



# Teräspalkkisen laattakehäsillan tuotantotekniikat

Niklas Salmela

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma  
Infrarakentaminen

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma  
Infrarakentaminen

SALMELA, NIKLAS:  
Teräspalkkisen laattakehäsillan tuotantotekniikat

Opinnäytetyö 55 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Toukokuu 2022

---

Tampereen raitiotieallianssi rakentaa uutta Sepänkadun siltaa, jonka on määrä avautua liikenteelle elokuussa 2022. Erikoinen siltarakenne, siltapaikka ja pitkäkö rakennusprosessi loivat mahdollisuuden ja mielenkiinnon dokumentoida sekä tarkastella rakentamista ja sen aikaisia ratkaisuja jälkikäteen.

Opinnäytetyössä esiteltiin sillanrakentamisen prosessi työvaiheittain kronologisessa järjestyksessä siihen pisteeseen, kuin rakentaminen on kirjoittamishetkellä edennyt. Tarkoituksena oli tarkastella ja selittää työvaiheissa käytettyjä menetelmiä sekä tekniikoita niin kohteessa kuin yleiselläkin tasolla. Käytettyjen menetelmien onnistuneisuutta pyrittiin arvioimaan erityisesti toteutettavuuden kannalta. Työ toteutettiin yhteistyössä YIT Oyj:n kanssa.

Pääasiallisena tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä käytettiin tekijän omakohtaisia havaintoja sekä kokemuksia kohteella työnojohtoharjoittelijana. Toissijaisina tiedonkeruumenetelminä käytettiin myös kirjallisuuslähteitä sekä kohteella työskennellyn henkilöstön haastatteluja. Rakentamisprosessia dokumentoitiin muun muassa kuvin sekä erilaisten suunnitelmien ja laatudokumenttien avulla. Kokonaisuudeltaan rakentamisprosessia voidaan pitää onnistuneena. Onnistumiseen voidaan vaikuttaa suuresti työmaalla tehtävillä ratkaisuilla.

---

Asiasanat: kehäsilta, betoni, teräs, sillanrakennus, raitiotieallianssi

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Civil Engineering

SALMELA, NIKLAS:  
Production Techniques of a Steel -Beamed Frame Bridge

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 0 pages  
May 2022

---

Tampere tramway alliance is building the new Sepänkatu bridge, which should be finished and open to traffic in August 2022. The unusual structure and the tight spot of the bridge combined with a lengthy construction process offered a chance to document and evaluate the process and the used methods.

The bachelor's thesis presents the process of building the bridge in a chronological order stage by stage to the point in which the construction was at the time of writing. The intent was to review and explicate the methods and techniques used in the different stages of this construction process and in general as well. The used methods were reviewed especially through their practical feasibility in a site environment. The thesis was conducted in collaboration with YIT Corporation.

The main research method used in this thesis was the writers personal experience and observations on-site as a site supervisor trainee during the construction process. As secondary research method were the interviews conducted with professionals involved in the building of the bridge. The construction process was documented among other things by photos, blueprints and quality control documents.

As a whole, it can be stated that, the construction of the bridge was considered a success. This was due to succeeding in several stages during the process. By careful timetable planning it was possible to be more flexible between the stages of construction. However, it must be remembered that some risk due to the changing world situation is always present in construction business.

---

Key words: frame bridge, concrete, steel, bridge building, tramway alliance

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TAMPEREEN RAITIOTIEALLIANSSI .....	7
3	SEPÄNKADUN YLIKULKUSILTA .....	8
	3.1 Yleistä .....	8
	3.2 Siltapaikka .....	8
	3.3 Vanha silta .....	9
	3.4 Liittyvät rakenteet .....	10
4	RAKENTAMINEN .....	11
	4.1 Vanhan sillan purkamista edeltävät työt .....	11
	4.1.1 Tukiseinärakenne .....	11
	4.1.2 Suojaseinärakenne .....	12
	4.2 Vanha sillan purkaminen .....	14
	4.3 Sillan perustaminen .....	17
	4.3.1 Alustäytöt .....	18
	4.3.2 Louhinta .....	20
	4.4 Alusrakenteiden rakentaminen .....	21
	4.4.1 Peruslaattojen muotitus, raudoitus ja betonointi .....	21
	4.4.2 Kehäjalkojen ja siipimuurien muotitus, raudoitus ja betonointi .....	27
	4.4.3 Ympärystytöt .....	34
	4.5 Päälysrakenteiden rakentaminen .....	35
	4.5.1 Kansirakenteen muotitus, raudoitus ja betonointi .....	35
	4.5.2 Varusteiden asennus .....	42
	4.5.3 Vedeneristys ja siirtymälaatat .....	44
	4.6 Suoja- ja tukiseinärakenteen purkaminen .....	47
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	53
	LÄHTEET .....	54

## ERITYISSANASTO

Alajuoksu	Puurakenne, johon puurunko kiinnitetään
Antura	Rakenteen perustus
Arina	Perustuksen alustäyttö
H4b-kaide	Raskas tiekaide
Jigi	Rakentamisessa käytettävä muotti tai malli
Jälkivalukaista	Epätasaisen painuman mahdollistava rakenne
Kakkospinta	Jälkimmäisenä tehtävä muottilaudoitus
Kansi	Sillan päällysrakenteen osa
Kehäjalka	Sillan alusrakenteen osa
Koolaus	Kiinnittävä rakenneosa
KV-taso	Ratapölkyn pinnasta mitattava korkeustaso
Muottisiivu	Ponttilaudasta rakennettu elementtimuotti
Niska	Telinerakenteessa kantava vaakajuoksu
P-luku	Betonin pakkasenkestävyyttä ilmaiseva arvo
Pelkka	Sivuilta höylätty tai haketettu puutuote
Pontti	Lautamaisen kappaleen reunaosa, joka mahdollistaa kiinnityksen
Pulverointi	Murskausleualla tehtävä betonin hajottaminen
Rammerointi	Hydraulisella iskuvasaralla tehtävä betonin hajottaminen
Reevaus	Vinosidonta
Siipimuuri	Sillan alusrakenteen osa
t	tonni (1000 kg)
Takymetri	Maanmittauksessa käytettävä mittalaite
Tietomalli	3-ulotteinen digitaalisessa muodossa oleva sisältävä rakennelma
tm	tonnimetri
TRT	Tampereen raitiotie
Tuplaus	Kakkospinnan muottilaudoitus
Ykköspinta	Ensimmäisenä tehtävä muottilaudoitus
Vaakajuoksu	Vaakasuntainen puurakenne telineessä
Vibra	Suurtaajuusvibra

## 1 JOHDANTO

Tampereen raitiotieallianssi rakentaa Tampereelle uutta Sepänkadun siltaa. Silta on osa uutta rakenteilla olevaa raitiotielinjaa, jatkaen jo valmistunutta ja liikenteellä olevaa raitiotietä Pyyrikintorilta länteen päin. Uusi silta on liittorakenne ja tyypiltään teräspalkkinen laattakehäsilta. Sillan tilaajina ovat Väylävirasto sekä Tampereen kaupunki, suunnittelusta on vastannut Sweco Finland Oy ja pääura-koitsijana toimii YIT Suomi Oy.

Muun muassa sillan tulevaisuudessa ylittävä ja nykyisellään alittava liikenne sekä haasteellinen siltapaikka ovat edellyttäneet luovia sekä epätavanomaisiakin ratkaisuja niin suunnittelun kuin rakentamisenkin osalta. Tämä loi oivan mahdollisuuden dokumentoida ja arvioida käytettyjä menetelmiä. Työn pääasiallisena tarkoituksena on tarkastella sillan rakentamisen aikaisia ratkaisuja työmaan pääura-koitsijan ja työnjohdon näkökulmasta. Käytettyjen menetelmien sekä ratkaisujen onnistuneisuutta arvioidaan toteutettavuuden onnistuneisuuden kannalta. Esiin on tarkoitus nostaa erityisesti onnistuneita työsuorituksia, sekä kertoa eri työvaiheiden toteutuksesta yleiselläkin tasolla.

Tutkimusmenetelminä käytetään kirjoittajan omakohtaisia kokemuksia kohteen työnjohdossa, haastatteleamalla rakentamiseen osallistuneita henkilöitä sekä viitataan kirjallisuuslähteisiin.

Sillan rakentaminen on vielä kesken työn kirjoitushetkellä, liikenteelle avaamisen tavoitteena ollen elokuu 2022.

## 2 TAMPEREEN RAITIOTIEALLIANSSI

Allianssin muodostavat tilaajaosapuolet Tampereen kaupunki ja Tampereen Raitiotie Oy sekä palveluntuottajaosapuolet NRC Group Finland Oy, Sweco Finland Oy, YIT Suomi Oy ja AFRY Finland Oy. Yhdessä nämä muodostavat yhteistointamallin, missä tarkoituksena on sitouttaa hankkeen eri osapuolet mukaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Allianssimalliin kuuluu olennaisesti haasteiden, riskien sekä onnistumisten jakaminen niin tilaajan, suunnittelijoiden kuin rakentajien kesken. Allianssimalli sopii hyvin Tampereen raitiotien toteutusmalliksi, koska rakentamisen todellisia kustannuksia voidaan määrittää tarkasti jo ennen rakentamispäätöstä. (Kysymyksiä ja vastauksia n.d.).

Raitiotieallianssi rakentaa Tampereen raitiotien kahdessa vaiheessa. Osa 1, joka käsittää raitiotielinjat Pyynikintori-Hervanta ja Tays-Hatanpään valtatie, rakennettiin vuosina 2017–2021 ja liikennöinti tällä osalla alkoi 9.8.2021. Kuviossa 1 keltaisella esitetty Osa 2 rakennetaan kahdessa vaiheessa (2A ja 2B) niin, että liikennöinti osalla 2A Pyynikintori-Santalahti voidaan aloittaa vuonna 2023 ja osalla 2B Santalahti-Lentävänniemi voidaan aloittaa vuonna 2024.



KUVIO 1. Raitiotielinjan rakentamisen vaiheet (Tampereen raitiotie n.d.)

### **3 SEPÄNKADUN YLIKULKUSILTA**

#### **3.1 Yleistä**

Sepänkadun ylikulkusilta S41 on uusi silta, jota rakennetaan vanhan sillan paikalle. Se on rakentuvan raitiotien osa 2:n ensimmäinen siltakohde nykyiseltä päätepysäkiltä Pyynikintorilta päin lähestyttäessä. Suunnittelu noudatti vuonna 2014 tehtyä Tampereen raitiotien yleissuunnitelmaa, pitäen sisällään uuden sillan suunnitelmat, maadoitussuunnitelmat, sähköratamuunnokset, uusien tukimuurien suunnitelmat ja raitiotien katu- ja raitiotiesuunnitelmat. Väylävirasto on rakennushankkeen osapuoli, vaikka ei kuulukaan allianssiin, koska silta sijaitsee sen hallinnoimalla rata-alueella. Sillan uusiminen tuli ajankohtaiseksi, koska vanha silta ei olisi ollut mitoiltaan ja rakenteeltaan riittävän kantava mahdollistamaan raitiotien rakentamisen sillan päälle. Raitiotieyhteyden toteuttaminen vaatii myös tukimuurirakenteita, jotka voidaan toteuttaa samassa yhteydessä. Uuden sillan tulee ylittämään niin raitiotie-, auto- ja kevyt liikenne. Sillan uusiminen mahdollistaa myös tilavarauksen kolmannelle rautatieraitteelle nykyisten raiteiden pohjoispuolelle. (Raitiotieallianssi).

#### **3.2 Siltapaikka**

Siltapaikka on Tampereella Amurin kaupunginosassa, liittyy Sepänkadulta Paa-sikivenkadulle ja sijoittuu rataosalle Tampere-Seinäjoki ratakilometrillä 1910+098 linjalla Tampere-Lielähti ja se esitetään kuvassa 1. Uusi silta rakentuu karkeasti samalle paikalle kuin vanha silta, ollen kuitenkin jännemitaltaan pidempi sekä hyödylliseltä leveydeltään huomattavasti leveämpi. Sijainti on rakentamisen kannalta haasteellinen, sillä alitse kulkeva rautatie on vilkasliikenteinen. Keskimääräiset junamäärät arkipäivänä ovat noin 44 henkilöjunaa ja 20 tavarajunaa. Siltapaikka on myös asuinrakennusten ympäröimä Sepänkadun puolella ja sen alla kulkee vuonna 2016 avattu Tampereen Rantatunneli. (Raitiotieallianssi).

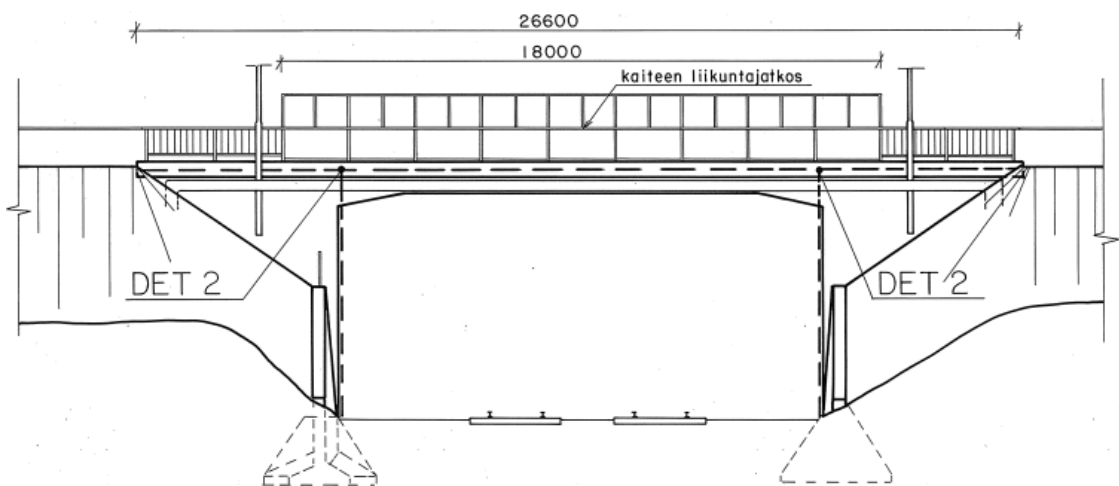




KUVA 1. Siltapaikka ympyröitynä punaisella (Tampereen kaupunki n.d.).

