



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PAIKALLA TEHTY VARASIL- TA VAI VÄYLÄVIRASTON KALUSTOSILTA

TEKIJÄ: Ilari Hakanen

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | |
| Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma | |
| Työn tekijä Ilari Hakanen | |
| Työn nimi Paikalla tehty varasilta vai Väyläviraston kalustosilta | |
| Päiväys | 15.1.2020 |
| Sivumäärä/Liitteet | 46 |
| Ohjaaja Mervi Heiskanen, lehtori | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Savon Kuljetus Infra | |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aihe käsittelee ajoneuvoliikenteelle mitoitettua varasiltaa, ei työnaikaista työsiltaa. Työssä vertailaan paikalla tehtyä varasiltaa väyläviraston vuokraamaan kalustositlapakettiin. Siltapaikka oli Siikajoen silta Revonlahdessa Oulun läheisyydessä. Mittavan peruskorjauksen kohteena oli silta, jota varten tuli tehdä kiertotie uoman yli. Uoma siltapaikalla oli noin 85 metriä leveä. Siikajoen sillan kautta kulkee Valtatie 8, joten rakennettu silta oli mitoitettava valtatie liikennekuormille. Vuonna 2018 Siikajoen sillan korjauskohteessa päädyttiin rakentamaan varasilta itse teräspaaluista, teräspalkeista ja puuparruista. Työn tavoitteena oli selvittää, kumpi kahdesta siltavaihtoehdosta oli parempi kyseiseen sillankorjauskohteeseen. Työssä vertaillaan paikalla tehtyä varasiltaa, joka rakennettiin kohteeseen, väyläviraston vuokraamaan Universal-siltajärjestelmään.</p> <p>Paikalla tehdyn varasillan työvaiheet käydään läpi yksityiskohtaisesti. Työvaiheet käydään läpi esimerkein rakennusaikaisilla valokuvilla ja poikkileikkauskuvilla selvennettyinä. Paikalla tehdyn varasillan rakennusaika kootaan yhteen ja määritetään kiertotien käyttöaika, jota käytetään vakiona verrattaessa varasillan hankittuja materiaaleja kalustosillan vuokraan. Kalustosillan rakennusvaiheet ko. rakennuskohteeseen käydään myös läpi työvaihekohtaisesti ja rakennusaika määritetään esitetyillä menetelmillä. Työssä esitetään työsaavutuksia annetuilla työryhmillä molempiin siltavaihtoehtoihin. Työssä ei käsitellä siltapenkereiden pengertämistä.</p> <p>Tämän insinöörityön tuloksia ja esimerkkejä tullaan käyttämään urakkalaskennassa vaativissa maa- ja vesirakennusurakoissa. Varasilta oli vaativa taitorakenne ja työn tulokset auttavat urakoitsijoita määrittämään varasiltavaihtoehdon ja laskemaan varasillan kuluja. Työ toimii myös hyvänä oppaana varasilta rakenteisiin työnjohdolle rakennusaikana. Valmistunut paikalla tehty varasilta oli 80 metriä pitkä ja hyötyleveyttä sillalla oli seitsemän metriä. Kalustosilta vaihtoehto olisi ollut yhtä pitkä vaatie yhden teräsbetonisen virtapilarin jännemitan lyhentämistä varten.</p> | |
| Avainsanat Varasilta, Kalustosilta, Kiertotie, Valtatie, Sillankorjaus, Taitorakenne | |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|----|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering | | | |
| Author(s) Ilari Hakanen | | | |
| Title of Thesis Comparing Two Different Reserve Bridges | | | |
| Date | 15 January 2020 | Pages/Appendices | 46 |
| Supervisor Ms. Mervi Heiskanen, Savonia University of Applied Sciences | | | |
| Client Organisation /Partners Savon Kuljetus Infra | | | |
| <p>Abstract</p> <p>This final year project discusses a reserve bridge built in situ and a pioneer reserve bridge that were dimensioned for vehicle traffic. The reserve bridge built in situ was made from beams and piles and the bridge was part of an alternative route around Siikajoki bridge construction site. This reserve bridge was compared to a universal reserve bridge, which is a type of pioneer bridge rented by Vaylavirasto (Finnish Transport Infrastructure Agency). The alternative route had to be constructed to enable the reparation of Siikajoki bridge located in Revonlahti near the city of Oulu. The river basin is 85 metres wide. Highway 8 goes through the reserve bridge that has to carry the traffic load. The object of this final project was to find out which one of the two bridges would be better for this location. The thesis compares the reserve bridge built in situ to a non-existing pioneer bridge.</p> <p>The working phases of the reserve bridge built in situ and pioneer bridge were explained in detail. The phases were explained with examples and pictures taken during the construction period. This thesis combines the timetable of construction period for both bridges and determines the operation time of the alternative route used to compare the acquired building materials for the reserve bridge built in situ to the rent of the pioneer bridge. The thesis presents examples for production records of certain working group but does not include excavation work.</p> <p>The results of this final project are used for calculating the costs of the reserve bridge. A reserve bridge is a challenging structure and the results of this Thesis will help contractors to choose the best option for reserve bridge. The thesis can also be used as a guide for reserve bridge structures for supervisors. The complete reserve bridge built in situ was 80 metres long and 7 metres wide. The pioneer bridge would have been as long and it would have required one concrete column in the middle of the river to reduce the span length.</p> | | | |
| Keywords reserve bridge, alternative route, highway, pioneer bridge | | | |
| | | | |

ESIPUHE

Opinnäytetyöni on toteutettu yhteistyössä Savon Kuljetus Oy:n infra osaston kanssa. Haluan kiittää kaikkia työhön osallistuneita. Aihe työhöni oli mielenkiintoinen, sillä uskon tulevaisuudessa tästä olevan hyötyä monelle tätä lukevalle. Kirjallisuutta paikalla tehdystä varasillasta ei ole, on vain kokemusperäisiä asioita työnjohtajilla. Tässä työssä muutamat kokemusperäiset asiat tulevat esiin.

