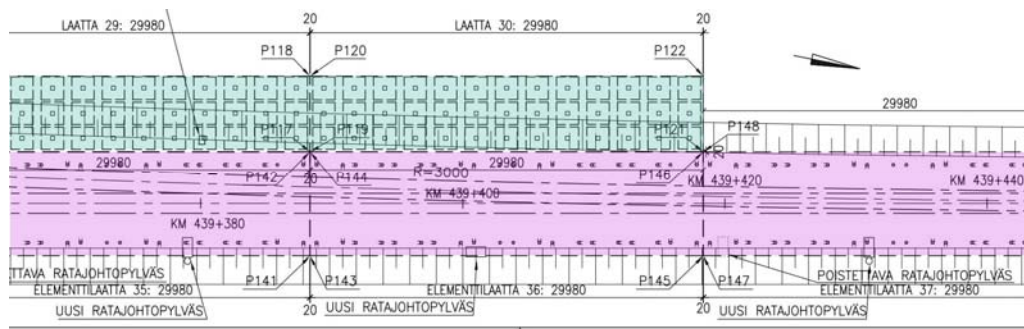
Elementtirakenteiset paalulaatat koostuvat kymmenestä kolme metriä pitkästä elementistä, jotka liitetään jälkivalun avulla yhdeksi jatkuvaksi laataksi. Ensin vaihdealueella rakennetaan nykyisen raiteen alle elementtILAATTA. Seuraavassa vaiheessa rakennetaan elementtILAATTOJEN viereen kaksoisraiteen paikallavalulaatat. Elementtipaalulaatat suunnitellaan siten, että yhteen valetut elementtILAATTA toimivat eri kuormitustilanteissa sekä itsenäisesti että yhdessä myöhemmin paikalla valetun paalulaatan kanssa. Lopputilanteessa elementti- ja paikallavalulaatat toimivat yhtenäisenä 30 metriä pitkänä laattana.

Pohjamaa oli kohteen pehmeiköllä pääosin turvetta, savista silttiä sekä savea ja kantava pohjamaa hiekkaa tai moreenia. Paalujen pituudet olivat n. 20 metriä.

Alla on esitetty kuvat paalulaatan poikkileikkauksesta ja ote tasokuvasta vaihdealueella.



Kuva 2. Paalulaatan poikkileikkaus.



Kuva 3. Paalulaatan tasokuva.

## 1.2 Paalulaatta

Työvaiheistuksen lisäksi keskeinen seikka suunnittelussa on ollut varsinaisen elementtilaatan mittojen optimointi ja sopivan rakenneratkaisun löytäminen. Laatalle kohdistuvat kuormat ja poikkisuuntaiset jännemitat ovat suuret, jonka vuoksi laatan paksuus voi kasvaa suureksi. Laatan mitat olivat keskeinen kysymys, sillä asennuksen kannalta 350mm paksun laatan 20 tonnin paino on jo nostokaluston kapasiteetin ääri rajoilla.

Paalulaatan rakentamisen kaikki työvaiheet on toteutettava niin, ettei junaliikenne häiriinny. Tämän vuoksi laattojen asennus on tehty 20–24 tunnin liikennekatkoissa. Valmiit elementtilaatat muodostavat 30 metriä pitkiä laattakokonaisuuksia, jotka toimivat lopputilanteessa paikallavaletun paalulaatan tavoin.

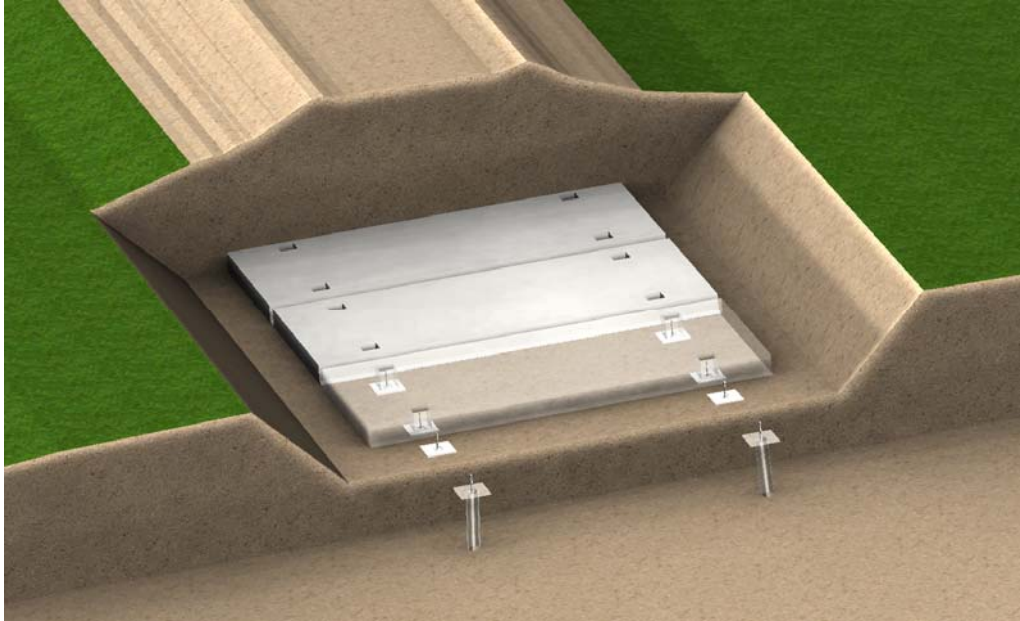
Haastavat työtekniiset tekijät pyrittiin ottamaan mahdollisimman hyvin huomioon jo paalulaatan suunnitteluvaiheessa. Painopisteet ovat olleet eri työvaiheiden sovittamisessa tarkoin rajattuihin liikennekatkoihin ja sähköistettyyn rataan. Liikennekatkojen aikana tehtävien töiden aikataulut on ollut kriittinen tekijä rakenneratkaisuja määrittäessä.

## 1.3 Rakenne

Rakenne on tyypiltään tasapaksu teräsbetoninen elementtilaatta. Laatussa käytetään yksipuolista 2 % sivukallistusta veden pois johtamiseksi.

Laatta on perustettu teräsputkipaalujen varaan, joiden asennus toteutetaan etukäteen ratapenkan läpi liikenteen ehdoilla. Paalutustyö tehdään laatan laajuudesta johtuen useammassa vaiheessa. Teräsputkipaalut betonoidaan ensisijaisesti sisäpuolisen korroosion torjumiseksi.

Teräsmaalut varustetaan paaluhatuilla. Paaluhatut ovat ylikokoisia, jonka ansiosta paalujen sijaintipoikkeamat eivät estä elementin asentamista. Paaluhatut on varustettu siirrettävällä tapilla, joka välittää penkereeltä tulevat vaakakuormat paaluille. Tarvittaessa laatta tasataan oikeaan korkoon paaluhatun päälle laitettavien teräslappujen avulla. Laatussa olevat varauskolot valetaan umpeen.

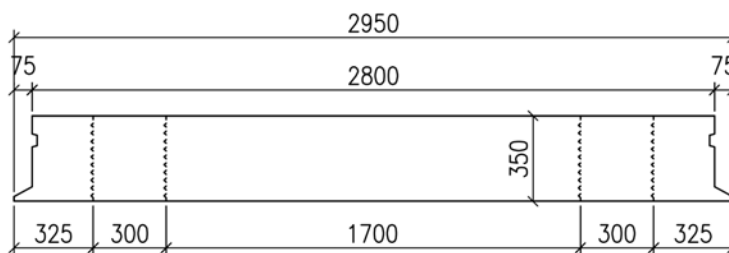


Kuva 4. Paalulaatan vaiheittainen kokoonpanokuva.

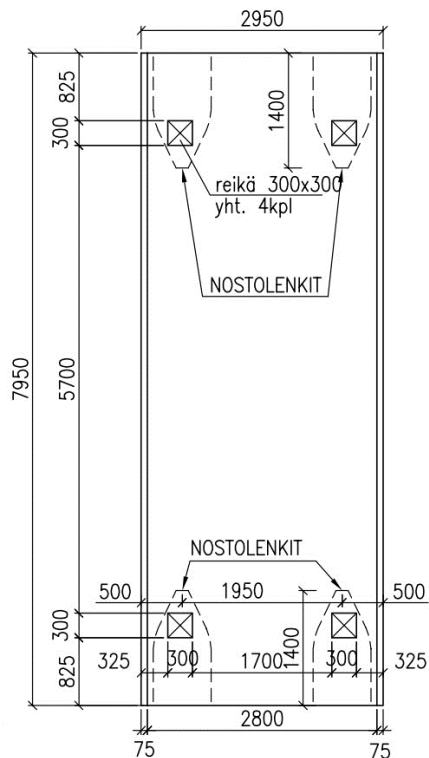
## 1.4 Tekniset tiedot ja suunnitteluperusteet

Suunnittelu on toteutettu Liikenneviraston voimassa olevia suunnitteluohjeita noudattaen.