### 3.3 Vanha silta

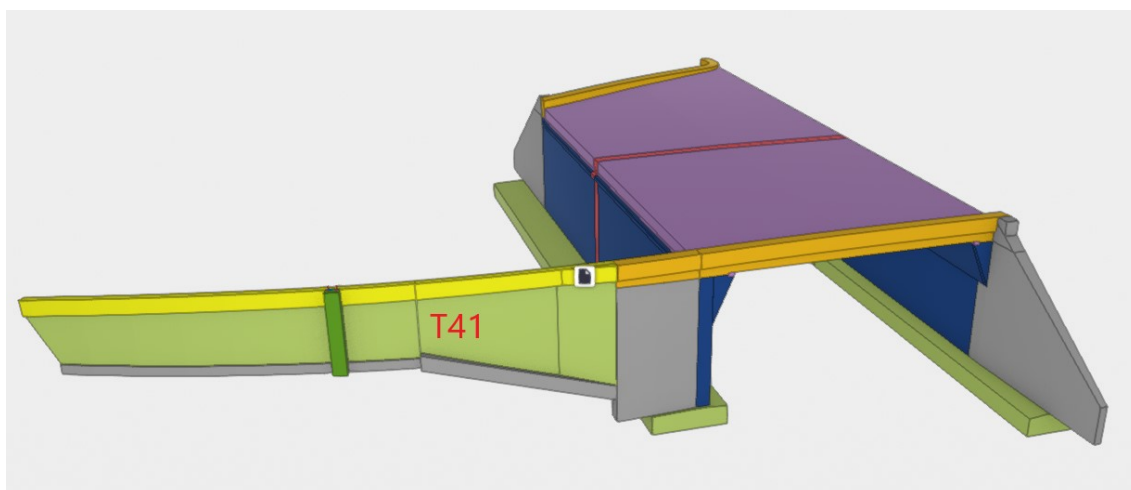
Vanha Sepänkadun silta esitettyä kuviossa 2, oli tyypiltään teräsbetoninen niveljalkainen laattakehäsilta. Sillan valmistumisvuosi oli 1963 ja se oli perusparannettu vuonna 1995. Sen kokonaispituus oli 26,60m ja kokonaisleveys 15,60m. Vuonna 2012 tehdyn yleistarkastuksen mukaan sillan yleiskunto oli hyvä. (Perusraportti 2017).



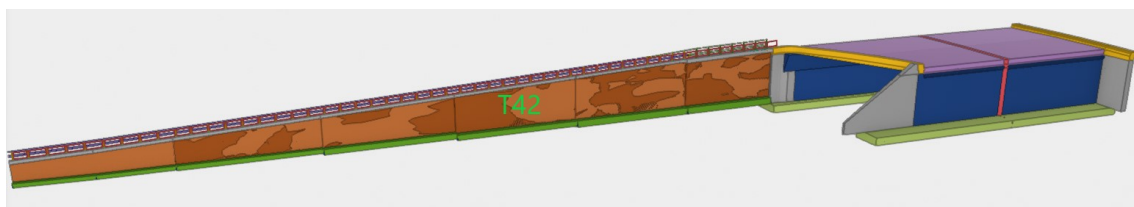
KUVIO 2. Sepänkadun vanha silta (Raitiotieallianssi).

### 3.4 Liittyvät rakenteet

Uuteen siltaan liittyy sen kaakkois- ja luoteiskulmista erilliset tukimuurirakenteet T41 sekä T42, jotka ovat esitettynä kuvioissa 3 ja 4. Molemmat tukimuurit toteutetaan sillan kanssa samassa yhteydessä. Molempien tukimuurien betonirakenteet valmistuivat maaliskuuhun 2022 mennessä.



KUVIO 3. Tukimuuuri T41 tietomallissa liitettynä uuteen siltaan (Trimble Connect).



KUVIO 4. Tukimuuuri T42 tietomallissa liitettynä uuteen siltaan (Trimble Connect).

## 4 RAKENTAMINEN

Rakentamismenetelmien selostaminen sekä tarkastelu on luonnollisinta tehdä kronologisessa aikajärjestyksessä alkaen sillan purkamista edeltävistä valmistelevista työvaiheista edeten nykytilanteeseen.

### 4.1 Vanhan sillan purkamista edeltävät työt

Jotta purkutyöt kyettiin toteuttamaan turvallisesti sekä junaliikennettä häiritsemättä, rakennettiin siltatyömaan kohdalle suojarakenne eristämään junarata työmaasta. Siltatyömaan kohdalle rakennettiin myös noin 300 metrin pituinen erotusjakso, eli radan sähköistys siirrettiin kulkemaan pintavetona muovisissa suo-japutkissa. Näin radan ajolangat saatiin sähköttömiksi. Tämä kuitenkin aiheutti sen, että työmaan kohdalla junien täytyi rullata vapaalla erotusjakson matkalla. Lielahden suunnasta saavuttaessa tämä ei aiheuttanut ongelmia koska rata on loivaa alamäkeä Tampereelle päin. Toisinaan raskaat tavarajunat taas eivät päässeet erotusjakson ylitse toiseen suuntaan, koska kiihdytysmatka Tampe-reelta päin liikkeelle lähdettyäessä ei riittänyt keräämään tarpeeksi vauhtia.

#### 4.1.1 Tukiseinärakenne

Tukiseinärakenne koostui RD170/10-luokan porapaaluista, teräsponteista sekä Dywidag -vetoankkureista. Työ alkoi teräspaalujen porauksella ratapenkan ulko-reunaan. Paalut porattiin 4xD syvyydelle kallioon tai niissä kohdissa, joissa arvi-oiitiin olevan tarvetta louhinnalle, vähintään metriä syvemmälle suunnitellusta lou-hintatasosta. Ponttiseinä asemoitiin niin, että porapaalu tuli aina ponttiseinän si-sälappaan. Paalut toimivat näin samalla osin tai kokonaan ponttiseinän alapään tukena, koska ne hitsattiin yhteen lattarautoja käyttäen. Pontin yläpäähän kiinni-tettiin ankkuripalkki, joka sitoi ponttien yläpäättä ja johon vetoankkurit tukeutuivat. Vetoankkurit asennettiin kulkemaan ratapenkassa noin ratapölliön alapinnan kor-keudella muovisessa suo-japutkessa, joka eristi ne raidepiiristä. Paalujen yläpääät katkaistiin vielä määrätystä korosta, jonka päälle asennettiin teräspalkki

tarkoituksenaan toimia liuku- ja tukipalkkina tukiseinän päälle rakennettavalle suojaseinälle.

#### 4.1.2 Suojaseinärakenne

Suojaseinärakenne koostui vanerilevyillä peitetyistä teräsristikkoelementeistä. Yksi suojaseinäelementti koostui kolmesta teräsristikosta, kahdesta seinäelementistä ja yhdestä kattoelementistä. Nämä teräsristikot koottiin suojaseinäelementeiksi pulttiliitoksin vasta työmaalla kuljetuksen helpottamiseksi. Kokoamista varten tehtiin kuvassa 2 näkyvä kasausjigi, johon seinäelementit kyettiin pystyttämään katon asemoimiseksi.



KUVA 2. Teräsristikot kasausjigissä.

Kuvassa 3 kokoamisen jälkeen suojaseinäelementti nostettiin mobiilnosturilla junaradan yli aiemmin tehdyn tukiseinärakenteen liukupalkkien varaan. Kaikki nostot junaradan päällä toteutettiin liikenteen ehdoilla niin, että rataturvavastaavan pätevyys omaava henkilö otti työlupia nostoille liikenteenohjauksesta. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että nostoja suoritettiin vain, kun linjaosuudella ei ollut junia. Suojaseinäelementtien asemointi sillan alle toteutettiin siten, että nostot tehtiin samaan kohtaan, mutta elementit vinssattiin liukupalkkien varassa oikealle kohdalle. Vinssit sijoitettiin liukupalkkien vastakkaiseen päähän. Tämä oli ainoa tapa, sillä suojaseinärakenne täytyi mahtuttaa radan ajolankojen sekä sen aikaisen siltakannen väliin.



KUVA 3. Suojaseinäelementti laskettuna liukupalkkien päälle ennen vinssausta.

Suojaseinäelementtejä tehtiin paikalle 14 kappaletta. Rakennettu tunneli oli huomattavasti leveämpi kuin vanha silta, sillä sen täytyi palvella myös uuden sillan aikaista rakentamista.

## 4.2 Vanha sillan purkaminen

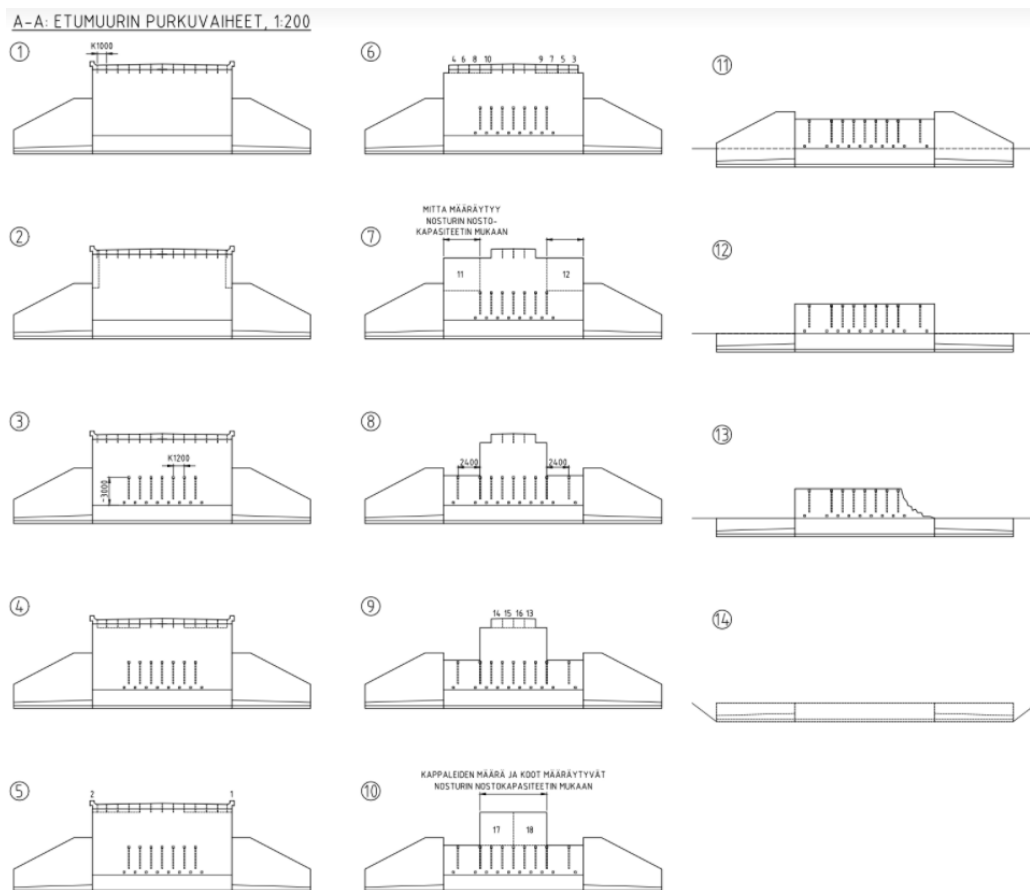
Sillan paikalleen purkaminen, eli esimerkiksi rammeroimalla taikka panostamalla hajottaminen ei ollut vaihtoehto, koska siitä olisi aiheutunut liian suuri haitta juna-liikenteelle betonijätteen varistessa rata-alueelle. Tarkoituksenmukaisimmaksi menetelmäksi valittiin sillan sahaaminen paikallaan pienemmiksi palasiksi, jotka voidaan yksitellen nostaa pois. Haasteita ja riskejä sahaus- ja nostoyöhön toi purkujärjestyksen suunnittelu niin, että silta tai sen osat eivät kaadu taikka putoa junaradalle, aiheuttaen pahimmillaan suuronnettomuuden. Alla esitettyinä purun vaiheet sanallisesti sekä rautalankamallina kuvioissa 4 ja 5.

### PURKUTYÖ TEHDÄÄN SEURAAVASSA JÄRJESTYKSESSÄ:

#### ENNEN SILLAN PURKUTYÖTÄ:

- RAKENNETAAN RADAN SUOJAKEHIKKO JA RADAN TERÄSPONTTISEINÄT.
  - KAIVETAAN SILLAN ETUMUURIT NÄKYVIIN PITUUSLEIKKAUKSEN MUKAISESTI.
  - MÄÄRITETÄÄN NOSTETTAVIEN KAPPALEIDEN PAINO.
  - PORATAAN JOKAISEEN NOSTETTAVAAN KAPPALEESEEN VÄHINTÄÄN 2 NOSTOREIKKÄÄ.
  - VARMISTETAAN NOSTOPETIEN KANTAVUUS SEKÄ NOSTUREIDEN NOSTOULLOTTUMAT JA NOSTOLINJAT.
1. SAHATAAN KANSILAATTA PITUUSSUUNTAISIIN LOHKOIHIN. LOHKOJA EI SAHATA VIELÄ IRTI ETUMUUREISTA.
  2. SIIPIMUURIT KYTKETÄÄN NOSTURIIN, SAHATAAN IRTI JA NOSTETAAN POIS SILLAN MOLEMMIN PUOLIN.
  3. ASENNETAAN ELEMENTTITÖNÄRIT SILLAN KESKIOSAAN ETUMUURIN JA PORAPAALUJEN VÄLILLE NOIN K1200. ASENNETAAN MUURIN JUUREEN VAAKATÖNÄREINÄ TOIMIVAT PUUPALKIT
  4. TEHDÄÄN VAAKASAHAUSET ETUMUURIN JA KANSILOHKOJEN VÄILLÄ:
    - A) REUNAPALKEJA EI SAHATA VIELÄ IRTI!
    - B) IRTISAHAUS 4+4 KANSILOHKOJA REUNAPALKIN JA KESKIKANNAKSEN VÄLISTÄ.
    - C) KESKIKANNAKSEN 4 KANSILOHKOJA JÄTETÄÄN VIELÄ SAHAAMATTA.
  5. REUNAPALKKIEN IRTISAHAUS JA NOSTO
    - A) LIELAHDEN PUOLEINEN LÄNTINEN PALKKI ENSIN.
    - B) REUNAPALKKI KYTKETÄÄN NOSTURIIN ENNEN SAHAUSTA.
  6. KANSILOHKOJEN 4+4 NOSTOT. KESKIKANNAS JÄÄ VIELÄ PAIKOLLEEN.
  7. ETUMUURIN REUNIMMIASTEN KAPPALEIDEN SAHAUS JA NOSTO.
  8. LÖPUT ELEMENTTITÖNÄRIT ASENNETAAN PAIKALLEEN SILLAN ETUMUURIN JA PORAPAALUJEN VÄLILLE K2400.
  9. KESKIKANNAKSEN KANSILOHKOJEN IRTISAHAUS JA NOSTOT.
  10. MUURIN KESKIPALOJEN SAHAUS JA NOSTO.
  11. KAIVETAAN ETUMUURIN TAUSTATÄYTÖT POIS ANTURAN YLÄPINTAAN ASTI.
  12. TUKIMUURIN PULVEROINTI.  
TUKIMUURIN JA ETUMUURIN VÄLINEN PONTTISAUMA ESTÄÄ ETUMUURIN KAAATUMISEN.  
TOISEN REUNAN TUKIMUURI SUOSITELLAAN PURETTAVAKSI VASTA ETUMUURIN JÄLKEEN. KOSKA SE PITÄÄ ETUMUURIA PYSTYSSÄ, KUN ELEMENTTITÖNÄRIT JOUDUTAAN POISTAMAAN MUURIA PURETTAESSA.
  13. RAMMEROIDAAN MUURI LÄHTIEN LIIKKEELLE TOISESTA PÄÄSTÄ. TÖNÄREITÄ POISTETAAN PURKUTYÖN EDESSÄ. MUURIN KAAATUMISRISKI ON SUURIMMILLAAN, KUN VIIMEINEN ELEMENTTITUKI POISTETAAN. MUURIN PURUN VIIMEISET VAIHEET ON SUUNNITELTAVA HUOLELLISESTI.
  14. ANTURA PURETAAN RAMMEROIMALLA SE PAIKALLEEN.

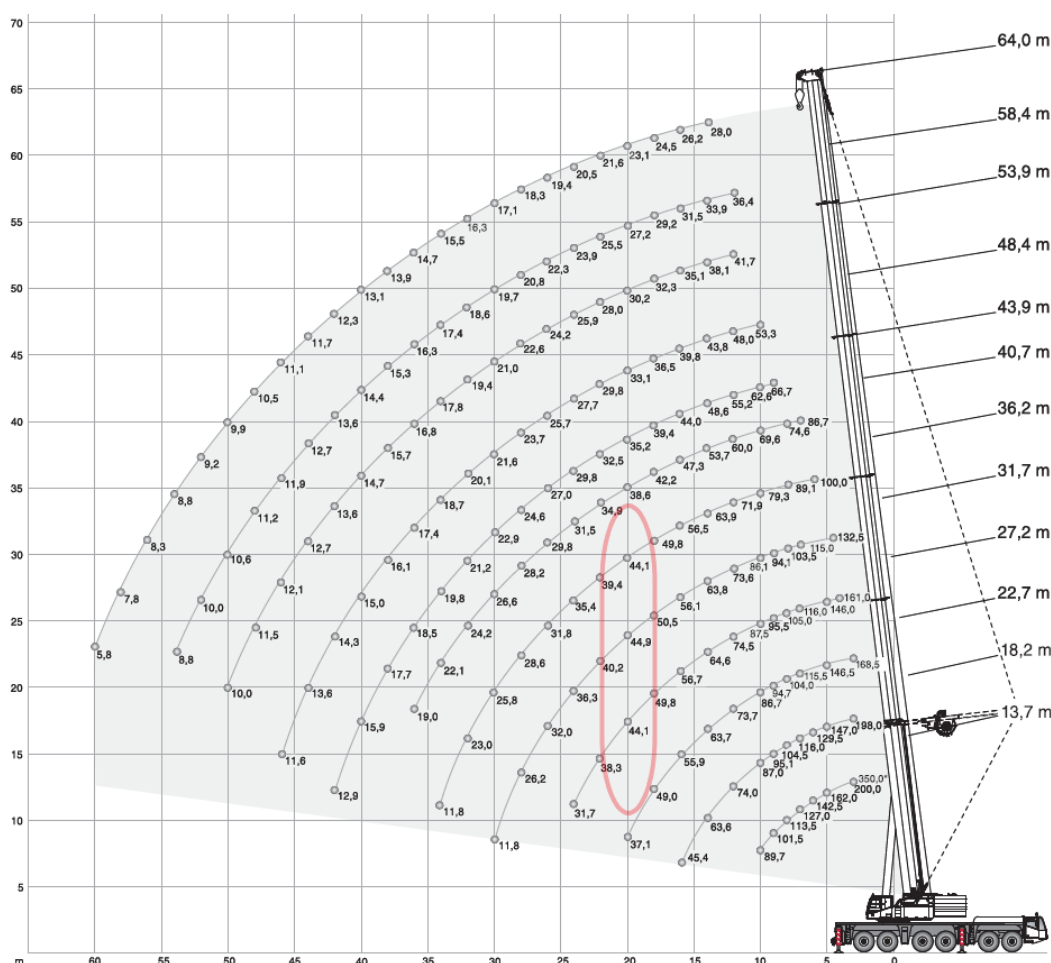
### KUVIO 5. Purkutyön järjestys (Raitiotieallianssi n.d.).



KUVIO 6. Purkutyön järjestys kuvitettuna (Raitiotiellianssi n.d).

Alkuperäisen purkusuunnitelman mukaan vain sillan kannesta sahattavat palkit olisi poistettu nostamalla ja etumuurit siipimuureineen olisi pulveroitu ylhäältä alaspäin. Tästä jouduttiin kuitenkin luopumaan, sillä muurin paksuuden vuoksi pulverointikoneen leuka ei saanut siitä otetta ja rammerointi ei tullut kyseeseen mahdollisesti sinkoutuvien betonikappaleiden vuoksi. Nostoja varten kapasiteetiltaan sopivaksi määritettiin 350tm mobiilinoshuri, koska nostettavien kappaleiden painoiksi arvioitiin noin 30-40t kg nostomatkan ollessa noin 20 metriä. Mobiilinoshurin kapasiteetit esitetty kuviossa 7. Nostomatka kuitenkin piteni muutamalla metrillä, kun molempien etumuurien yläosat päätettiin myös sahata ja nostaa irti. Tämä johti siihen, että yhdeltä puolelta siltaa nostaessa valitun mobiilinoshurin kapasiteetti ei välttämättä olisi ollut riittävä nostamaan etumuurin palasta sillan toiselta puolelta. Sen sijaan, että etumuuria olisi ryhdytty sahaamaan pienemmiksi palasiksi nostojen onnistumiseksi, päätettiin etumuurien palasten nostot suorittaa kultakin puolelta siltaa erikseen. Päädettiin valitsemaan alun perinkin suunniteltu 350tm mobiilinoshuri toiselle sekä pienempi 200tm mobiilinoshuri

toiselle puolelle siltaa. Näin säästyttiin 4–5 betonilohkon nostolta junaradan yli sekä nostot saatiin suoritettua ajallisestikin nopeammin.



KUVIO 7. Terex AC 350/6 nostokapasiteetit. (Terex 2010)

Alkuperäisessä purkusuunnitelmassa nostopaikaksi oli määritelty sillan pääty Sepänkadun puolella. Tätä jouduttiin kuitenkin myös muuttamaan purkutyön edetessä, koska heräsi huoli kevennyskaivuun luiskan stabiliteetista nosturin tassukuorman alla. Sen sijaan, Sepänkadun puolelle sijoitettiin pienempi 200tm mobiilnosturi ja vanha katu leikattiin auki syvemmältä, jotta kevennyskaivuun luiskan pituutta saatiin lyhennettyä.

Koska painavien betonikappaleiden pois kuljettaminen kokonaisuutena olisi vaatinut kapasiteetiltaan ison kuljetusyhdistelmän, betonit pulveroitiin pienempiin osiin paikan päällä nostojen jälkeen. Tätä varten molemmiin puoliin siltaa varattiin riittävän isot alueet, jossa oli mahdollista työskennellä pulverointikoneella aiheuttamatta haittaa ympäristöön. Pulveroinnista ympäristön aiheutuvat haitat ovat



melu, pöly sekä mahdollisesti sinkoilevat betonimurskeet. Näistä erityisen suureen rooliin nousi pölynhallinta, koska pulverointia tehtiin kuivaan aikaan keski-kesällä. Yksinkertaisin tapa estää pölyn leviäminen ympäristöön on kastella pulveroinnin kohdetta ja näin sitoa muuten leijailevaa pölyä veteen. Tähän tarkoitukseen soveltui mainiosti lumitykki, joka hajottaa vesipisarot pieneksi sumuksi ja ampuu ne ympäristöön paineilman avulla. Vesisumu sitoi näin ollen ilmassa olevaa pölyä estäen sen leviämisen, joka näkyy kuvassa 4. Kun sahattavat ja nostettavat sillan osat oli purettu purkusuunnitelman mukaisesti, loput betoniosat rammeroitiin ja pulveroitiin paikalleen.



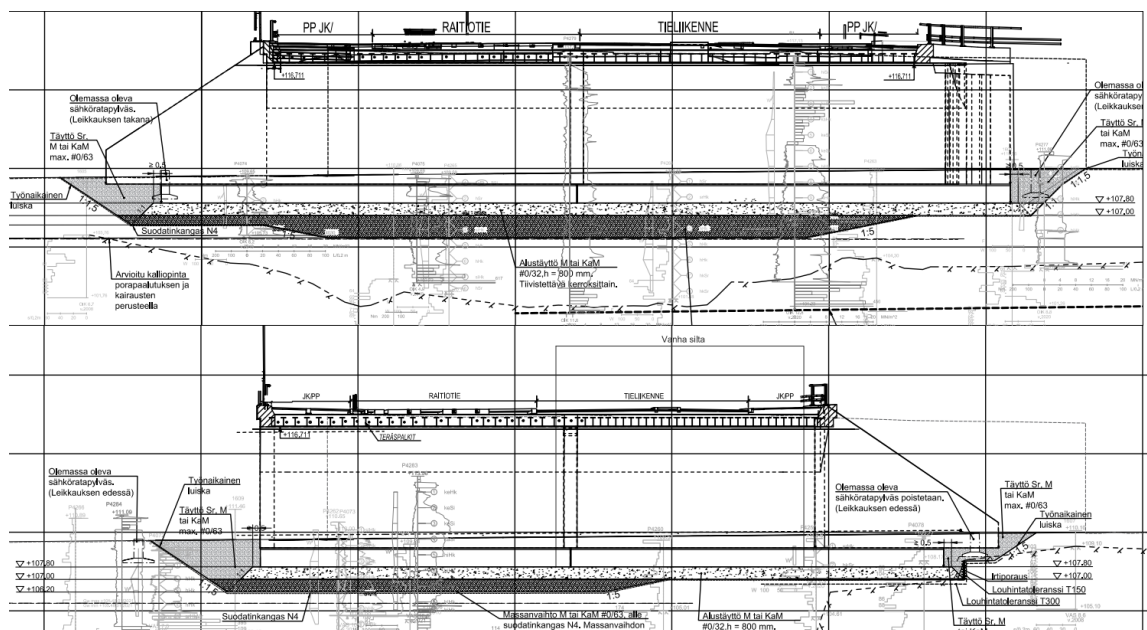
KUVA 4. Betonikappaleiden pulverointi käynnissä.

### 4.3 Sillan perustaminen

Riittävän tukevat pohjarakenteet ehkäisevät ja estävät epätoivottuja painumia valmiissa rakenteessa, joten sillan alueella oli tarpeellista suorittaa maarakennustöitä sillan perustamiseksi.

### 4.3.1 Alustäytöt

Ennen varsinaisen anturan alle tulevan arinan rakentamista osalle alueesta molemmin puolin siltaa tehtiin massanvaihtoa anturalinjalle. Pohjaolosuhteet vaihtelivat sillan eri puolilla. Sepänkadun puolella kalliopinta oli paikoitellen hyvin lähellä nykyistä maanpintaa, kun Paasikivenkadun puolella pohjamaa oli pääsääntöisesti pehmeämpää savea sekä hiekkaa. Massanvaihto oli syvyydeltään noin 0,8... 1,4 metriä yläpään ollessa korossa +107,00. Alustäyttöjen pituusleikkaukset on esitetty kuviossa 8. Tämä tarkoitti sitä, että tuleva massanvaihtokaivanto sijoittui reilusti junaradan kv-tason (noin +109,60) alapuolelle, aiheuttaen haasteen ratapenkan stabiileetille. Myös pohjaveden taso alueella (+105,20) täytyi ottaa huomioon, koska massanvaihtotyöt oli tarkoitus tehdä kuivaan kaivantoon. (Raitiotieallianssi n.d.).



KUVIO 8. Alustäyttöjen pituusleikkaukset, ylempänä sillan pohjoispuoli (Raitiotieallianssi).

Jotta nykyiset raiteet säilyivät liikennöitävässä kunnossa ilman merkittäviä siirtymiä tukiseinärakenteesta huolimatta, massanvaihtokaivuu päätettiin toteuttaa lamellikaivuuna siten, että työstettävällä puolella oleva raide ei ole kaivannon auki ollessa liikennöitynä. Tämä onnistuu kyseisellä linjaosuudella vain liikenteen hiljaisempien tuntien aikaan eli yöllä. Junaliikenteeseen vaikuttavat ratatyöt tulee ilmoittaa JETI-järjestelmässä pääsääntöisesti noin 2 viikkoa ennen suunniteltua vaikutusta. Tästä johtuen työvaiheen suunnitteluun ja huolelliseen toteutukseen

oli kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä suunnitellun aikataulun venyessä vaikutukset eivät koske pelkästään kyseessä olevaa työmaata vaan tässä tapauksessa myös läpikulkevaa junaliikennettä. Lamellikaivuu toteutettiin 5 metrin lamelleissa ja täyttö 300mm kerroksissa huolellisesti tiivistäen luokan N4 suodatin kangas pohjalla suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti. Kuvassa 5 käynnissä alustäytön tiivistys maantiivistäjillä.



KUVA 5. Massanvaihto käynnissä.