Suunnittelukuorma:	LM71-30
Paalulaatan rakenne:	Teräsbetoninen tasapaksu elementtilaatta
Paalulaatan paksuus:	350 mm
Elementin pituus:	7950 mm
Elementin leveys:	2950 mm
Elementin paino:	19300...19750 kg
Rasitusluokat:	XC2
Teräspaalut:	RR220x10,0, Betonointi C25/30
Paalutustyöluokka:	PTL II, PO-2011
Laatan betoni:	C35/45-3
Suojabetoni:	Alapinnassa, yläpinnassa sekä sivuilla 45 mm
Betoniteräs:	A500HW tai B500B



Kuva 5. Laattaelementin poikkileikkaus.



Kuva 6. Laattaelementin tasokuva.

## 1.5 Rakentaminen

Urakoitsijana elementti- ja paikallavalettavien paalulaattojen osuudella toimi Fin-Seula Oy. Elementtilaattojen asennus on toteutettu kesällä 2014 noin kolmen viikon välein sijoittuvien 20–24h liikennekatkojen aikana. Katkoja vuonna 2014 on yhteensä 8 kpl.

Paalulaattojen rakentaminen on aloitettu toukokuussa paalutuksella ja viimeiset lohkot valmistuvat syksyllä 2014. Suunnitelmavaiheessa elementtejä arvioitiin asennettavaksi 10 kpl yhden katkon aikana, jolloin yhdessä katkossa valmistuva osuus muodostaisi 30 metriä pitkän laattakokonaisuuden. Ensimmäistä katkoa lukuun ottamatta elementtejä on pystytty kuitenkin asentamaan 15–16 kpl yhden katkon aikana, jolloin paalulaattaa valmistui yhden katkon aikana jopa 50 metriä. Rakentamisvaiheessa mm. asennustapoja, valumassoja ja työvaiheistusta on kehitetty yhdessä urakoitsijan kanssa.



*Kuva 7. Elementtilaatan asennus.*

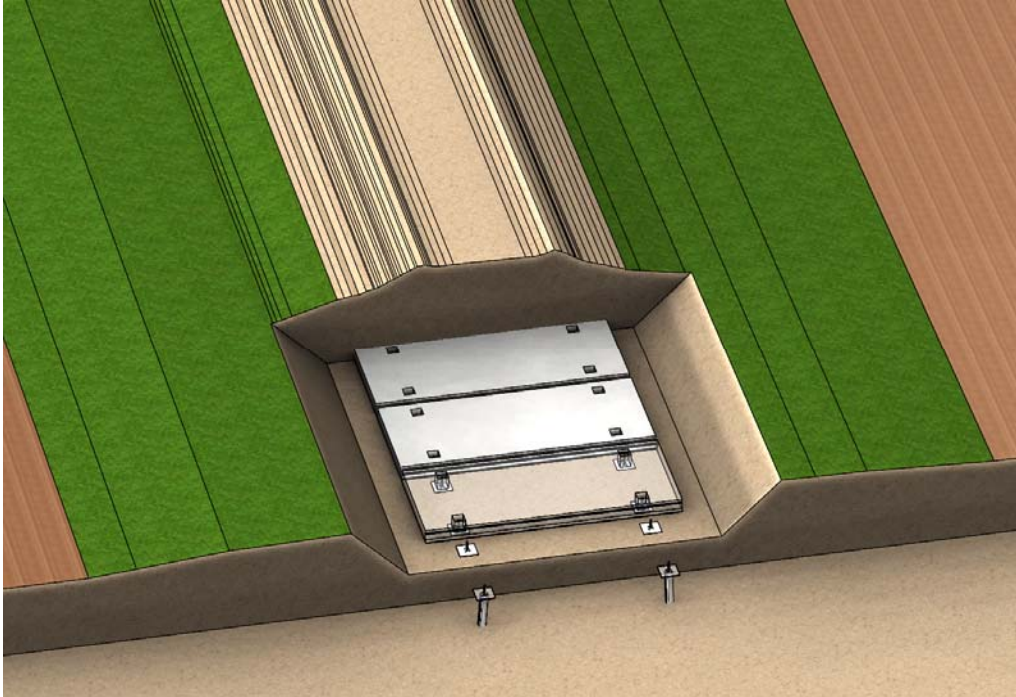
Rakentaminen sisältää seuraavat työvaiheet:

Esivalmistelevat työvaiheet

1. Paalutus
2. Paalujen katkaisu penkereen yläpinnan tasoon
3. Paalujen betonointi
4. Elementtien valmistaminen

Asennuskatkon aikana tehtävät työvaiheet

5. Raide-elementtien poisto
6. Maanleikkaus
7. Teräspaalujen katkaisu
8. Elementtien asennus
9. Jälkivalu
10. EV-kerroksen rakentaminen
11. Pohjasepeli-kerroksen rakentaminen
12. Raide-elementtien asennus
13. Raiteen tukeminen
14. Liikenteelle luovuttaminen



Kuva 8. Elementtilaatan kokoonpanokuva.



## 2 Työtekniikka

### 2.1 Työvaiheet ja aikataulu

Suunnitteluvaiheessa selvitettiin vastaavien kohteiden työsuorituksia, jotta laattojen rakennustyöt saatiin mahtumaan rakennusaikana oleviin liikennekatkoihin. Laattakokonaisuudet pyrittiin tämän lisäksi rakentamaan niin, että yhden katkon aikana asennettavien elementtien määrää pystyttiin tarvittaessa muuttamaan. Joustavuuden ansiosta voitiin asentaa joko enemmän tai vähemmän laattoja kuin suunnitelmassa oli arvioitu.

Ensimmäisen katkon jälkeen työvaiheet alkoivat sujua nopeammin, jolloin urakoitsija päätyi asentamaan n. 15 elementtiä yhden katkon aikana. Laajemman osuuden asentaminen yhden katkon aikana vähensi aikataulupaineita merkittävästi ja mahdollisti sen, että totaaliakatkoja voitiin käyttää myös muiden maanrakennusurakan työvaiheiden suorittamiseen. Tässä kohteessa pitkiä 20–24 tunnin liikennekatkoja käytettiin esimerkiksi sähkörataperustusten asentamiseen.

Alla on esitetty urakoitsijan laatima 20 tunnin liikennekatkon työvaiheaikataulu.



Kuva 9. Liikennekatkon 12.7.2014 aikataulut.

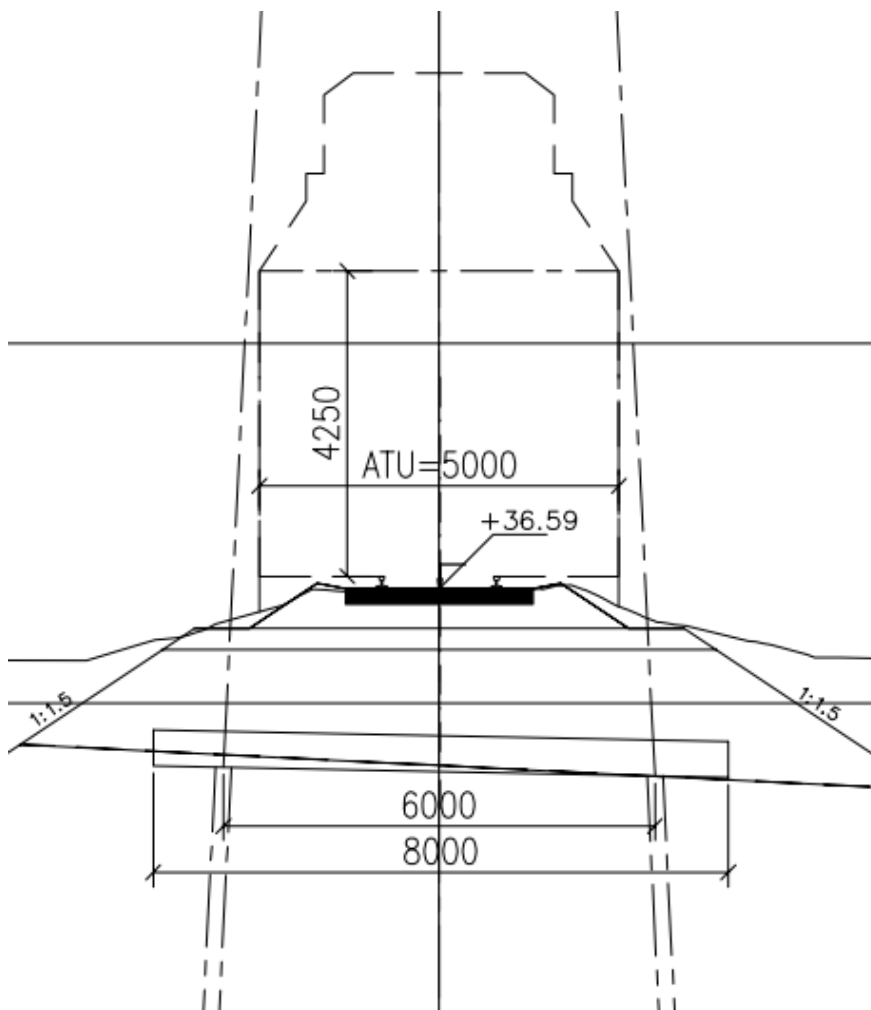
## 2.2 Paalut

### 2.2.1 Paalutuksen työvarat

Paalujen asennus liikennöidyllä radalla on tärkeimpiä työvaiheita, jotka tulee huomioida suunnittelussa. Tässä kohteessa paalut sijoitettiin niin, että ne sijaitsevat kaikissa tapauksissa aukean tilan ulottuman (ATU) ulkopuolella. Tällä tavoin voitiin varmistua siitä, että esimerkiksi paalujen katkaisun viivästyessä niistä ei aiheudu haittaa junaliikenteelle.

Paalutustyön aikana rataa ei vielä purettu, vaan paalutus tehtiin ratapenkereen läpi. Paalut katkaistiin aluksi penkereen yläpinnan korkeudelta odottamaan lyhentämistä oikeaan tasoon laattojen asennuksen yhteydessä. ATUn ulkopuolelle sijoitettu paalu ei aiheuta haittaa junaliikenteelle, vaikka se jäisikin jostain syystä katkaisematta. Paaluille on sallittu lopullisessa katkaisutasossa  $\pm 200\text{mm}$  sijaintitoleranssi, jonka ylittäminen johtaisi ongelmiin laatan asennusvaiheessa.

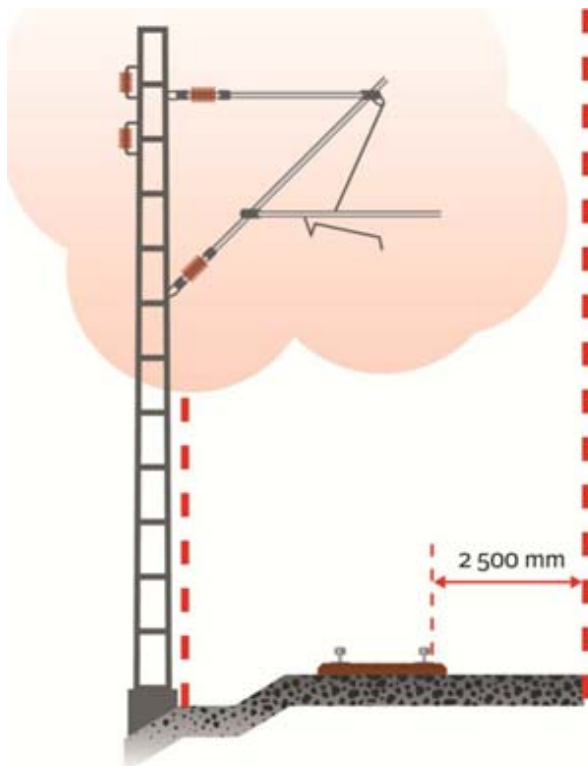
Paalutuksen toteutuksessa ja sen suunnittelussa oli otettava huomioon ratajohdinten lisäksi myös itse sähköratapylväät, niiden perustukset ja harukset, jotka voivat omalta osaltaan hidastaa jo ennestään haasteellista paalutustyötä.



Kuva 10. Paalujen sijoittuminen aukean tilan ulottumaan.

Paalujen asennuksen kannalta optimaalisin tilanne olisi, että paalut sijaitsisivat kokonaan ratatyön suojaulottuman (RSU) ulkopuolella. Paalutustyössä RSU:n ulkopuolella pysyminen on haastavaa, kun itse paalutuskone vielä tilaa noin 700mm paalun keskilinjasta katsottuna.

Tilavarausten lisäksi on otettava huomioon suojaetäisyydet sähköistetyin raiteen jännitteellisistä osista, jotka tässäkin tapauksessa tulivat ulospäin lyötävien vinopaalujen osalta määräävämmäksi haitaksi kuin ATU tai RSU. Paaluja ei olisi voitu asentaa pudottamatta alas paalutuskoneen tiellä olleita ratajohtimia. Näiden lisäksi paikalla saattaa olla esteenä myös ratajohtopylväiden perustukset, punttipylväiden vinolangat sekä harukset niin kuin tässäkin tapauksessa.



Kuva 11. Ratatyön suojaulottuma

Lankojen ollessa jännitteelliset on työ lähes mahdoton toteuttaa. Paalukoneen vaijereiden mahdollinen katkeaminen sähköistetyin radan välittömässä läheisyydessä aiheuttaa myös suuren työturvallisuusriskin.

Paalujen sijoittaminen kauemmaksi raiteesta olisi ollut puolestaan rakenneteknisistä syistä epäedullista. Jännemitan kasvaessa laattaa olisi jouduttu paksuntamaan, jolloin yksittäisen 20tn painavan elementin massa olisi kasvanut vielä entisestään.

Paalujen asentamiseen löytyy myös pienempää kalustoa, mutta niiden tehot ovat huomattavasti pienempiä. Niitä käytettäessä ei paalujen PDA-mittauksiin saada tarvittavaa energiaa.

Ensimmäisen lohkon paalut on asennettu 24 tunnin liikenne- ja jännitekatkon aikana. Seuraavien lohkojen paalutusta varten saatiin järjestettyä erotusjakso, jonka ansiosta paalut saatiin asennettua normaalien liikennerajojen puitteissa.

Ratatyöluvan ja lupamenettelyn ansiosta työt voitiin suorittaa RSU:n sisäpuolella, jolloin työvaiheessa riittää ATUn ulkopuolella pysyminen.

### 2.2.2 Paalujen valu

Paalutyyppejä ja rakennetta on sovitettu laattarakenteeseen harkitusti. Vanhassa tyyppielementtilaatassa käytetyt teräsbetonipaalut on haastava saada välittämään vaakavoimia laatalta paalulle.

Ratapenkereen läpi asentamisen kannalta putkipaalut koettiin myös paremmaksi vaihtoehdoksi. Paalut päätettiin korroosiosyistä täyttää betonilla, jolloin päädyttiin d220x10,0 liittorakenteiseen teräspuutkipaaluun.

Paalujen valu voidaan tehdä omana työvaiheenaan paalujen katkaisun jälkeen, joka tuo joustavuutta aikataulun suhteen. Alun perin suunnitelmissa paalut tuli valaa vedenalaisena valuna ja johtaa erottunut massa ylivalamalla pois paalun sisältä.



Kuva 12. Valetut teräspuutkipaalut

Urakoitsija päätyi kuitenkin valamaan paalut lopullisen katkaisutason alapuolelle. Tällöin paalujen katkaisu määräk korkeuteen liikennekatkon aikana helpottuu, sillä paalu voidaan katkaista kuten ilman täyttövalua oleva normaali teräsputki. Ylös asti betonoidun putken katkaisua ei olisi voitu toteuttaa tällä aikataululla rakenteen vaatimalla tarkkuudella. Lisäksi betonoidun putken käsittely olisi ollut merkittävästi hitaampaa sen suuren painon vuoksi.

Rakenteellista vaikutusta paalun valun vajaaksi jättämisellä ei ole, sillä kapasiteetti oli riittävä ilman betonointiakin. Sisäpuolisen korroosion välttämiseksi on kuitenkin päädytty paalujen betonointiin.

Paalut tyhjennettiin imuautolla juuri ennen betonointia. Paalujen vuotaminen ja vedellä täyttyminen oli kuitenkin vähäistä. Vettä paalujen pohjalla oli vaihtelevasti 0–300 mm. Valu tehtiin kuitenkin samalla periaatteella kuin vedenalaisessa valussa.

Paalujen valussa käytettiin IT betonia, joka ulotettiin noin 100–150mm katkaisutason alapuolelle. Loppu valu suoritettiin laattojen asennuksen yhteydessä paalun katkaisun jälkeen 600/3 juotosbetonilla.

### 2.2.3 Paalujen katkaisu

Paalut katkaistaan normaaliin tapaan leikkaamalla putki tavoitetasosta. Paalun ontto kanto on tässä tapauksessa n. 2 metrin pituinen, jolloin se on helppo nostaa katkaisun jälkeen sivuun odottamaan siirtoa kaivannon ulkopuolelle. Täyteen valetun putkipaalun käsittely olisi ollut merkittävästi hankalampaa.