Suunnitelma-asiakirjoista poiketen massanvaihto saatiin toteuttaa max. 0/90mm raekoon murskeella max. 0/63mm sijaan. Massanvaihdon jälkeen alustäyttöjä tehtiin vielä paksuudeltaan 800mm olevan arinan muodossa, joka myös

suunnitelma-asiakirjoista poiketen toteutettiin max. 0/63mm raekoon murskeella. Arina täytettiin ja tiivistettiin vaatimusten mukaisesti 250mm kerroksissa, jättäen kuitenkin viimeistä edellinen kerros täyttämättä. Tämä siitä syystä, että perustusten alaisten täyttöjen vaatimuksenmukaisuus täytyi osoittaa levykuormituskokein toisen tiivistettävän kerroksen sekä valmiin alustäytön päältä. Ensimmäisten levykuormituskokeiden E2 vähimmäisvaatimus oli 135 MN/m<sup>2</sup> ja suhteen E2/E1 oltava < 2,1. Valmiin alustäytön päältä tehtävien levykuormituskokeiden minimivaatimuksena oli E2 vähintään 175 MN/m<sup>2</sup> ja E2/E1 suhteen < 2,2. Eräät valmiin pinnan päältä mitatut levykuormituskoe tulokset ovat esitettynä kuviossa 9.

Tulokset	Maksimikuormitus	InfraRYL 30/70	Tulos OK?
E1[MN/m <sup>2</sup> ]	113.8	135.5	
E2 [MN/m <sup>2</sup> ]	130.0	187.2	ok
E2/E1	1.14	1.38	ok

KUVIO 9. Ote levykuormituskokeen pöytäkirjasta (Raitiotieallianssi n.d.).

Molempien anturoiden alustäytön arvioitiin kestävän noin yhden työviikon verran. Tässä aikataulussa pysyttiin, sillä esimerkiksi resurssit mitoitettiin oikein, jolloin työryhmän toiminta oli jouhevaa ilman pidempiä odotusaikoja. Onnistumiseen vaikutti myös positiivisesti se, että pohjavesi ei aiheuttanut ongelmia kaivannon syvimmissäänkään kohdissa, eikä kaivantoa jouduttu näin ollen kuivattamaan ja pitämään kuivana pumppaamalla.

#### 4.3.2 Louhinta

Koska kalliopinta on siltapaikan ympäristössä melko lähellä maanpintaa, oli tarve suorittaa louhintaa Sepänkadun puoleisen peruslaatan paikoilleen saamiseksi. Louhintaa ei kuitenkaan voitu täysimääräisesti suorittaa panostamalla, sillä se olisi voinut vahingoittaa tukiseinärakennetta sekä junarataa. Näiden lisäksi räjäytyslouhinnassa tuli ottaa huomioon ympäröivät kiinteistöt sekä alapuolella kulkeva rantatunneli. Räjäyttämisen suoritettiin riittävän pienillä panostusmäärillä, jotta ympäristöstä mitatut värinät eivät ylittäneet sille asetettuja raja-arvoja. Aivan tukiseinärakenteen viereinen kallio louhittiin poravaunulla kiilaamalla, jota kuvassa 6 tehdään. Tämä oli varsin hidasta verrattuna räjäyttämiseen, mutta tarpeellista.



KUVA 6. Kallion kiilausta tukiseinän vierestä.

#### 4.4 Alusrakenteiden rakentaminen

Kehäsillan alusrakenteisiin kuuluvat peruslaatat, kehäjalat ja siipimuurit. Näiden rakentaminen käydään läpi seuraavassa kappaleessa.

##### 4.4.1 Peruslaattojen muotitus, rauditus ja betonointi

Peruslaatan muotitus aloitettiin mittaamalla nurkkapisteet maastoon takymetrillä muotin asemoimiseksi. Ajan säästämiseksi ja muottityön helpottamiseksi peruslaatan seinämämuotit valmisteltiin etukäteen muottisiivviksi, jonka jälkeen ne oli helppo vain nostella ja tukea paikalleen. Kuvassa 7 muottisiivut koottuna. Koska kohteella ja hankkeella valetaan useita samankaltaisia peruslaattoja, tämä on myös hyvin kustannustehokas ratkaisu, sillä oikein purettuna näitä siivuja pystytään kierrättämään myös tulevissa muotituksissa. Tärkeää muottisiivujen asentamisessa oikean sijainnin lisäksi on myös niiden tukeminen riittävän hyvin paikalleen johtuen betonin valupaineesta. Alareunan tukeminen tapahtuu lankusta tehdyn alajuoksun avulla, joka ankkuroidaan maahan esimerkiksi alumiini- tai

teräsvaarnoilla. Siivun yläosa on helpoin tukea reevaamalla se sopivaan ympäristöstä löytyvään esteeseen taikka niiden puutteessa esimerkiksi betonipainoon. Muottityöhön kuuluu myös alumiinisurrien, eli alumiinisten vetotankojen asennus. Vetotangot vedetään joko muotin läpi tai kiinnitetään raudoitukseen ja tarkoituksena on vahvistaa muottia, jotta se ei ratkea valupaineesta johtuen. Kiinnitys ja kiristys tapahtuu muottia vasten erityisillä muottilukoilla sekä raudoitukseen vaijerilukoilla. Koska surrit tulevat ulos muotista, niiden on oltava ruostumatonta materiaalia, jotta korrosio ei pääse tunkeutumaan niiden kautta betonirakenteen sisään valun jälkeen. Hyvän korroosionkestävyyden lisäksi alumiinilla on suuri vetolujuus ja se on kevyttä käsitellä, tehden siitä mainion materiaalin tähän käyttötarkoitukseen. Matalien liikuntasaumojen erotukseen hyväksi keinoksi on havaittu XPS-eristeen käyttäminen, sillä sen poistaminen betonin kovetuttua on kohtalaisen helppoa. Tulevan betonointityön helpottamiseksi on myös kätevää merkata muotin sisäpintaan haluttu valukorkko, jolloin nähdään tarkasti halutun betonirakenteen yläpinta betonoitaessa. Muotinpurkutyön helpottamiseksi muotit sivellään myös erityisellä muottiöljyllä, jotta puumuotti ei tarraudu liikaa kiinni betoniin.



KUVA 7. Peruslaatan muottitustyötä.

Betonipeitteen minimivaatimus peruslaatan alapinnassa oli 100mm, joten raudoituksen alaverkko tuli nostaa vähintään sen verran ylös arinan pinnasta. Tässä

käytettiin rikottuja paksuudeltaan 100mm olevia betonikiviä sijoiteltuna sopivalle etäisyydelle toisistaan, koska ne voivat jäädä tulevan betonivalun sisään ja jaksavat kantaa niiden päälle tulevan raudoituksen painon. Raudoitus eteni luonnollisesti muotin pohjalta ylöspäin alapinnan teräksistä yläpinnan teräksiin ja tartuntoihin, jotka tulevat ulos muotista kuvassa 8. Muihin rakenteisiin liittyvät raudoitteet eli tartunnat asemoitiin oikealle paikalle mittamiehen avustuksella. Työn joutavuuden kannalta oleellista on, että seuraavana tarvittavat raudoitteet ovat sijoitettuna tarpeeksi lähelle muottia ja raudoitukseen on varattu riittävästi henkilöresursseja. Koska varsinkin pitkät ja paksut teräkset ovat painavia käsitellä, on tehokkaampaa ja vähemmän kuluttavaa siirtää niitä koneellisesti taikka useamman käsiparin voimin. Raudoitteiden sidonta toisiinsa tapahtuu rautalangoilla joko käsin tai koneellisesti.



KUVA 8. Raudoitettu peruslaatta.

Jokaisen rakenneosan raudoituksen valmistuttua sille täytyy pitää raudoitustarkastus sekä laatia tästä raudoitustarkastuspöytäkirja ennen betonointia laadunvarmistamiseksi. Kyseisellä hankkeella raudoitustarkastuksen suoritti pääsääntöisesti kohteen työnjohto. Raudoitustarkastuksessa tarkastellaan raudoitteiden suojaetäisyyksiä, positoiden oikeellisuutta ja sijaintia toisiinsa nähden sekä jatkospituuksia. Mikäli näistä löytyy huomautettavaa, on asia korjattava ennen betonointia. Raudoituspöytäkirjan malli on vapaamuotoinen, josta esimerkkinä kyseisellä hankkeella käytössä oleva pöytäkirjapohja esitettyä kuviossa 10.

RAITITIEALLIANSSI		RAUDOITUSTYÖVAIHEEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA									
KOHDE		LAATINUT								ASENNUSLIIKE	
RAKENNEOSA		PVM									
TARKASTETTAVAT ASIAT	OHJEARVO	RAAJA-ARVOT		VIITE	OKEIN	VÄÄRIN	MITT. LKM	MITTAUSTULOKSET			
	+ / -	ALEMPI	YLEMPI								
1	SUOJAETÄISYYS alapinta Tarkistetaan silmämääräisesti, sekä mitaamalla tarvittaessa	100	+ 25	75	125	SFS-EN 12670	OK				
	- 25			10.6							
2	SUOJAETÄISYYS muualla Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	60	+ 5	45	55	SFS-EN 12670	OK				
	- 5			10.6							
3	ALAPINNAN pituusuuntaisten terästen keekkinäinen etäisyys ja sijainti Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	200	+ 10	190	210	Inhertyllä 42020.3.3.2	OK				
	- 10										
	Koko (0) 12 Jako k 200										
4	YLÄPINNAN pituusuuntaisten terästen keekkinäinen etäisyys ja sijainti Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	200	+ 10	190	210	Inhertyllä 42020.3.3.2	OK				
	- 10										
	Koko (0) 12 Jako k 200										
6	ALAPINNAN poikittais terästen keekkinäinen etäisyys Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	200	+ 50	150	250	Inhertyllä 42020.3.3.2	OK				
	- 50										
	Koko (0) 12 Jako k 200										
8	YLÄPINNAN poikittais terästen keekkinäinen etäisyys Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	200	+ 50	150	250	Inhertyllä 42020.3.3.2	OK				
	- 50										
	Koko (0) 12 Jako k 200										
7	Reunahakaset, molemmat puolet (sama d ja jako) Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	200	+ 10	190	210	SFS-EN 12670	OK				
	- 10					10.6					
	Koko (0) 12 Jako k 200										
7	Päätyhakaset, molemmat päät (sama d ja jako) Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	200	+ 10	190	210	SFS-EN 12670	OK				
	- 10					10.6					
	Koko (0) 12 Jako k 200										
8	Tartuntateräksel, seinälinja etu ja takapinta (sama d ja j) Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	200	+ 10	190	210	Inhertyllä 42020.3.3.2	OK				
	- 10										
	Koko (0) 16 Kk 200										
9	Jalkosten sijainti ja pituus Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	800	-	630		SFS-EN 12670	OK				
	- 0			780		10.6					
	Koko (0) 12 J min. 800mm										
10	Tartuntateräksel, seinälinja etu ja takapinta Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa	200	+ 10	190	210	Inhertyllä 42020.3.3.2	OK				
	- 10										
	Koko (0) 16 Kk 200										
11	Pylväseperustusten raudoitus Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa (PIR, NRO )	125	+ 10	115	135	SFS-EN 12670	EI OLE				
	- 10			140	160	10.6					
	Koko (0) 16 Jako k125, k160										
12	Varausten raudoitus Tarkistetaan silmämääräisesti sekä mitaamalla tarvittaessa (PIR, NRO )						EI OLE				
HUOMAUTUKSIA: Pitruusue:											
KORJATTU PVM:											
RAUDOITUS HYVÄKSYTTY:											
PV:											
13	Maadoitusraudoitus Tarkistetaan lukumäärä ja hitaukset silmämääräisesti										
	Koko (0) 16										
HUOMAUTUKSIA: Anfurassa ei maadoitusta											
KORJATTU PVM:											
HYVÄKSYTTY:											
PV:											

KUVIO 10. Raitiotieallianssin käyttämä raudoitustarkastuspöytäkirjapohja (Raitiotieallianssi).



Peruslaattojen betonin lujuusluokaksi oli määritelty C30/37 ja pakkasenkestävyydeksi P20 suunnittelijan toimesta. Vaikka peruslaatta ei altistukaan suoraan suola- ja pakkasrasitukselle, pakkasenkestävyyksivaatimus on siitä syystä, että laattojen täyttösyvyys sillan sisäpuolella jää matalaksi. Betonitoimittaja ei kuitenkaan tarjonnut haluttua raekokoa pakkasenkestävyydellä P20, joten minimivaatimuksen täyttämiseksi valittiin P30. Valutyön kannalta oleellista työmaan päässä on määrittää mahdollisimman suuri raekoko, jolla betonointi saadaan onnistumaan, sillä pienemmällä raekoolla tarvittavan sementtiliiman määrä kasvaa, joka johtaa betonin viruman, kutistuman ja halkeilun lisääntymiseen. Raekoon määritykseen vaikuttaa massan siirtotapa, rakenteen mitat sekä raudoitustiheys (Betonin valinta 2012). Maksimiraekooltaan suurempi betonimassa on myös tavallisesti hieman edullisempaa verrattuna pienemmän raekoon massaan, joten on myös taloudellisempaa betonoida isommalla raekoolla.

Paasikivenkadun puoleinen peruslaatta T2 betonointiin ensimmäisenä käyttäen raekooltaan #32 ja notkeudeltaan S3 olevaa massaa. Peruslaatan pituuden vuoksi betonipumppuauton käyttäminen oli välttämätöntä, mutta koska pumppuauto mahtui ajamaan suoraan muotin viereen, riitti pienehkö 28 metrisellä puomilla varustettu pumppuauto. Itse betonointi tapahtui täyttämällä muottia tasaisesti sopivalla kerrospaksuudella niin, että yhden kerroksen valamiseen kuluva aika ei ole liian pitkä siirryttäessä muottia päästä päähän, jolloin aiemmin pumpattu massa ehtisi kovettua ennen seuraavaa kerrosta. Betonia myös tiivistettiin suurtaajuusvibroilla kerroksittain valun edetessä. Viimeisen betonikerroksen jälkeen pinta hierrettiin käsin, jonka jälkeen pinnalle ruiskutettiin jälkihoitoaine pinnan halkeilun minimoimiseksi. Koska kesäinen sää oli varsin otollinen betonoinnille, varsinaista suojausta ei tarvittu. Kokonaisuudessaan tähän peruslaattaan valettiin 286 m<sup>3</sup> betonia valun keston ollessa noin 10 tuntia.

Sepänkadun puoleinen peruslaatta T1 valettiin muuten samalla periaatteella kuin edellä, mutta tilanpuutteen vuoksi pumppuautoa ei ollut mahdollista sijoittaa peruslaatan viereen, vaan betonin pumppaus tapahtui isommalla 55 metrisellä puomilla varustetulla pumpulla Paasikivenkadun puolelta. Pumppausasetelma selviää kuvasta 9. Valun laajuus oli kokonaisuudessaan 261 m<sup>3</sup> ja kesto noin 9 tuntia.