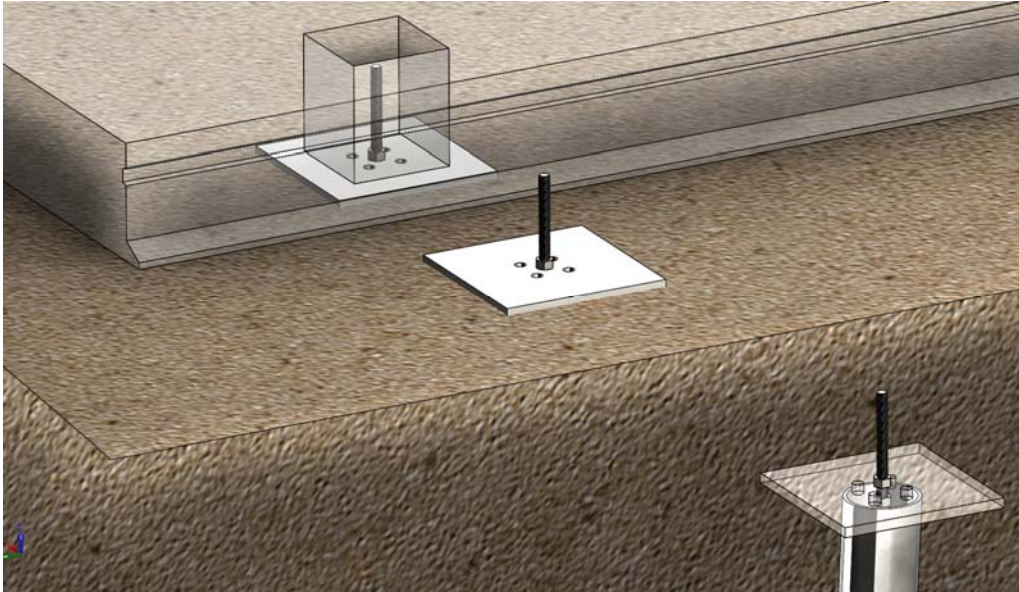


Kuva 13. Paalujen katkaisu ja paalukantojen poistaminen.

Asennusalustan tasaustöitä tekevä pieni kaivinkone nostaa paalukannot tasavälein ratapenkereelle maanrakennustöiden lomassa.

#### 2.2.4 Paaluhatut

Paaluhatut ovat pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta kuten normaalit teräsputkipaalujen paaluhatut. Itse hattu on ylikokoinen, jotta sijaintipoikkeamista huolimatta hattu ja siinä oleva leikkausliitos saadaan sovitettua betonielementissä olevaan varauskoloon. Lisäksi paaluhatussa on useampi reikä, jotta sijaintitoleranssien ylittyessä pultti voidaan siirtää toiseen paikkaan ja työmaalla tehtävät sovitukset jäävät miniimiin. Paaluhattuun tehdyt neljä ylimääräistä reikää mahdollistaa leikkausliittimen siirtämisen lisäksi myös paalun yläpään valamisen täysin täyteen.

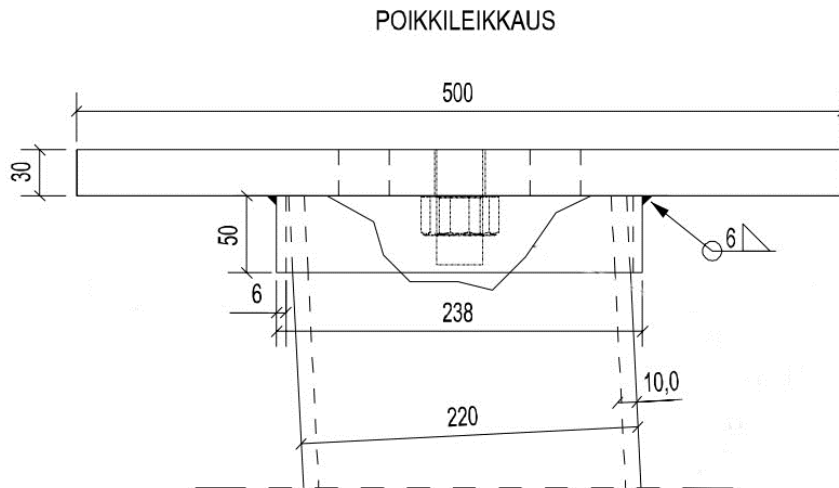


Kuva 14. Paalulaatan kokoonpanokuva, paaluhatut.



Kuva 15. Paaluhatut ennen asennusta.

Paaluhatussa paalun ympärille tulevan holkin mitat on määritetty mahdollisimman tiukoiksi, jotta hattu välittäisi vaakavoimat tehokkaasti paalulle ilman vaakasiirtymiä. Sopivan kokoinen holkki voidaan valmistaa esimerkiksi kuumavalssatusta CHS-putkesta, tai selkeästi suuremmasta putkesta leikkaamalla putken kylki auki ja hitaamalla se oikean kokoiseksi.



Kuva 16. Paaluhattu, poikkileikkaus.

Ylikokoinen paaluhattu ja useampi kiinnitysreikä mahdollistavat  $\pm 200$ mm sijainti-poikkeaman. Tässä kohteessa ei tullut vastaan tilannetta, jossa elementtiä ei olisi voinut asentaa suunnitellusti paikalleen asennustoleranssien ylittymisen vuoksi.

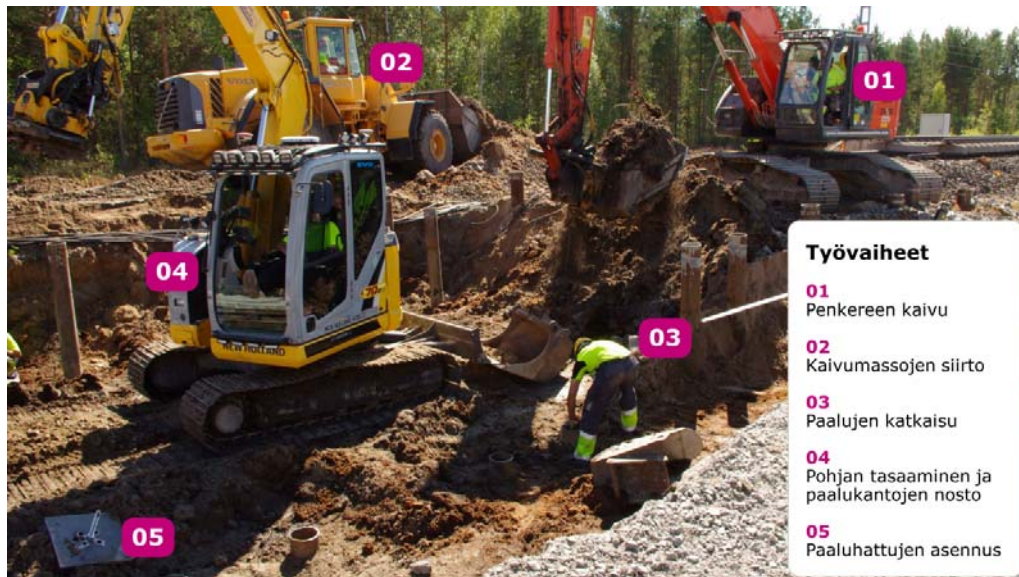
## 2.3 Maanrakennustyöt

Maanrakennustyöt olivat aikataulun kannalta tahdistava työvaihe. Laatan yläpinnan sijaitessa kaksi metriä radan korkeusviivan alapuolella, ovat kaivu- ja täyttömassojen määrät erittäin suuria. Tilantarpeen, työkoneiden määrän ja sen myötä työsuoritusten arviointi on tärkeää, jotta työvaiheet saadaan tehtyä määräajassa.

Kohteessa kaivutyöt etenivät tasaisesti kolmen maanrakennuskoneen voimin. Ensin kaivetaan radan päältä ratapenkereen massat sivuun pyöräkuormaajan läjitettäväksi ja tämän jälkeen tasataan asennusalusta kaivannon pohjalla olevalla pienemmällä kaivinkoneella.

Raide-elementtien poistamisen jälkeen aloituskaivannon tekemiseen kuluu aikaa noin 2 tuntia. Tämän jälkeen työ etenee yllä mainitulla kalustolla noin 20 min/elementti. Tässä kohteessa oli leikattavan penkereen syvyys noin 2 metriä, joten kahdella n. 23 tn koneella selviää raakakaivutyöstä. Pienempi 7 tn kone etenee kaivannon pohjalla perässä tasoittaen alustan suunniteltuun tasoon. Alueen koosta johtuen kaivumassojen varastointiin ei ole tilaa vaan tähän tarvitaan suuri pyöräkuormaaja hoitamaan kaivumassojen kuljetuksen pois.

Tilantarpeen puolesta työkoneiden määrän lisääminen olisi ollut vaikeaa ja niistä saatu aikatauluhyöty minimaalinen. Alla olevassa kuvassa on esitetty laatan asennusta edeltävät työvaiheet.



Kuva 17. Laatan asennusta edeltävät työvaiheet.

## 2.4 Elementtien asennus

Paalulaattaelementtien asennus oli tavallista haastavampaa niiden suuren painon vuoksi. Kahdeksan metriä pitkä, kolme metriä leveä ja 20 tonnia painava elementti on lähes mahdoton asentaa esimerkiksi tavallisella kuormausnosturilla.

Vaihtoehtoina elementtien nostolle oli perinteinen autonosturi tai raskas kuorma-autoalustainen nosturi. Perinteisen nosturin ongelmana on nostovaijerin osuminen ajolankoihin. Nostoalustan pettäessä korkealle nostettu puomi saattaa aiheuttaa henkilövahinkoja sekä vaurioita sähkörataan.

Ensimmäinen asennus toteutettiin normaalilla autonosturilla, joka todettiin hitaaksi siirtää asentamisen aikana. Ajolangan aiheuttamat haitat kuten langan varominen ja vaurioitumisen mahdollisuus eivät myöskään olleet autonosturin etuja. Näistä syistä päädyttiin seuraavissa katkoissa käyttämään kuorma-autoalustaista nosturia.

Kuorma-autoalustaisen ajoneuvonosturin hyvä puoli on se, että elementti voidaan kuljettaa ajolankojen alla ja näin voidaan varmistua, ettei sähköratarakenteisiin aiheuteta vaurioita. Elementti siirretään koko kuljetusmatkan mahdollisimman lähellä maan pintaa, jolloin riskit nostoalustan pettämisestä aiheutuville ovat pienet.

Kohteessa käytetty kuorma-autoalustainen nosturi on pohjoismaiden suurin ja sen kapasiteetti vastaa 120 tonnin ajoneuvonosturia. Vaihtoehdot nostokaluston suhteen ovat siis rajoitetut, jolloin rakennuspaikan ympäristö pitkälti sanelee millaisella kalustolla elementit voidaan nostaa ja sen myötä usein määrittää elementtien maksimipainon. Kohteen paalulaatat olivat hyvällä, avoimella paikalla nostotöiden suhteen. Elementtien asennus oikean tyyllisellä nostimella vei aikaa nosturin siirtoineen noin 15–20 min/laatta. Nostojen nopeus riippuu paljon rakennuspaikasta. Esimerkiksi siltojen taustapaalulaatoilla voivat nostotyöt olla nostopaikasta johtuen haasteellisempia jolloin niihin tulee myös varata enemmän aikaa.





Kuva 18. Elementtien nosto puominosturilla.

## 2.5 Jälkivalukaistat

Betonelementit liitetään toisiinsa raudoitettun jälkivalukaistan avulla. Lopputuloksena on jatkuva rakenne, jonka toiminta vastaa paikalla valettua paalulaattaa. Lyhyt liikennekatko ja betonirakenteelle asetetut vaatimukset ovat kuitenkin vaikea yhtälö toteutettavaksi, kun jälkivalun sitoutumiseen varattu aika on rajallinen. Silti katkon päätyttyä tulee laatan vastata ominaisuuksiltaan jatkuvaa rakennetta.

Kohteeseen soveltuvan jälkivalumassan löytäminen oli tämän vuoksi haasteellista. Useita massoja testattiin ja vertailtiin ennen lopullista valintaa. Jälkivaluihin tarkoitettujen, nopean lujuudenkehityksen omaavien massojen valmistaminen on työlästä, sillä niitä toimitetaan vain säkkeinä. Suurten valumäärien vuoksi betonitehtaan tuote oli ainoa varteenotettava vaihtoehto.

Laatan poikittaiset kallistukset tuottivat myös ongelmia oikean valumassan löytämisessä. Vaikka 2 % sivukallistus on pieni, niin notkeille juotosbetoneille sekin on liikaa. Tällöin massa valuu helposti saumasta yli, eikä valukaistasta saada tasaista.

Eri betonien vertailun jälkeen valumassaksi valittiin Lapuan betonin xSeed lisäaineella tuotettu massa, jolla saavutettiin paras lujuus kuormitushetkellä. Massalla oli muita vaihtoehtoja pidempi heräämisaika, mutta 4 tunnin jälkeen lujuus lähti nopeaan nousuun ja ohitti pian muut vertailussa olevan massat. Tämä helpotti jälkivalujen tekoa pidemmän työstettävyyksiänsä ansiosta.

Betonitehtaalta tilattu massa tulee asentaa kourulla ja kottikärryillä, sillä pumppuun nopeita massoja ei suositella laitettavaksi. Lisäksi jäykempi betonimassa saadaan paremmin pysymään muoteissa kuin erittäin notkeat jälkivalumassat. Notkeat massat valuisivat helposti kallistetun laatan reunan yli.

Jälkivalujen yhteydessä katkaistaan elementtien nostolenkit ja suojataan laatta katkaisukohdasta valumassalla.



Kuva 19. Jälkivalukaistan valaminen.

## 3 Rakennetekniikka

Työtekniikan lisäksi rakentamisen yhteydessä on tullut esiin rakenneteknisesti huomion arvoisia havaintoja, joita on tutkittu tarkemmin ja etsitty korvaavia ratkaisuja. Kappaleessa esitellään ensin rakennemalli ja sen jälkeen rakenneosakohtaisesti erityispiirteet ja kehitysehdotukset.

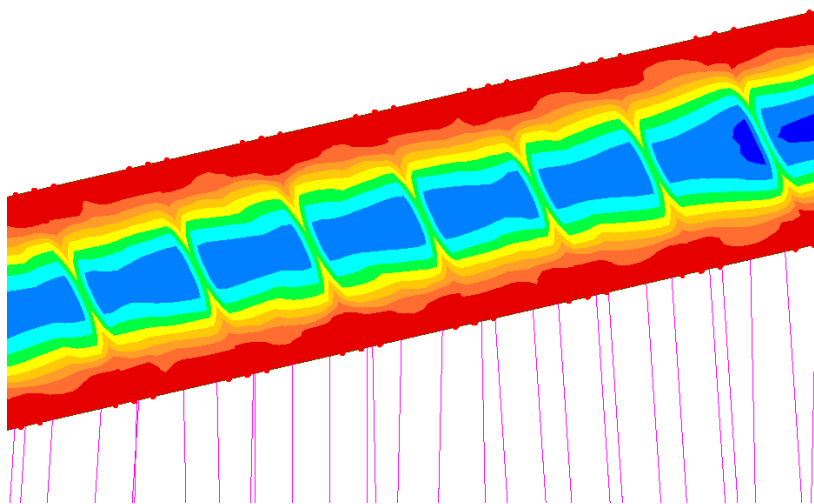
### 3.1 Rakennemalli

#### 3.1.1 Betonirakenne

Rakenne toimii lopputilanteessa jatkuvana laattajonona. Mitoituksessa laatasto on oletettu pysyvien kuormien osalta toimivan peräkkäisinä erillisinä 3 metrin laattoina ja muuttuvien kuormien osalta jatkuvana 30 metriä pitkänä laattakokonaisuutena.