Betonoinnin onnistumiseksi on otettava huomioon ainakin seuraavat asiat aiemmin mainittujen lisäksi:

- Pumppaus- ja kääntöpaikat betoniautoille
- Tarvittavan massamäärän ja pumppausnopeuden määrittäminen mahdollisimman tarkasti
  - Pyritään minimoimaan hukka ja odotusaika
- Sääolosuhteet
- Riittävät henkilöresurssit tauotusta varten
- Riittävä kalusto ja kalustorikkoihin varautuminen varakalustolla

Laadunvarmistustoimenpiteinä betonoinnissa on yleisesti koosteet betonitehtaan tarkastuksista, ennakkokokeet ja suhteutustiedot eri massalaaduista, puristuskoekappaleet rakenneosittain, leviämismittaukset sekä P-lukumassoilla ilmamäärämittaukset tehtaalla ja työmaalla. Näiden lisäksi betonin käyttäytymistä ja lujuudenkehitystä seurataan betonoinnin jälkeen valuun asennettavilla lämpötilantureilla, joista saadaan dataa betonin lämmönkehityksestä. Näin voidaan varmistua esimerkiksi siitä, että kylmemmissä olosuhteissa betoni ei ole jäänyt vaan lämmönkehitystä on alkanut tapahtumaan ja betoni on aloittanut kovettumisen.

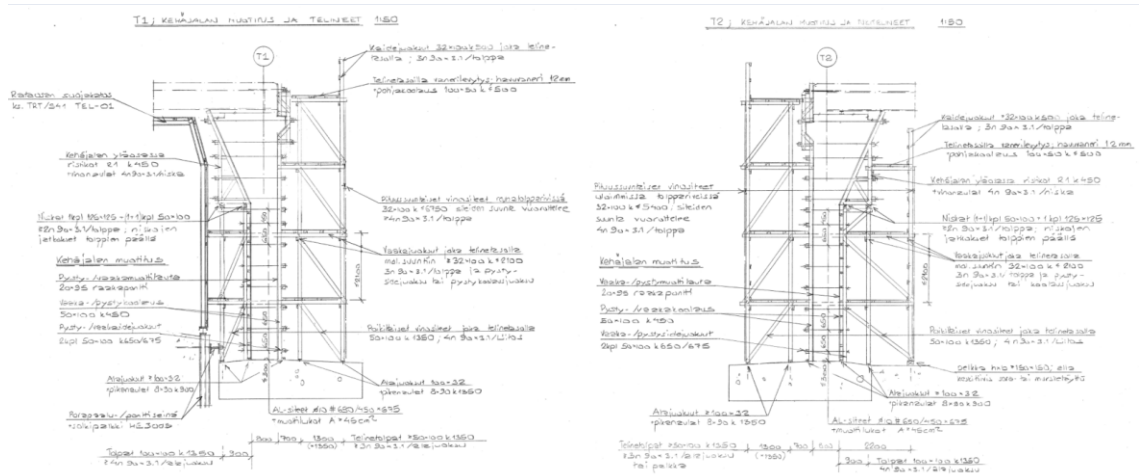


KUVA 9. Peruslaatta T1:n valu.

Muotinpurkulujuus saavutettiin noin vajaan viikon kuluessa betonoinnista hyvissä olosuhteissa. Peruslaattojen muotinpurussa yksinkertaisuudessaan poistettiin muotin reevatuet, jonka jälkeen aiemmin mainitut muottisiivut irtosivat helposti betonirakenteen kyljestä. Ennen kehäjalkojen rakentamisen aloittamista kaikki työsaumat hiekkapuhallettiin pinnassa olevan betoniliiman poistamiseksi.

#### **4.4.2 Kehäjalkojen ja siipimuurien muotitus, raudoitus ja betonointi**

Koska silta sijoittuu epäsymmetrisesti junarataan nähden, myös kehäjalan telineet sekä muotit erosivat hieman toisistaan puolittain. Muotit ja telineet on esitetty puolittain kuviossa 11. Myös siipimuurit toteutettiin samassa vaiheessa kehäjalkojen kanssa. Peruseriaate kummallakin puolella oli kuitenkin sama, eli telineet rakennettiin puutavarasta timpurityönä. Huomattavaa on, että kummallakaan puolella telineitä ei saanut tukea suojaseinärakenteeseen, koska se oli mitoitettu kestämään oman painonsa lisäksi ulkoisia kuormia vain lumi- ja tuulikuormat (Raitiotieallianssi).



KUVIO 11. Kehäjalkojen teline- ja muottipiirustukset (Raitiotieallianssi).

Telinetyö alkoi alajuoksujen sekä pelkkojen asentamisella oikeille linjoille mittamiehen avustuksella, jotta pystyyn asennettaville tolpile saatiin oikeat ja tukevat kiinnityskohdat. Tämän jälkeen telinetyö eteni suoraviivaisesti ylöspäin telinetaso kerrallaan samalla sitoen tolpat toisiinsa vaakajuoksuilla sekä vinositeillä. Ennen varsinaisen muottilaudoituksen rakentamista kaikki vaakajuoksut voitiin viedä muottiosan läpi telineen puolelta toiselle helpottaen tolpitusta sekä telinetasojen rakentamista. Kuvassa 10 telineen ja muotin rakentaminen alussa.



KUVA 10. Kehäjalan telinetyö käynnissä.

Kun muotin sisäpuolen tolpitus ja telinetasot olivat tarpeeksi korkealla, mitattiin tolppiin katkotasot, joiden päälle asennettiin niskat kannattelemaan kannen päätyviisteen muottiristikkoa. Ristikoiden paikalleen asentamisen kannalta on tärkeää, että tolppien katkaisu tehdään tarkasti oikeasta korosta. Muottiristikoiden asemointi oli haastavaa, sillä jo pienet liikkeet ristikoiden alaosassa aiheuttivat suuria heittoja niiden yläpäässä (Suna, 2022). Telineiden valmistumisen jälkeen aloitettiin varsinainen muotitus, eli muottilaudan kiinnittäminen ykköspinnan vaaka- tai pystyjuoksuihin. Tässä kohtaa muotin läpi menneet vaakajuoksut jouduttiin katkaisemaan, jonka jälkeen telineet seisoivat itsenäisesti muotin molemmin puolin. Telineiden rakentamisen yhteydessä asennettavien koolauksien suunta määrittää ponttilaudan suunnan – mikäli koolaus on vaakasuuntainen niin ponttilauta asennetaan pystyyn ja toisinpäin. Muottilautana käytetään tavallisesti raakaponttilautaa, sillä pontitus luo pitävän siteen lautojen välille ja karkeahöyläystä pinnasta saadaan siisti lopputulos betonipinnalle. Tässä tapauksessa ponttilauta asennettiin kehäjalan ykköspinnan suoralle osalle pystyyn ja ristikoiden osuudelle vaakaan. Kokemus on osoittanut, että erityisesti teline- ja muotitustyön aikataulutuksessa on helppoa olla liian optimistinen (Sahi, 2022).

Ykköspinnan muottilaudoituksen jälkeen tehtiin kehäjalan raudoitustyö. Raudoitus alkoi pystysuuntaisten työterästen asentamisella muovisten välikkeiden päälle, jotka kiinnitetään muottiin alumiininauloilla. Välikkeiden tehtävänä on mahdollistaa raudoitteiden kiinnittäminen muottiin samalla varmistaen oikean suojaetäisyyden betonin ulkopinnasta. Tästä syystä onkin tärkeää käyttää oikean korkuisia välikkeitä sen mukaan, paljonko suunnittelija on määrittänyt suojabetonin paksuudeksi. Välikkeet ovat muovisia samasta syystä kuin siteet alumiinisia, eli niiden jäädessä osittain betonin ulkopuolelle valusta ne eivät päästä korrosiota tunkeutumaan betonin sisään. Työteräkset eivät varsinaisesti lisää rakenteen lujuutta, vaan ne asennettiin vaakasuuntaisten terästen kiinnitysraudoiksi. Vaakasuuntaisten terästen jälkeen asennettiin pystysuuntaiset teräkset, jonka jälkeen ykköspinnan raudoitus valmistui. Ykköspinnan raudoitusta kuvassa 11.



KUVA 11. Ykköspinnan raudoitusta.

Kakkospinnan raudoitus tapahtui samalla periaatteella sillä erotuksella, että erilisiä työteräksiä ei tarvittu koska pystysuuntainen raudoitus pystyttiin tukemaan tartuntaterästen lisäksi ykköspinnan rautoihin pienillä vaakasuuntaisilla harjaterästapeilla ja vaakasuuntainen raudoitus oli mahdollista näin asentaa suoraan pystyraudoitukseen.

Raudoituksen valmistuttua muotti tuplattiin, eli asennettiin muottilauta ulkopuolen koolaukseen. Ennen betonointia muotti vielä kiristettiin yhteen alumiinisiteillä samaan tapaan kuin peruslaatoissa. Kuvassa 12 näkyy molempien pintojen raudoitus.



KUVA 12. Kehäjalan muotti sisältäpäin ennen betonointia.

Betonoinnin sekä jatkorakentamisen kannalta oli tärkeää, että kannen tartunta-rautojen korkeusaseman määrittäminen sekä asentaminen tapahtui huolellisesti, jotta myöhemmin asennettavat teräspalkit mahduttiin asentamaan paikalleen. Kannen raudoitus vaikutti kehäjalan rakentamiseen myös siten, että yläpintaa ei voitu valaa tasaiseksi vaan myöhemmin asennettavia kansipalkkien hakateräksiä varten täytyi jättää sopivan levyiset poikittaissuuntaiset urat, jotka toteutettiin valusaumaverkolla, joka kiinnitettiin paikalleen sitomalla se raudoitukseen. Valusaumaverkko esitetty paikallaan kuvassa 13. Lisäksi osittain valun sisään jääväksi

raudoituksen yläpintaan asennettiin teräspalkki kehäjalan poikittaissuuntaisesti, jonka päälle myöhemmin asennetut kannen teräspalkit asemoitiin.



KUVA 13. Kehäjalan yläpinnan raudoitus valmis valusaumaverkko paikallaan.

Kehäjalan betonilaadun valinta tapahtui samaan tapaan kuin peruslaatassa, lujuuden ollessa C35/45, pakkasenkestävyyden P30 (suuremman altistumisen vuoksi) ja maksimiraekoko #32. Seinien korkeuden vuoksi (noin 7,5 metriä) valu täytyi kuitenkin suorittaa valuputkea käyttäen. Tämä siitä syystä, että tavoitteena on tiputtaa betoni mahdollisimman matalalta, jotta kiviainesrakeet ja vesi eivät erottuisi massasta (Betointi n.d.). Betonoinnin kulku sujui kerros kerrokselta, päästä päähän muottia vibraten huolellisesti jokainen kerros. Seinän tai pilarin betonoinnissa valunopeuden määrääväksi tekijäksi tulee yleensä nousunopeus, jonka muottisuunnittelija on määrittänyt. Tämä tarkoittaa sitä, että kuinka



nopeasti betonimassaa saa syöttää muottiin turvallisesti valupainetta liikaa kasvattamatta muotin hajoamisen estämiseksi. Nousunopeus on tavallisesti 0,5m/h pois lukien ensimmäinen kerros, joka valetaan metrin korkeana kuten tässäkin tapauksessa. Betonityönjohtajan haasteeksi nousunopeuden vakiona pitämiseksi tuleekin sopivan toimitus- ja pumppaustahdin määrittäminen, jotta betonointi on sujuvaa ilman pitkiä valutaukoja tai betoniautojen odotuttamista. Koska molempien kehäjalkojen yläpinnat tulisivat jäämään kannen valun sisään, tarvetta huolelliselle pinnan hiertämiselle ei ollut. Kehäjalan yläosan betonipintaa kuvassa 14. Kokonaisuudessaan kehäjalkoihin ja siipimuureihin valettiin noin 732 m<sup>3</sup> betonia.



KUVA 14. Kehäjalan yläpää betonoinnin jälkeen.

Kehäjalkojen ulkopuolen telineet ja muotit purettiin noin kahden viikon kuluttua betonoinneista. Suurin osa purkutyöstä suoritettiin koneellisesti, mutta muottilaudoituksen irrotus ja alumiinisiteiden katkaisu tehtiin käsin, jotta välttyttiin vahingoittamasta tarpeettomasti betonin pintaa. Ennen telineiden purkamista asennettiin kuitenkin molemmille puolille kuvassa 15 näkyvät puiset konsolitasot kehäjalkojen yläosaan helpottamaan kannella työskentelyä, koska vierustäyttöjä ei vielä kyetty aloittamaan tilantarpeen vuoksi. Kehäjalkojen sisäpuoliset telineet purettiin vasta myöhemmin, koska ne edesauttoivat kannen betonoinnissa.



KUVA 15. Kehäjalan telineen purkua.

#### 4.4.3 Ympärystäytöt

Sillan päätyjen ympärystäytöjä ryhdyttiin toteuttamaan marraskuussa 2021, tavoitteena nostaa maanpinta sellaiselle tasolle, että kulkeminen ja työskentely sillan kannella helpottuisi. Samalla ajatuksena oli se, että ympäröivä maanpaine nopeuttaisi mahdollista siltarakenteen painumista, jonka jälkeen jälkivalukaistan betonointi tulisi mahdolliseksi. Marras-joulukuun runsaat pakkaset täyttöjen aikana kuitenkin herättivät huolen siitä, että kelien lämmitessä keväällä täyttömassat painuisivat sulaessaan. Tämä aiheuttaisi ongelman, mikäli siirtymälaatat olisi tehty sulavan ja painuvan maapenkan päälle. Tästä syystä kevään lämmitessä sillan päätytäyttöjä alettiin sulattamaan keinotekoisesti prosessin nopeuttamiseksi. Sulatuskeinoina käytettiin roudansulatuskalustoa (Weelut sekä Heat-Workit), joista Weeluja kuvassa 16. Lisäksi maahan juoksutettiin vettä lämmön tunkeutumisen nopeuttamiseksi.



KUVA 16. Weelu roudansulattajia (Heinonen, 2022).

#### 4.5 Päällysrakenteiden rakentaminen

Sepänkadun sillan päällysrakenteisiin kuuluu käytännössä kaikki kansirakenteen alapinnasta ylöspäin eli muun muassa kansipalkit, jotka varastoituna kuvassa 17.



KUVA 17. Kansipalkit varastoituna ennen asennusta.

##### 4.5.1 Kansirakenteen muotitus, raudoitus ja betonointi

Siltakannen rakenteen vuoksi tavanomaiselle kannen muotille ei ollut tarvetta, vaan valmiin rakenteen sisään jäivät teräspalkit toimivat myös betonoinnin aikaisena muottina niiden väliin asennettavien sinkittyjen teräslevyjen ansiosta. Kannen raudoitus aloitettiin asentamalla teräspalkkeja sillan viistolta sivulta lähtien. Asennus tapahtui mobiilinosturilla sillan kehäjalan vierestä, asemoiden palkit

huolellisesti kehäjalkaan betonoidun pienemmän teräspalkin päälle. Kehäjalasta nousevien tartuntarautojen vuoksi palkkeja ei kuitenkaan ollut mahdollista laskea suoraan paikalleen, vaan ne täytyi laskea tartuntaterästen ohi sillan keskivaiheilla sijaitsevan jälkivalukaistan kohdalle jätetyn aukon kautta ja liu'uttaa paikalleen. Kuvan 18 ilmakuvassa näkyy myös jälkivalukaistat keskellä siltaa.

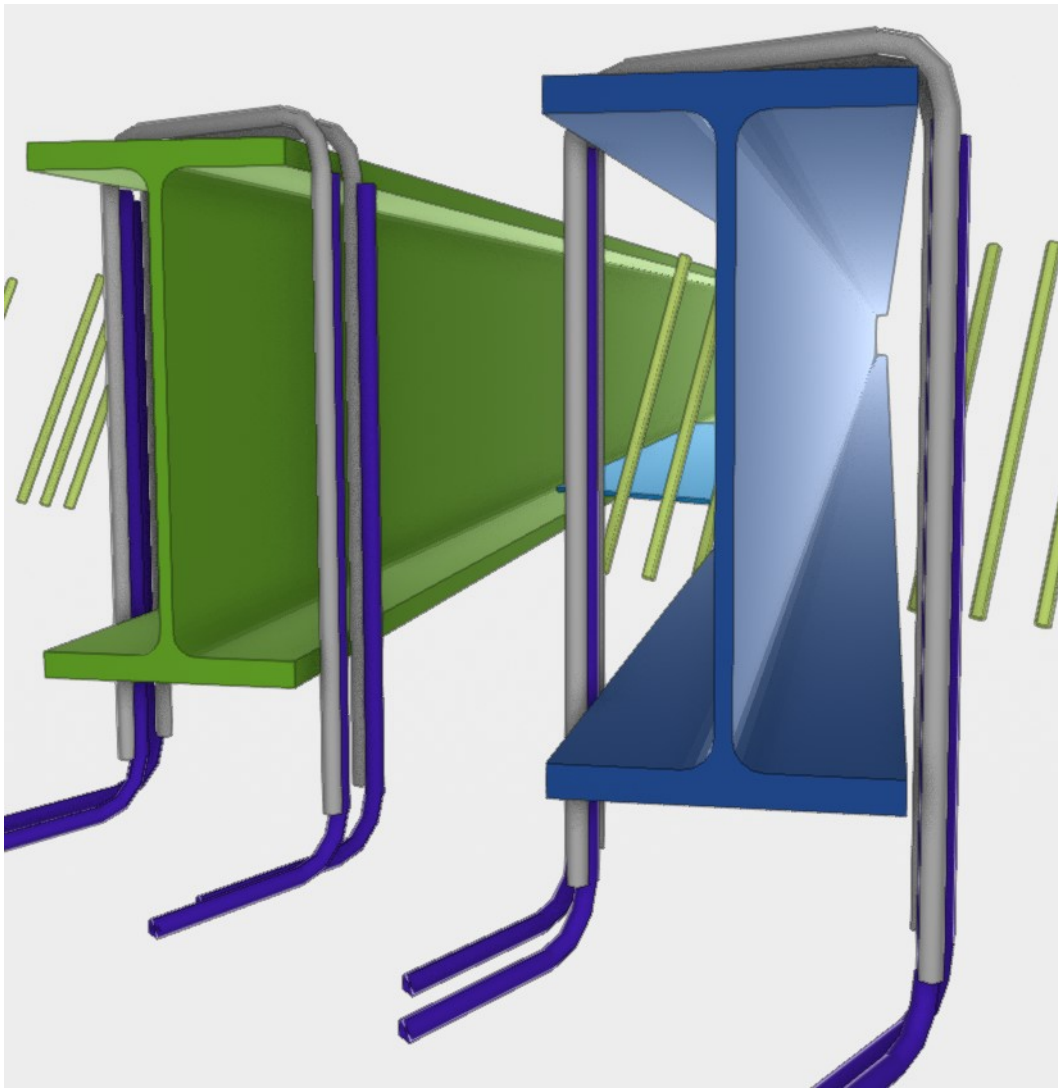


KUVA 18. Vihreällä merkittynä aukot tartunnoissa ja punaisella suunta, johon palkkeja liu'utettiin (MittausGroup).

Työjärjestys oli seuraava:

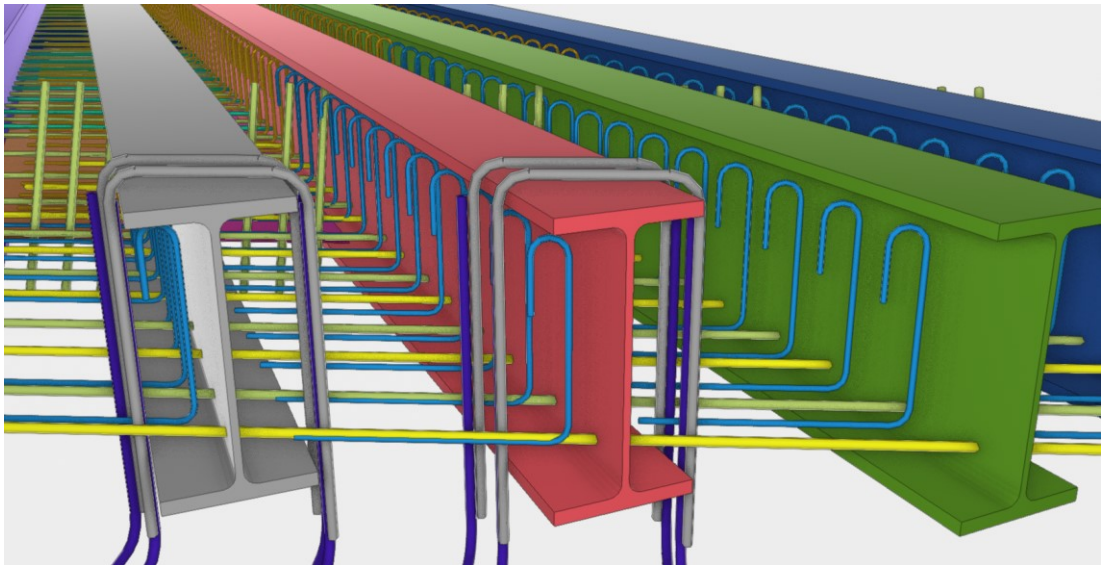
- Palkin nosto ja asemointi
- Palkin pään hakastus
- Lenton-jatkosten asennus
- Seuraavan palkin nosto ja asemointi

Hakastus ja Lenton-jatkosten asennus täytyi tehdä vasta kunkin palkin asemoinnin jälkeen, koska palkkia ei tämän jälkeen enää saanut sisään tai ulos rakenteesta purkamatta kuviossa 12 esitettyjä raudoituksia.



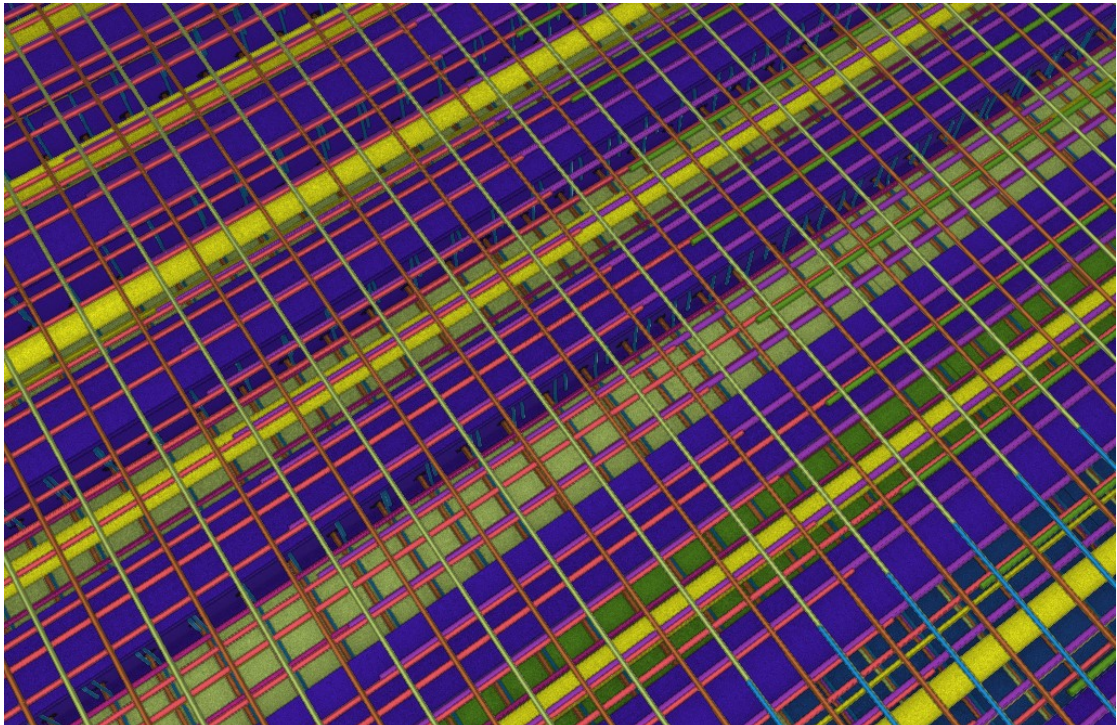
KUVIO 12. Palkkien päiden hakastus ja Lenton-jatkokset (Trimble Connect n.d.).

Kansipalkkien ja teräslevyjen asentamista jatkettiin sopivissa osissa niin, että kannen alapinnan raudoituksen eri positioiden muodostamat kentät oli mahdollista asentaa kerralla. Haasteita asennusjärjestyksessä tuotti palkkien ja teräslevyjen yksilölliset mitat sekä raudoitteet, jotka läpäisivät useamman palkin uuman. Palkin uuman läpäiseviä raudoituksia on esitetty kuviossa 13. Koska raudoitteita ei voitu asentaa sillan reunoilta roikottamalla raudoitteita junaradan päällä, keskimmäisten eli viimeisenä asennettujen palkkien läpäisevät raudoitteet täytyi viedä valmiiksi edellisten palkkien raudoitteiden joukkoon, josta ne oli mahdollista vetää omalle paikalleen viimeisten palkkien asennusten jälkeen.



KUVIO 13. Palkkien uuman lävistävää raudoitusta (Trimble Connect n.d.).

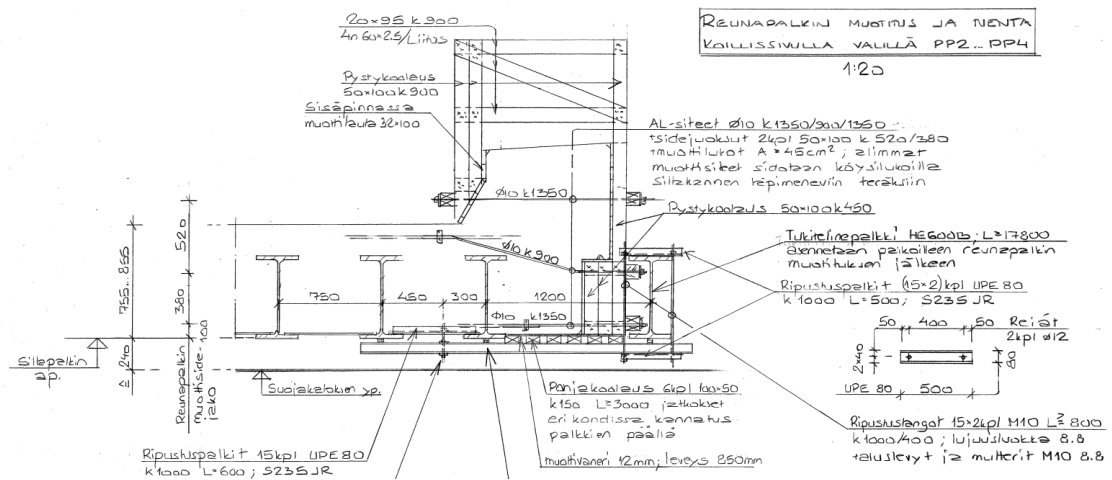
Palkkien sekä alapinnan raudoitteiden asennuksen jälkeen raudoitustyö nousi ylöspäin palkkiväljen hakastuksella sekä varausputkien asennuksella, joidenka jälkeen palkkien päälle asennettiin yläpinnan raudoitteet. Valmiin raudoituksen tuli olla kuvio 14:ssä näkyvän tietomallin mukainen.



KUVIO 14. Kannen valmis raudoitus tietomallista (Trimble Connect n.d.).

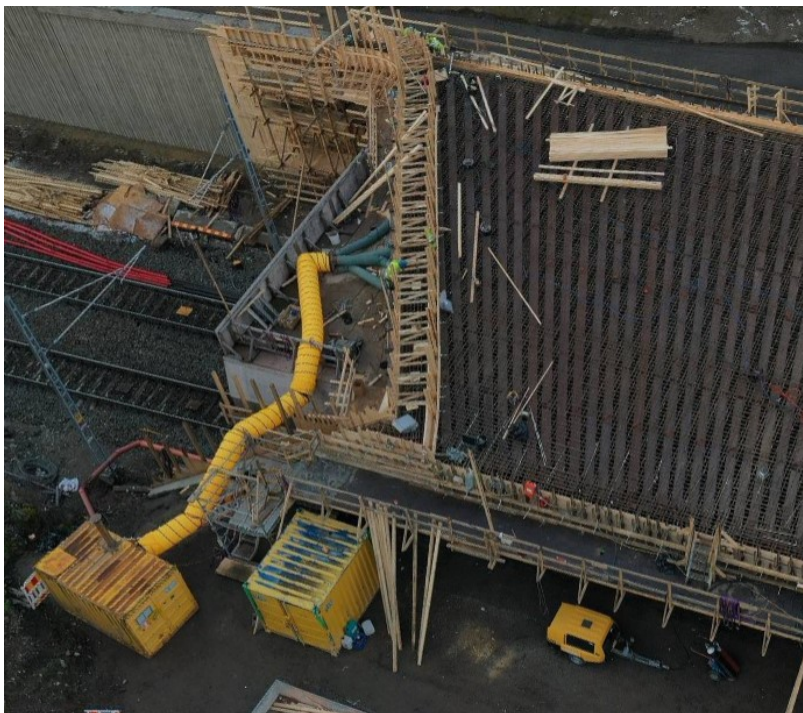
Reunapalkkien muotitus tapahtui tukemalla muotti ripustus- ja tukitelinepalkkien varaan, jotka on esitetty kuviossa 15. Nämä rakenteet tuettiin sillan

kansirakenteeseen sekä puupaalujen varaan. Erilliseen tukirakenteeseen päädyttiin, koska tässäkin tapauksessa tukemista ei voitu tehdä suojaseinärakennetta vastaan.