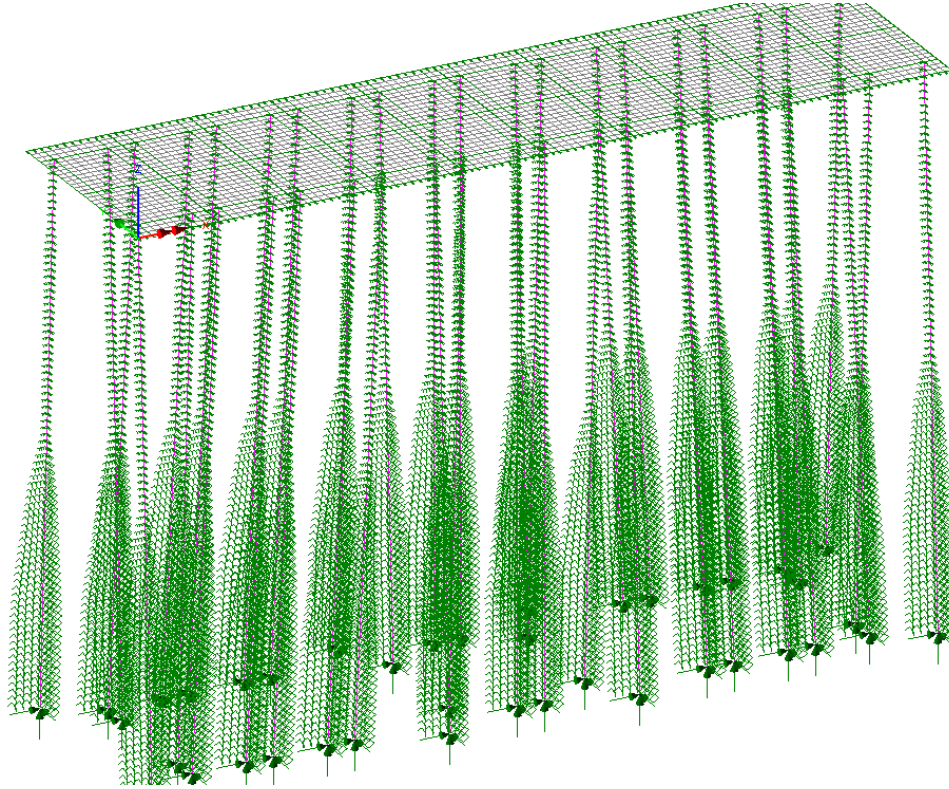
Betonin lujittumisen aikana tehtävien täyttötöiden vuoksi kuorman suuruus ja jakaantuminen laatalle on alati muuttuva. Kiinnitysehtojen muuttuminen on huomioitu rakennemallissa siten, että saadaan määräävät voimasuureet riippumatta siitä, toimiiko rakenne täysin jatkuvana laattana, vai erillisinä elementteinä.

Elementin jälkivalukaistan osuus on mukana kaikissa laatan taivutustarkasteluissa ja sillä käytetään samaa taivutusraudoitusta kuin muullakin laatan osalla. Elementtien sauma toteutetaan pestyä työsaumaa ja vaakasuuntaista vaarnakoloa käyttäen, jolloin sen leikkauskestävyys voidaan olettaa lähes yhtä suureksi kuin homogeenisella betonilla.



Kuva 20. FEM-rakennemalli, betonilaatta.

Laskenta on tehty käyttäen Lusas Bridge Plus -ohjelmistoa, joka laskee rakenteen siirtymämenetelmällä. Ohjelman avulla rakennetaan laataston 3d-malli, jonka eri rakennosiin asetetaan niille kuuluvat mitat, materiaalit, lujuusominaisuudet, tuet ja kuormat. Tuloksina saadaan kuormitustapausten aiheuttamat ääriarvot kussakin elementtiverkon pisteessä ja kuormitusten mitoittavat yhdistelmät.



Kuva 21. FEM-rakennemalli, tuet ja vaakajouset.

### 3.1.2 Geotekniikka

Rakenteelle on käytetty paalujen osalla vaakajousia ja laatan kylkien osalla passiivipainetta sivukuormille.

Poikittainen passiivipaine on määritelty vaikuttavaksi laatan painopisteen tasolla. Laskenta on tehty NCCI7 liitteen 2 mukaisilla passiivipainekertoimilla. Luiskakaltevuuden ollessa 1:2 ja kitkakulman 34 astetta, passiivipaineen arvoksi saatiin 17kN/m.

Jouset on mallinnettu vallitsevien maaperäolosuhteiden mukaisesti. Alustaluvut on määritelty hienorakeisilla maakerroksilla leikkauslujuuteen perustuen PO-2011 kaavan 4.45 mukaisesti. Kitkamailla on alustaluvun määrittäminen tehty PO-2011 kaavan 4.39 mukaisesti. Alustalukujen arviointi on pyritty tekemään siten, että saavutetaan riittävä varmuustaso.

Alle on kerätty maakerroksittain alustalukujen laskentaperusteet.

#### **0..2m turve**

Lähtötieto:  $S_u = 10 \text{ kPa}$  (siipi)

lyhytaikainen  $ks \Rightarrow 115 \cdot (10 \text{ kPa} / 220 \text{ mm}) = 5 \text{ MPa/m}$

#### **2..3m Silttikerros**

Lähtötieto:  $S_u = 13 \text{ kPa}$  (siipi)

lyhytaikainen  $ks \Rightarrow 115 \cdot (13 \text{ kPa} / 220 \text{ mm}) = 6 \text{ MPa /m}$

#### **3...10m Savikerros**

Lähtötieto:  $S_u = 10 \text{ kPa}$  (siipi)

lyhytaikainen  $ks \Rightarrow 115 \cdot (10 \text{ kPa} / 220 \text{ mm}) = 5 \text{ MPa /m}$

#### **10..12m Siltti/Hiekkakerros**

Lähtötieto:  $S_u = 30 \text{ kPa}$  (siipi)

lyhytaikainen  $ks \Rightarrow 115 \cdot (30 \text{ kPa} / 220 \text{ mm}) = 15 \text{ MPa /m}$

#### **12...16m Hiekkakerros**

Kitkakulma =  $33^\circ$  (arvioitu)

$ks \Rightarrow nh (D/d) = 2,0 \cdot (3 / 0,22) = 25 \text{ MPa /m}$

Edellä esitettyjen maaperäparametrien perusteella mitoitettu Ruha–Lapua hankkeen rakenne on toimiva käytettäessä suunnitelman paalukaltevuuksia. Pohjaolosuhteiden muuttuessa tulee myös paalujen sijoitteluun kiinnittää huomiota. Paalukaltevuusien muutoksilla on suora yhteys paalutustyön tilantarpeeseen ja laatan rakennettavuuteen liikennekatkoissa.

## 3.2 Paalut ja paaluhatut

Paalun ja laatan yhteistoimintaa on pyritty varmistamaan erikoismittaisella paaluhatulla. Jotta liitoksella saavutetaan vastaavanlainen yhteistoiminta kuin paikalla valetulta laatalta, on siihen tehty kaulus joka asettuu tiukasti paalun ympärille.

Valmistusvaiheessa erityismittaisen holkin valmistaminen koettiin vaikeaksi, mutta ratkaisu löytyi leikkaamalla putken sivu auki ja hitsaamalla putki oikeaan halkaisijaan. Toinen vaihtoehto on käyttää CHS-putkea ja hakea sopiva sisämitta esim. kauluksen seinämäpaksuutta kasvattamalla.

## 3.3 Laattaelementti

Laatan raudoitus on viety äärimmilleen, eli teräsmäärä on yliraudoituksen rajoilla. Raudoitussuhteen tasaaminen ei kuitenkaan ole mahdollista ilman laatan paksuuden ja sitä myötä painon kasvattamista. Työteknisesti olisi lisäksi edullista, että paalut sijaitsivat kauempana toisistaan, mutta edellä mainituista syistä tämä ei ole järkevää.

Vaihtoehtoina on parantaa laatan lävistyskapasiteettia raudoituksella ja muotoilla laatta siten, että hyödyllistä korkeutta saataisiin kasvatettua aukon keskellä. Laatan ollessa vahvasti raudoitettu, on lävistysraudoituksen toteuttaminen hankalaa, joten tehokkaampi tapa lisätä lävistyskapasiteettia on käyttää korkeampilujuuksista betonia.



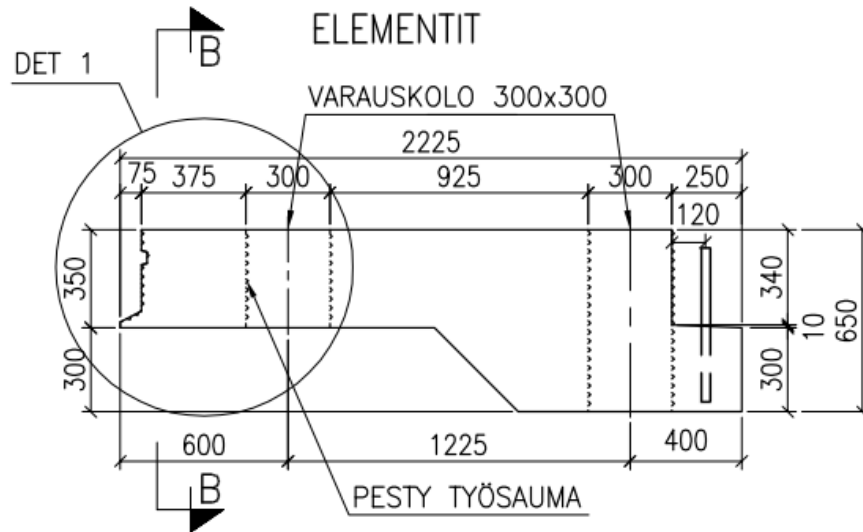
Kuva 22. Elementit ennen asennusta.