KUVIO 15. Reunapalkin muotin tuenta (Raitiotieallianssi n.d.).

Siltakannen betonointi oli määrä suorittaa marraskuun lopulla 2021, jolloin pakaskaleja alkoi olla jo varsinkin yöaikaan. Tästä syystä betonoinnin onnistumiseksi kansirakennetta päädyttiin lämmittämään niin ylä- kuin alapuoleltakin. Alapuolen lämmitys toteutettiin sulkemalla rakennusmuovein suojaseinärakenteen ja kehäjalan sekä kannen välinen osuus ja johtamalla lämmintä ilmaa tähän tilaan. Ilman lämmitys tehtiin Thermox Hotboxilla, joka on konttiin rakennettu öljypoltin sekä puhallinjärjestelmä. Tällainen järjestelmä helppo käyttöönottaa ja toimii hyvin esimerkiksi yleisötelttojen lämmittämiseen (Doka n.d.). Kontti sekä lämpimän ilman johtamista varten olevat putket ilmasta päin kuvassa 19. Kannen yläpinnan lämmitystä varten yläpinnan raudoitukseen asennettiin kauttaaltaan kuvassa 20 näkyviä sähköllä toimivia betoninkovetuskaapeleita.



KUVA 19. Hotbox kuvan vasemmassa alakulmassa (MittausGroup).

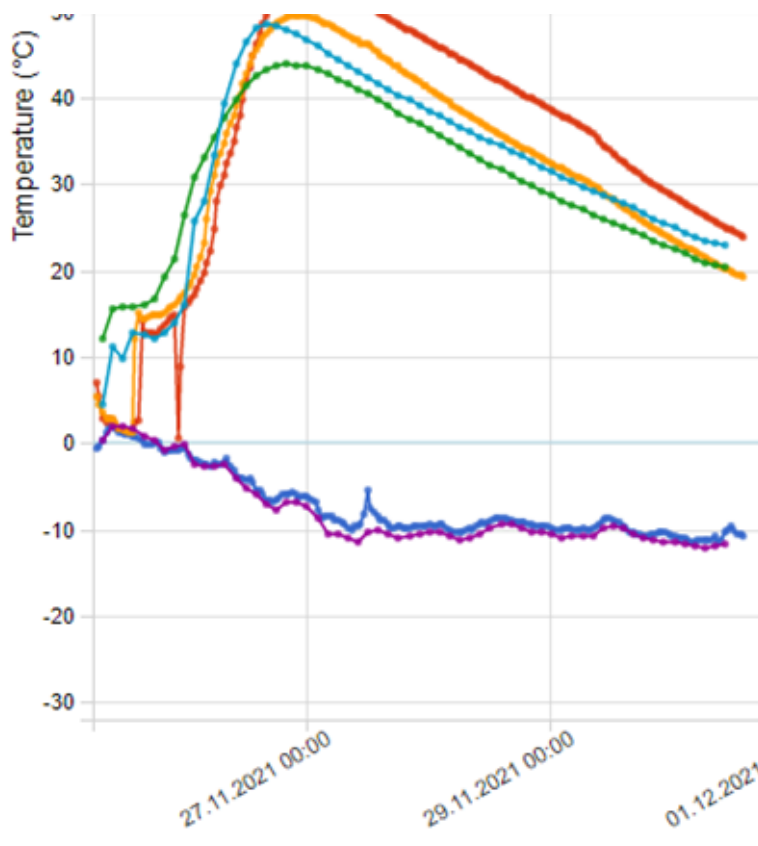


KUVA 20. Betoninkovetuskaapeleita sidottuna raudoitteisiin.



Valupaineesta johtuen kansipalkit sidottiin vielä toisiinsa niiden yläpintaan hitsatuilla poikittaissuuntaisilla harjaterästangoilla kaatumisen estämiseksi.

Sillan kannen ja reunapalkin betonimassan lujuusluokaksi oli määritetty C35/45. Kannen massan p-lukuvaatimus oli P30 ja reunapalkin P50. Reunapalkki jää suurimman suola- ja pakkasrasituksen alaiseksi valmiissa rakenteessa, joten sen p-lukuvaatimus oli tästä syystä suurempi kuin muualla. Molempien massojen kiviaineksen maksimiraekooksi määriteltiin #16, jotta varmistutaan massan tasaisesta leviämisestä tiheänkin raudituksen keskellä. Betonointi suoritettiin kahdella eri betonipumpulla, jotka olivat sijoitettuna kummallekin puolelle siltaa nostaen massan pintaa tasaisesti palkkiväleittäin sillan päästä päähän. Yhteismassamäärä tässä valussa oli noin 583 m<sup>3</sup> valun kokonaiskeston ollessa noin 13 tuntia. Pinnan hiertojen jälkeen betonipinnat käsiteltiin jälkihoitoaineella ja suojattiin solumuovieristein sekä muovipeittein lämmön karkaamisen ehkäisemiseksi. Siisti ja halkeilematon kannen betonipinta vähentää korjaustarpeita ennen vedeneristämistä, joten huolellisesti tehty jälkihoito helpottaa seuraavia työvaiheita. Suojaukselle ja lämmitykselle olikin todellinen tarve, sillä kuten kuviossa 16 on esitetty, ulkolämpötila laski huomattavasti betonointia seuraavina päivinä.



KUVIO 16. Lämpötilaloggereiden piirtämät kuvaajat kannen valusta. Sinisellä ulkolämpötila (BetoPlus).

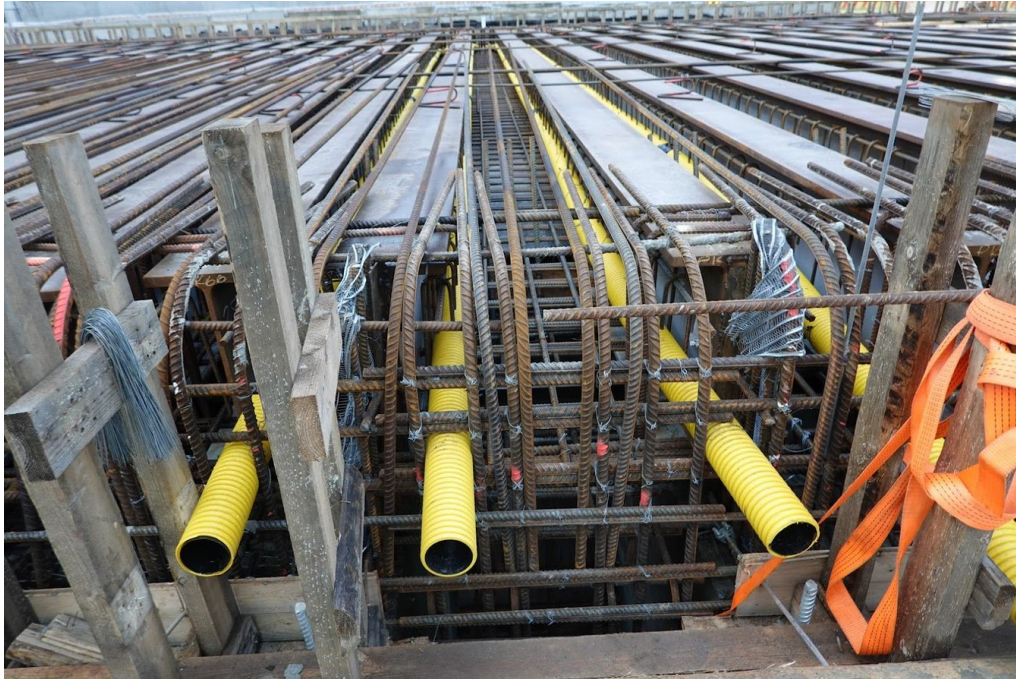
Päällysrakenteiden toteuttamisen yhteydessä valettiin myös kehäjalkoihin sekä kanteen rakennettu jälkivalukaista. Jälkivalukaista oli tarpeellinen, sillä vaihtelevien pohjaolosuhteiden vuoksi sillan päädyissä oli odotettavissa epätasaista painumaa. Jälkivalukaistan betonointi tehtiin noin kuukausi siltakannen betonoinnin jälkeen, kun voitiin mittauksin todeta suurimpien painumien tapahtuneen.

#### **4.5.2 Varusteiden asennus**

Sepänkadun sillan varusteisiin kuuluu muun muassa siltakaiteet. Huomattava osa varusteasennuksiin kuuluvasta työsuoritteesta tehtiin jo ennen varsinaisen varusteen asennusta, sillä mikäli varuste ei jo itsessään jää betonoitavan rakenteen sisään, tyypillisesti vähintään sen kiinnikkeet asennetaan betonoinnin yhteydessä. Jälkiasennukset betonirakenteeseen ovat myös mahdollisia mutta huomattavasti työläämpiä sekä kalliimpia toteuttaa. Tässä tapauksessa sillan betonirakenteisiin tuli kiinnityspisteitä tai vastaavia:

- Kaiteiden pulttiryhmät
- Pylväiden pulttiryhmät
- Kontaktitapit
- Maadoituskorvakkeet
- Ratajohtokiinnikkeet
- Kaapeliputkivaraukset

Edellä mainitut osat asennettiin raudoitus- ja muotitustyön ohessa, tuoden ne ulos muotista oikein asemoituna. Kuvassa 21 on kaapeleita varten asennettuja putkivarauksia.



KUVA 21. Kaapeliputkia asennettuna kanteen ennen betonointia (Heinonen, 2021).

Betonointien jälkeen asennettiin kaiteet sekä pylväät niille asemoituihin pulttiryhmiin kuvan 21 mukaisesti. On tärkeää huomioida, että pultit asennettaisiin mahdollisimman tarkasti suunniteltuun pisteeseen, jotta esimerkiksi paikalle suunnitellut kaiteet osuisivat kiinnityspisteisiinsä mahdollisimman hyvin. Pulttiryhmien suojaus betonointien ajaksi säästää myös aikaa ja vaivaa myöhemmin, koska pulttien kierteitä ei todennäköisesti tarvitse tällöin puhdistaa niin perusteellisesti.



KUVA 22. H4b-luokan tiekaide ja kosketussuojaseinä asennettuna ja maadoitettuna sillalla.

#### 4.5.3 Vedeneristys ja siirtymälaatat

Sillan vedeneristyksen tehtävänä on suojella betonirakenteita ja erityisesti silta-kantta ulkoa päin tulevalta kosteus- ja suolarasitukselta. Kehäjalkojen sekä siipimuurien maanvastainen vedeneristys tehtiin kaksinkertaisella kumibitumisivelyllä sitä mukaa, kun ympäristäytöt mahdollistivat bitumieristeen levittämisen ilman telinetyöskentelyä. Kannen vedeneristyksessä käytetään erityyppisiä ratkaisuja

kohteeseen sopivuuden mukaan, jotka ovat kermieristys, mastiksieristys, neste-mäisenä levitettävä eristys ja EPDM-kumimattoeristys. Vedeneristeen tulee kes-tää useita kuormia sekä rasituksia, joten oikean vedeneristysrakenteen valitseminen on tärkeää sillan käyttöiän ja korjaustarpeen kannalta. (SILKO 1.801, 2018). Vedeneristyksen onnistumisen kannalta on oleellista, että eristettävä pinta sekä olosuhteet työn suorittamiselle ovat vaatimuksen mukaiset. Tällaisia vaati-muksia ovat esimerkiksi pinnan muodonvaihtelut, kosteus, karheus, halkeilu ja työskentelylämpötila. Vaatimuksenmukaisiin olosuhteisiin pääsemiseksi sillan kannen päälle rakennettiin sääsuoja, joka on vaatimuksena siltarakentamisessa. (InfraRYL 42310, 2021).

Sillan päätytäyttöjen keskeneräisyyden vuoksi sääsuojaa ei kuitenkaan ollut mahdollista rakentaa ja tukea molemmin puolin maata vasten, joten Paasikiven-kadun puolella sääsuojan telineet tuettiin siirtymälaatan konsolin päälle.

Sääsuojateltan pystyttämisen jälkeen sisäpuolista tilaa oli mahdollista ryhtyä läm-mittämään sekä kuivattamaan. Lämmitys tapahtui käyttämällä jälleen Hotboxia (kappale 4.5.1) sekä pienempiä teholtaan 40kW olevia siirrettäviä puhaltimia. Il-mankuivatuksen tehostamiseksi sillan kannen molempiin reunoihin asennettiin vielä pienempiä ilmanpuhaltimia. Jotta vedeneristystyö voitiin aloittaa, muun mu-assa seuraavien vaatimuksien tuli täytyä:

- Eristettävän pinnan lämpötilan tulee olla vähintään 3 °C korkeampi kuin ilman kastepistelämpötila (Silko 1.801, 2018).
- Nestemäisenä levitettävän eristuksen levityksen aikana pintalämpötilan tulee olla aina vähintään +5 °C (Silko 1.801, 2018).
- Eristysalustan suurin sallittu absoluuttinen kosteus m-% 5,0 (InfraRYL 42310, 2021).

Lämpötilat mitattiin tarkoitukseen soveltuvilla mittareilla ennen töiden aloitusta ja absoluuttinen kosteus määritettiin laboratoriomittauksella kannesta irrotetuilla koepaloilla.

Lämmityksen ja kuivatuksen lisäksi seuraavilla toimenpiteillä varmistettiin vaati-muksenmukaisuus:

- Pinnan tasaisuus ja oikeat kaltevuudet – siltakannen huolellinen beto-nointi.
- Alustan karheus – betonipinnan sinkopuhallus.
- Halkeilu – halkeamien imeytys epoksilla (kuva 23).