### 3.4 Elementtilaatan nostolenkit

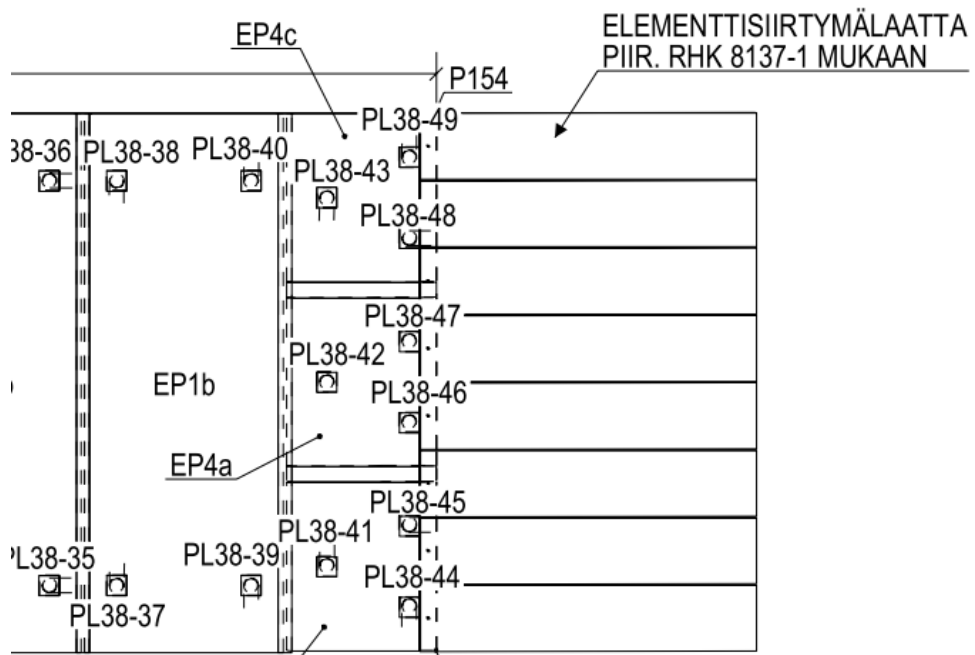
Katkaistujen nostolenkkien suojaaminen on ongelmallista. Ongelma on ehdotettu ratkaistavaksi kololla, jonka pohjalta lenkki sitten katkaistaisiin ja kolo voitaisiin valaa umpeen, ilman että suojaava betonipeite jää liian ohueksi. Kolon täyttövalu tehtäisiin samalla massalla kuin esimerkiksi paalujen yläosan täyttövalu tai jälkivalukaistojen betonointi.

### 3.5 Päätylementit

Laatan päädyssä on siirtymälaatta, jota varten on suunniteltu erillinen leukapalkkielementti. Leukapalkin paalujen paikat ovat haasteellisia, koska kolmeen elementtiin jaetun leukapalkin keskimäinen paalu on juuri ajolangan kohdalla ja viereiset kiskojen kohdalla. Ongelma voidaan korvata muuttamalla leukapalkin yhdeksi elementiksi, jolloin paalujen sijainteja voisi sovittaa paremmin radan poikkileikkaukseen.



Kuva 23. Leukapalkkielementin poikkileikkaus.



Kuva 24. Leukapalkkien sijoittelu – Tasokuva.

## 4 Kehitysehdotukset

### Laattojen paino

Laattojen paino nostokalustolle on jo maksimissaan. Painon pienentäminen helpottaisi asennusta, sillä asennuksessa voitaisiin käyttää erilaista, paremmin tarjolla olevaa pienempää kalustoa.

### Jälkivalukaistan tyyppi

Urakoitsijan toiveena oli jättää työtä ja aikaa vaativat jälkivalukaistat pois. Vaihtoehtona jälkivaluille on ehdotettu esimerkiksi teräspalkkeja laatan kyljissä tai elementeille leuka/vaarnaliitosta. Näiden toimivuutta ei ole kuitenkaan tutkittu tarkemmin.

Rakenneteknisiltä ominaisuuksiltaan paikalla valettua paalulaattaa vastaavaa ratkaisua on vaikea saavuttaa ilman työmaalla tehtäviä jälkivaluja. Vaihtoehtoisen elementtien liittämiskäytännön löytämiseksi olisi aiheellista käydä laajempaa keskustelua eri tahojen välillä.

### Jälkivalumassat

Massojen lujuudet ja lujuudenkehitys eri olosuhteissa on noussut esiin jälkivalumassojen vertailun yhteydessä. Tässä kohteessa olosuhteet valuille olivat esimerkiksi hyvät, sillä työt ajoittuivat vuoden lämpimimmille kuukausille. Lämmöstä huolimatta elementtien jälkivalut saavuttivat katkojen aikana juuri ja juuri niiltä vaaditun lujuuden. Työskenneltäessä kylmemmissä olosuhteissa voi jälkivalujen lujuudenkehityksen kanssa ilmetä ongelmia.

Suomen sääolosuhteet huomioiden, tulee jälkivalukaistojen valujen ajoittamiseen kiinnittää erityistä huomiota.



## 5 Kustannusvertailut

Suunnitelmaratkaisun kustannuksia on vertailtu muiden paalulaattarakenteiden kanssa. Vertailussa on tarkasteltu 200 metriä pitkää paalulaattakokonaisuutta, jonka perustana on käytetty tässä raportissa esiteltyä Ruha–Lapua kohteeseen suunniteltua EP-elementtipaalulaattaa.

### 5.1 Rakennevaihtoehdot

Rakennuskustannusten vertailut on tehty kolmella eri laattatyypillä: EP-elementtillaatalla, kolmen pystypaalun elementtillaatalla ja perinteisellä paikallavalulaatalla. EP-elementtipaalulaatan tapauksessa on vielä erikseen vertailtu laatan kustannuksia sekä teräs- että betonipaaluluilla.

Tarkastellut rakennevaihtoehdot eivät kuitenkaan ole ominaisuuksiltaan täysin vertailukelpoisia. Raportissa esitellylle liikeneraossa rakennettavalle jatkuvalla elementtillaattatyypille ei tällä hetkellä löydy varteenotettavaa kilpailijaa.

#### 5.1.1 EP-elementtipaalulaatta

Ensimmäisenä vertailussa on raportissa edellä esitelty 4 paalun elementtipaalulaatta. Tämä rakenne on kustannusvertailussa esitetty teräsputkipaalujen lisäksi myös betonipaaluluilla tuettuna vaihtoehtona. Laatta voidaan rakentaa 24 tunnin liikennekatkossa ja lopputilassa se toimii paikalla valetun paalulaatan tavoin.

#### 5.1.2 Kolmen pystypaalun elementtillaatta

Elementtirakenteisten kolmen pystypaalun laattojen käyttö on rajattu korkeintaan 20 metrin mittaisille osuuksille, jossa ei ole merkittäviä vaakavoimia. Tämän vuoksi ns. "kolmiolaatan" käyttö rajoittuu usein vain sillan päätyihin, joissa vaakakuormat välitetään ratarakenteen kautta sillalle ja ratapenkereelle. Heikko vaakakapasiteetti johtuu siitä, että laatasta on vain pystypaalut, joita ei ole liitetty mekaanisesti rakenteeseen, vaan liitos perustuu kitkaan. Laatat ovat kiinnitetty sivuilta toisiinsa teräsprofiilien avulla.

Laatta voidaan niin ikään rakentaa 24 tunnin liikennekatkon aikana. Elementtirakenne kolmiolaatta tulisi tässä yhteydessä luokitella geovahvisteeksi, sillä se ei enää täytä paalulaatoille asetettuja vaatimuksia.



Kuva 25. Kolmen pystypaalun elementtilaatta.

### 5.1.3 Paikallavalettu paalulaatta

Paikallavalulaattojen rakentaminen rajoittuu vain liikennöimättömälle raiteelle tehtäviin töihin joissa rakennusaikataulu on väljempi. Paikallavalulaatat on sen vuoksi monessa ratakohdeessa pois suljettu vaihtoehto, mutta antaa kuitenkin hyvät vertailukustannukset liikennöimättömissä olosuhteissa rakennettavalle paalulaatalle.



Kuva 26. Paikalla valettava sienilaatta, pohjatyövaihe.

## 5.2 Kustannusvertailuun kuuluvat rakenneosat

Kustannusvertailussa on keskitytty rakennusteknisten osien kustannuksiin. Vertailulla pyritään havainnollistamaan mitkä rakenneosat näyttelevät merkittävintä osaa kokonaiskustannuksissa ja sitä kautta löytämään taloudellisin ratkaisu.

Kiistämätön tosiasia on, että vertailuun mukaan otetut laattatyypin eivät rakenteellisilta, tai työteknisiltä ominaisuuksiltaan ole täysin vertailukelpoisia. Lyhyen liikennekatkon aikana rakennettu, nykyvaatimukset täyttävä paalulaatta, on myös kalliimpi kuin tavallisissa olosuhteissa toteutettu perinteinen paalulaattarakenne.

Eryisesti paalulaattaosuuden sähköratatöihin liittyville työvaiheille on hyvin vaikea tehdä keskenään vertailukelpoisia kustannusarvioita. Rakennuspaikan sijainnilla ja pohjaolosuhteilla on suuri merkitys katkon aikana tehtävien töiden sujuvuuteen ja esimerkiksi kuinka työvaiheita voidaan toteuttaa liikenneraoissa. Lisäksi rataosan vilkkaus ja ratageometria vaikuttavat katkojen määrään ja siihen onko töitä mahdollista tehdä esimerkiksi erotusjaksolla.

Kustannusten jakaantumisen havainnollistamiseksi, on vertailussa laskettu rakenneosittain eri työvaiheiden kustannukset. Kustannusarvioon on lopuksi summattu työmaa- ja tilaajatehtävät. Niiden koostuminen ja suuruus on esitetty alla olevassa taulukossa.

*Taulukko 1. Työmaa- ja tilaajatehtävien osuudet kustannusvertailussa*

### **Työmaatehtävät**

5100	Rakentamisen johtotehtävät	5,0 %
5300	Rakentamisen työmaatehtävät ja erityiset työmaakulut	2,0 %
5400	Työmaapalvelut	2,0 %
5500	Työmaan kalusto	1,0 %
5200	Urakoitsijan yritystehtävät	10,0 %
5761.31	Hintatason muutokset	0,0 %
Yhteensä		20,0 %

### **Tilaajatehtävät**

5600	Suunnittelutehtävät	4,5 %
5710	Rakennuttamistehtävät	2,5 %
5761	Varaukset	4 %
Yhteensä		11,0 %

## 5.3 Kustannusvertailut rakenneosittain

Kustannusvertailussa käytetyt suunnittelukustannukset ja perustuvat Ruha–Lapua-hankeessa käytettyihin hintoihin. Yksikköhintoja on päivitetty vastaamaan muiden samantyyppisten hankkeiden kustannuksia, jotta otanta olisi mahdollisimman laaja ja yksikköhinnat noudattaisivat mahdollisimman hyvin yleistä kustannustasoa. Rakenneosien kustannusten harmonisoinnilla on pyritty myös siihen, että laskelman rakennevaihtoehdot olisivat kustannuksiltaan keskenään vertailukelpoisia.

Kustannukset on koottu alla olevaan taulukkoon, jossa on sarakkeissa ensin rakenneosa ja sitten neljä eri rakennevaihtoehtoa. Taulukon riveille on koottu kunkin työvaiheen kokonaiskustannukset rakennevaihtoehdoittain (rakenneosakohtaiset kustannukset liitteenä). Rakenteille on laskettu rakennuskohteen kokonaiskustannukset ja laatan neliöhinta. Näistä on lopuksi laskettu kokonaiskustannukset ja neliöhinta sisältäen myös tilaaja- ja työmaatehtävät.

Täydellinen kustannusarvio on liitteessä 1.

	<b>EP Elementti- paalulaatta</b> Teräspanki- paalut	<b>EP Elementti- paalulaatta</b> Betonipaalut	<b>Kolmiolaatta</b> Betonipaalut	<b>Paikalla- valulaatta</b> Betonipaalut
Paalut	602 282 €	305 507 €	427 539 €	434 583 €
Kaivut ja täytöt	46 132 €	46 132 €	44 324 €	41 336 €
Laatta	361 631 €	361 631 €	482 338 €	225 844 €
<b>Rakenneosat yhteensä</b>	<b>1 010 045 €</b>	<b>713 270 €</b>	<b>954 201 €</b>	<b>701 763 €</b>
Neliöhinta	524 €	370 €	495 €	364 €
Rakennuskustannukset sisältäen tilaaja- ja työmaatehtävät				
<b>Rakenneosat yhteensä</b>	<b>1 323 159 €</b>	<b>934 384 €</b>	<b>1 250 003 €</b>	<b>919 310 €</b>
<b>Neliöhinta</b>	<b>686 €</b>	<b>485 €</b>	<b>648 €</b>	<b>477 €</b>

## Kustannusvertailut

Rakennusosat				EP Elementtipaalulaatta Teräsputkipaalut		EP Elementtipaalulaatta Betonipaalut		Kolmiolaatta Betonipaalut		Paikallavalulaatta Betonipaalut	
Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Yks. hinta	Määrä	Yhteensä	Määrä	Yhteensä	Määrä	Yhteensä	Määrä	Yhteensä
<b>Paalut</b>					<b>602 282 €</b>		<b>305 507 €</b>		<b>427 539 €</b>		<b>434 583 €</b>
Teräsputkipaalut											
1321.21	Teräsputkipaalu RR220/10,0 sisältää jatkokset ja kärjet	mtr	94,53 €	5 401	510 555 €						
1321.21	Paaluhattu, Teräsputkipaalu	kpl	177,40 €	333	59 075 €						
1321.21	Teräsputkipaalun betonointi C25/30	m3tr	192,07 €	170	32 652 €						
Teräsbetonipaalut											
1321.1	Teräsbetonipaalut PTL2 TB300b	mtr	39,53 €			5 401	213 479 €	8 049	318 160 €	9 757	385 648 €
1321.1	Teräsbetonipaalut paalujatkos TB300	kpl	81,22 €			333	27 046 €	482	39 147 €	603	48 934 €
1321.1	Paaluhattu, EP elementtipaalulaatta	kpl	195,14 €			333	64 982 €				
1321.1	Paaluhattu, kolmiolaatta	kpl	145,71 €					482	70 232 €		
<b>Kaivut ja täytöt</b>					<b>46 132 €</b>		<b>46 132 €</b>		<b>44 324 €</b>	*	<b>41 336 €</b>
1611	Maaleikkaus	m3tr	0,78 €	4 434	3 459 €	4 434	3 459 €	4 434	3 459 €	5 880	3 211 €
1832	Alkutäyttö	m3tr	9,93 €							1 370	9 520 €
2120	Eristyskerros	m3tr	9,38 €	3 832	35 943 €	3 832	35 943 €	3 639	34 135 €	3 639	23 894 €
2120	Tukikerros	m3tr	11,17 €	603	6 730 €	603	6 730 €	603	6 730 €	603	4 711 €
<b>Paalulaatta</b>					<b>361 631 €</b>		<b>361 631 €</b>		<b>482 338 €</b>		<b>225 844 €</b>
Paikalla valettu paalulaatta											
1326	Paalulaatan alusta, rakennusmuovi tai suodatinkangas	m2	0,49 €							1 928	950 €
1326	Paalulaatan muottityöt	m2tr	35,54 €							125	4 443 €
1326	Paalulaatan raudoitustyöt betoniteräs A500HW	kg	1,74 €							88 688	154 193 €
1326	Paalulaatan betonointityöt betoni C30/37	m3tr	82,08 €							723	59 343 €
Elementtirakenteinen paalulaatta											
1326	Elementtipaalulaatta, jälkivalubetoni *	m3tr	154,24 €	50	7 712 €	50	7 712 €				
1326	Paalulaatan raudoitustyöt betoniteräs A500HW *	kg	1,74 €	158 010	274 716 €	158 010	274 716 €	187 498	325 984 €		
1326	Elementtipaalulaatan betoni C35/45 sis. muotituksen, nostolenkit	m3tr	105,96 €	639	67 707 €	639	67 707 €	770	81 630 €		
1326	Kolmiolaatta, liitososat	kpl	198,00 €					319	63 228 €		
Varusteet											
1326	Paalulaatta, elementtirakenteinen siirtymälaatta	m2tr	86,44 €	80	6 915 €	80	6 915 €	80	6 915 €	80	6 915 €
1326	Paalulaatta, sähköratapylvään perustus	kpl	916,19 €	5	4 581 €	5	4 581 €	5	4 581 €	sis. Laatta	
Rakennesosat yhteensä					1 010 045 €		713 270 €		954 201 €		701 763 €
<b>Rakennuskustannukset sisältäen tilaaja- ja työmaatehtävät</b>					<b>1 323 159 €</b>		<b>934 384 €</b>		<b>1 250 003 €</b>		<b>919 310 €</b>
<b>Neliöhinta (sisältäen tilaaja- ja työmaatehtävät)</b>					<b>686,29 €</b>		<b>484,64 €</b>		<b>648,34 €</b>		<b>476,82 €</b>