KUVA 23. Imeytetyjä halkeamia kannen pinnassa.

Vedeneristys alkoi epoksiliiman levittämällä kannen koko alalle. Epoksiliiman päälle levitettiin vielä kvartsihiekkää ennen varsinaista eristettä. Näin valmisteltiin sopiva tartuntapinta nestemäistä eristettä varten. Nestemäisen vedeneristeen levitys tapahtui ruiskuttamalla (kuva 24).



KUVA 24. Vedeneristeen levitys käynnissä.

Valmiin eristyksen vaatimuksenmukaisuus todettiin muun muassa vetokokeella eristyksen pinnasta. Valmiin eristeen pinta suojattiin vielä lopuksi kumibitumilla. Eristyksen mekaaninen suojaus esimerkiksi suoja-asfaltilla olisi tehtävä viikon kuluessa eristystyöstä. Tästä voidaan kuitenkin poiketa tilaajan suostumuksella. (InfraRYL 42320, 2021). Koska siltakannella työskentelylle ei ollut välitöntä tarvetta, niin suojauksesta saatiin lupa poiketa. Varmuuden vuoksi eriste kuitenkin suojattiin kevyemmin solumuovilla sekä muovipeitteillä. Vedeneristyksen jälkeen sääsuoja pystyttiin purkamaan, koska olosuhteiden ylläpitämiselle ei ollut enää tarvetta.

Siirtymälaatat valettiin betonirakenteista viimeisinä, kun sillan ympäristäytöt oli tehty valmiiksi. Niiden rakentaminen tapahtui samalla tapaa peruslaattojen kanssa.

#### **4.6 Suoja- ja tukiseinärakenteen purkaminen**

Kaiteiden asennuksen ja sääsuojan purkamisen jälkeen ajankohtaiseksi tuli suoja-seinärakenteen purkaminen, koska loput työvaiheet eivät vaatineet sillan kaiteiden ulkopuolella työskentelyä. Kuten tuki- ja suoja-seinän rakentaminen, sen purkaminenkin täytyi suorittaa osittain yöteinä junaliikenteen asettamien rajoitusten vuoksi. Suoja-seinärakenteen osalta asetelma oli lähestulkoon sama kuin sen rakentamisessakin, sillä erotuksella että seinäelementit vinsattiin väkipyörien avulla liukupalkkia pitkin käänteisessä järjestyksessä pois sillan alta ja nostopaikka oli junaradan pohjoispuolella kuten kuvasta 25 käy ilmi.



KUVA 25. Suojaseinäelementti vinsattuna pois sillan alta.

Seinäelementtien vinssaus tehtiin päiväsaikaan turvamiestyönä suorittaen nostot junaradan päällä jälleen liikenteen ehdoilla kuten aikaisemminkin luvussa 5.1.2. Suojaseinäelementtien teräskehikon purku kyettiin suorittamaan samassa kausijigissä, jossa ne alun perin kasattiinkin. Koska kausijigiä ei ollut tarvetta hajottaa työvaiheiden välissä, säästettiin niin työtunteja kuin materiaaliakin. Jigissä kehikon pulttiliitokset oli mahdollista aukaista turvallisesti. Huomioitavaa oli, että kattoelementin viimeisten pulttiliitosten poistamisen tuli tapahtua sivusta käsin, mikäli taakka syystä tai toisesta tippuisi kiinnityksiä poistaessa. Kuvassa 26 irrotetaan keskimmäisiä pulttiliitoksia.





KUVA 26. Suojaseinäelementin purkua jigissä.

Tukiseinän purkamisesta oli määritetty seuraavalla tavalla suunnitelma-asiakirjoissa:

- Sepänkadun puolen tukiseinärakenne katkaistaan peruslaatan yläpinnan tasosta (Raitiotieallianssi n.d.).
- Paasikivenkadun puolen tukiseinärakenne katkaistaan tasosta kv-1,4 metriä. (Raitiotieallianssi n.d.).

Käytännössä siis iso osa rakennetta jäi maan sisään. Tämä siitä syystä, että Sepänkadun puolella katkaisutason alapuolinen osa oli käytännössä mahdoton poistaa koska sillan peruslaatta valettiin sitä vastaan. Toisella puolella

määrääväksi katkotasoksi riitti sellainen syvyys, missä maahan jäävät rakenteet eivät häiritse tulevaisuudessa mahdollisen kolmannen raiteen rakentamista. Jälleen, koska toisen raiteen sulkeminen liikenteeltä linjaosuudella ei ole mahdollista päiväsaikaan, JETIt suunniteltiin niin, että kolmen viikon ajanjaksolla toinen raide on öisin ratatyövarauksella. Työ aloitettiin vetämällä Dywidag-ankkurit ulos ratapenkasta Paasikivenkadun puolelta, koska se ainoa puoli, johon työn mahtui tekemään. Ankkureiden poiston jälkeen ponttiseinän ja paalujen katkaisu suoritettiin puolittain aloittaen Paasikivenkadun puolelta. Aluksi ponttiseinän ulkopuolta kaivettiin aina kerrallaan viiden pontin matkalta niin, että saavutettiin haluttu katkotaso. Tämän jälkeen esiin kaivetut teräsosat katkaistiin polttoleikkaamalla. Polttoleikkauksen jälkeen irti leikattu ponttilamelli nostettiin yhtenä kappaleena pois, jonka jälkeen kaivanto täytettiin. Näin edettiin koko seinän matka, jonka jälkeen sama toistettiin junaradan toisella puolella. Kuvassa 27 tukiseinärakenteen katkaisu on alkamassa Paasikivenkadun puolella.



KUVA 27. Paalujen ja ponttiseinän polttoleikkausta.

Alun perin työvaihe oli tarkoitus suorittaa siten, että radan puolelta ponttiseinää tehdään kevennyskaivuu ja ulkopuolelle tehdään pieni tukitäyttö ennen pontin irtottamista kokonaan, jotta ratapenkka ei sortuisi kaivantoon. Ensimmäisen ponttien poiston kohdalla kuitenkin huomattiin, että koska työ suoritettiin maaliskuun alussa, niin ratapenkka on vielä niin jäässä, että sen sortumiselle ei ollut vaaraa.

Näin ollen työvaihe onnistuttiin suorittamaan suunniteltua nopeammin, koska työsuorite kutistui. Lopuksi sillan sisäpuoliset täytöt tehtiin suunniteltuun tasoon ratapenkan paikalleen tukemiseksi. Lopputulos näkyy kuvassa 28. Tukiseinärakenteen purkamisen jälkeen suoritettiin kirjoitushetkellä viimeisin siirtymämittaus junaradan kiskoista, jonka tuloksia on esitetty kuviossa 17. Näistä ei havaittu hälyttäviä siirtymiä kiskojen asemassa verrattuna niin tätä edeltävään kuin töiden aloittamistakin edeltävään mittaukseen.



KUVA 28. Tukiseinärakenne poistettuna täytöt tehtynä.

Siirtymäsuoran edelliseen mittaukseen	paalu	dB-mitta	dZ	
	0			
	2,5			Eromitat esitetty metreinä
	5	-0,001	-0,004	<b>dB-mitta</b> tarkoittaa sivusiirtymää
	7,5	-0,001	-0,003	(-) = paalutussuunnassa vasemmalle
	10	0,000	-0,003	(+) = paalutussuunnassa oikealle
	12,5	-0,002	-0,002	<b>dZ</b> tarkoittaa korkeus siirtymää
	15	-0,002	-0,005	
	17,5	0,001	-0,005	
	20	0,001	-0,002	
	22,5	-0,001	-0,002	
	25	-0,001	0,001	
	27,5	0,000	0,000	
	30	0,000	-0,004	
	32,5	-0,001	-0,003	
	35	-0,002	-0,005	
	37,5	-0,002	-0,001	
	40	-0,001	-0,004	
	42,5	-0,005	-0,001	
	45	0,000	-0,007	
	47,5	0,002	-0,007	
	50	-0,001	-0,006	
	52,5	-0,001	-0,005	
	55	0,000	-0,004	
	57,5	-0,005	-0,004	
	60	0,000	-0,004	
	62,5	0,001	-0,004	
	65	-0,004	-0,005	
	67,5	-0,003	-0,005	
	70	0,000	-0,005	
	72,5	0,003	-0,007	
	75	0,000	-0,004	
	77,5	0,001	-0,002	
	80	-0,001	-0,003	
	82,5	-0,001	-0,003	
	85	-0,002	-0,003	
	87,5	-0,004	-0,006	
	90	0,000	-0,005	

KUVIO 17. Erään kiskolinjan siirtymämittaus sillan kohdalla maaliskuussa 2022, edellinen mittaus elokuussa 2021 (Raitiotieallianssi).

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Pitkähkö sekä laaja rakentamisprosessi sisältää aina yllätyksiä sekä ongelmia, joita joudutaan ratkomaan rakentamisen aikana. Pienet ja hetkessä mitättömältä tuntuvat virheetkin voivat kertaantua prosessin aikana, kun siirrytään työvaiheesta toiseen. Huolellisella ennakkoon tehdyllä työvaihesuunnittelulla voidaan kuitenkin tunnistaa näitä ongelmakohtia sekä riskejä. Kun mahdolliset ongelma-kohtat ovat tiedossa, niiden ratkominen on pääsääntöisesti kevyempää ja todennäköisesti välttää tavanomaisimmilta virheiltä. Yksittäisissä työvaiheissa, kuten betonoinneissa, myös inhimillisen virheen vaara on kuitenkin aina olemassa olosuhteista johtuvien riskien lisäksi. Tällaisia osittain huolimattomuudesta johtuvia virheitä ovat esimerkiksi harvavalut tai muottien pettäminen. Näitä pystytään ehkäisemään työnjohdon toimesta olemalla läsnä työvaiheissa ja suorittamalla jatkuvaa laadunvalvontaa. Rakentamisprosessiin voi vaikuttaa myös ulkoiset tekijät, kuten raaka-aineiden hintojen äkillinen nousu, joka näkyy suoraan taloudellisessa lopputuloksessa. Aineellisten riskien lisäksi myös aikataulutuksessa voidaan epäonnistua olemalla optimistisia. Toisaalta jos aikataulutusta tehdään liian löyhäksi, on vaarana, että rakentamisprosessi ei etene niin ripeästi kuin olisi mahdollista. Sepänkadun sillan tapauksessakaan ei välttytty täysin edellä mainituilta ongelmilta. Näitä ongelmia aiheutui muun muassa pienistä valuvirheistä, yksittäisten työvaiheiden aikataulutuksesta sekä kustannustason yleisestä noususta. Kokonaisuudessaan rakentamisen voi sanoa sujuneen hyvin, sillä kaikki sillan kirjoitushetkeen mennessä toteutetut rakenteet saatiin toteutettua suunnitelmasiakirjojen sekä laatuvaatimusten mukaisesti ja valmistuminen on aikataulussa. Varsinkin puutavaran sekä teräksen hinnan nousu vaikuttivat negatiivisesti sillan rakentamisen taloudelliseen puoleen, kuitenkin nousematta hälyttäväksi esteeksi. Pitkän prosessin hyviä puolia on toisaalta se, että hyvin sujuneilla työvaiheilla voidaan kompensoida pieniä virheitä muualla.

## LÄHTEET

Betonin valinta. 2012. Rakentaja.fi. Verkkosivu. Luettu 27.4.2022.  
[https://www.rakentaja.fi/artikkelit/9026/betonin\\_valinta.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/9026/betonin_valinta.htm)

Betonointi. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Luettu 28.4.2022. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonointi/>

BetoPlus. 2021. Rudus Oy. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Doka. n.d. Thermox Hotbox. Viitattu 4.5.2022. Verkkosivu.  
<https://www.doka.com/fi/system-groups/thermox-Hotbox>

Heinonen, J. 2021. Raitiotieallianssin projektipankki. Viitattu 2.5.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

Heinonen, J. 2022. Raitiotieallianssin projektipankki. Viitattu 28.4.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

InfraRYL 42310. 2021. Rakennustieto. Verkkosivu. Viitattu 4.5.2022. Vaatii käyttöoikeuden. [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/Infra-RYL/2021\\_2/42300.html#TL42310id1735091](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/Infra-RYL/2021_2/42300.html#TL42310id1735091)

InfraRYL 42320. 2021. Rakennustieto. Verkkosivu. Viitattu 4.5.2022. Vaatii käyttöoikeuden. [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/Infra-RYL/2021\\_2/42300.html#TL42320id1767605](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/Infra-RYL/2021_2/42300.html#TL42320id1767605)

Kysymyksiä ja vastauksia. Raitiotieallianssi. Verkkosivu. Viitattu 27.4.2022.  
<https://raitiotieallianssi.fi/ukk/yleinen/>

MittausGroup. 2021. Verkkosivu. Viitattu 3.5.2022.  
<https://kuula.co/share/NGJqy/collection/7kIV7?logo=1&info=1&logo-size=200&fs=1&vr=1&zoom=1&initload=0&thumbs=1>

Perusraportti 2017. H-1852 Sepänkadun ylikulkusilta. Taitorakennekisteri. Verkkosivu. Luettu 14.11.2017. Vaatii käyttöoikeuden. <https://extranet.liikennevirasto.fi/trex/#/rakenne/612/perusraportti>

Raitiotieallianssi. Raitiotieallianssin projektipankki. Viitattu 27.4.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

Sahi, V. 2022. YIT Oyj:n työnjohtaja. Suullinen haastattelu 4.5. Tampere.

SILKO 1.801. 2018. Väylävirasto. Verkkosivu. Viitattu 4.5.2022.  
[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1801\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1801_web.pdf)

Suna, J. 2022. MittausGroup Pirkanmaan aluevastaava. Suullinen haastattelu 4.5. Tampere.

Tampereen kaupunki. n.d. Ilmakuvakoonti (VÄRI). Verkkosivu. Viitattu 27.4.2022. <https://kartat.tampere.fi/oskari/>

Tampereen raitiotie. Raitiotieallianssi. Verkkosivu. Viitattu 27.4.2022. <https://raitiotieallianssi.fi/tampereen-raiotie/>

Terex. 2010. Data sheet metric. Verkkosivu. Viitattu 27.4.2022. <https://cranenetwork.com/uploads/specs/5e44e25788030bd7c9fb8f7e8.pdf>

Trimble Connect. n.d. Projektikansio. Viitattu 2.5.2022. Vaatii käyttöoikeuden.