Helpot MVR urakat on jo tehty, varasilta ajoneuvoliikenteelle on vaativa taitorakenne urakan onnistumisen kannalta. Koska kyse on kiertotiestä, niin mitä nopeammin, sitä nopeammin.

Kuopiossa 14.2.2020

Ilari Hakanen

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|-------------------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 1.1 | Opinnäytetyön lähtökohdat..... | 7 |
| 1.1.1 | Siltapaikan kuvaus | 8 |
| 1.1.2 | Paikalla tehty varasilta..... | 8 |
| 1.1.3 | Kalustosilta | 8 |
| 1.2 | Savon Kuljetus -konserni..... | 9 |
| 1.2.1 | Savon Kuljetuksen infra-rakentaminen..... | 10 |
| 1.3 | Lyhenteet ja määritelmät | 11 |
| 2 | PAIKALLA TEHTY VARASILTA | 12 |
| 2.1 | Lähtökohdat ja työvaiheet..... | 12 |
| 2.1.1 | Urakkalaskentavaihe | 13 |
| 2.1.2 | Suunnittelu ja suunnitelmat..... | 13 |
| 2.2 | Työn toteutus | 14 |
| 2.2.1 | Paalutus | 15 |
| 2.2.2 | Niskapalkit ja paalujen reivaaminen | 17 |
| 2.2.3 | Uumavahvikkeet ja tuulisteet..... | 18 |
| 2.2.4 | Sekundääripalkit ja jarrupalkisto | 21 |
| 2.2.5 | Kaiteet..... | 23 |
| 2.2.6 | Kansi..... | 24 |
| 2.2.7 | Pintarakenne | 27 |
| 2.2.8 | Telinetyöt | 30 |
| 2.2.9 | Purkaminen..... | 32 |
| 2.3 | Aikataulu..... | 33 |
| 3 | KALUSTOSILTA | 34 |
| 3.1 | Lähtökohdat | 34 |
| 3.1.1 | Urakkalaskentavaihe | 35 |
| 3.1.2 | Suunnittelu | 36 |
| 3.2 | Työntoteutus | 36 |
| 3.2.1 | Teräsbetoniset maatuet..... | 36 |
| 3.2.2 | Teräsbetoninen virtapilari | 37 |
| 3.2.3 | Kalustosillan asennus | 37 |

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.4 | Purkaminen..... | 38 |
| 3.3 | Aikataulu..... | 39 |
| 4 | VERTAILU..... | 40 |
| 4.1 | Rakennusaika..... | 40 |
| 4.2 | Työmäärä..... | 40 |
| 4.3 | Varasiltamateriaalien hankinta verrattuna vuokrahintaan..... | 41 |
| 5 | YHTEENVETO..... | 42 |
| 5.1 | Kalustosillan edut ja haitat..... | 43 |
| 5.2 | Paikalla tehdyn varasillan edut ja haitat..... | 43 |
| 6 | TÄMÄN INSINÖÖRITYÖN SOVELTAMINEN..... | 44 |
| | LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT..... | 45 |
| | KUVALUETTELO..... | 46 |

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön lähtökohdat

Aihe tähän insinööriyöhön tuli Savon Kuljetus Oy:ltä. Vuoden 2018 lopussa olimme urakoineet Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen sillankorjausurakkaa yhden kesän verran. Ison Siikajoen sillan korjaustyöt valtatiellä kahdeksan olivat käynnissä. Kiertotie, ja siihen paikallaan rakennettu varasilta, oli käytössä. Yrityksellä ei kuitenkaan ollut dataa siitä, että oliko tämä sittenkään se paras vaihtoehto.

Urakkalaskennan ja rakentamisen aikana selvät syyt paikalla tehdyn varasillan paremmuudesta olivat kyllä mielessä, sillä tällä varasiltavaihtoehdolla tarvinnut maksaa vuokraa kalustosillasta. Yritys pystyy näin maksamaan ainoastaan omasta, eikä rahaa huku vuokraan. Tässä kyseisessä kohteessa omasta maksaminen tarkoittaa rautaa, paljon rautaa. Omasta tavarasta maksaminen antaa osakeyhtiölle huojennuksia verotukseen, jos poistot suunnittelee oikein. Teräksen ostaminen kasvattaa myös yrityksen varallisuutta.

Lisäksi teräksen ostaminen yritykselle oli askel eteenpäin, sillä ostetun teräksen voi uusiokäyttää muissa rakennuskohteissa tai seuraavassa varasiltaa vaativassa kohteessa. Tämä tekee Savon Kuljetuksesta entistä kilpailukykyisemmän kovassa kilpailussa maa- ja vesirakennusurakoissa.

Kun aloin tarkastelemaan vaihtoehtoa, eli universal kalustosiltapakettia, en ollutkaan enää täysin varma kumpi siltavaihtoehdoista on parempi. Kyseessä on kiertotie ja yleisesti on tiedossa, että kiertotien nopea toteutus antaa enemmän aikaa itse sillankorjaustyön toteutukseen lyhentäen urakan läpivienti aikaa. Yleisesti ajateltuna kalustosillan rakentaa ja purkaa nopeammin, mutta entäs nimenomaan tässä kohteessa? Liikennekuormat erikoiskuljetusreitillä Vt 8 ovat valtavat. Suunnitellun sillan tulee pahimmillaan kestää neljä 76 tonnin raskaan yhdistelmän, eli reilun 300 tonnin painon. Lisäksi kuorma-autoyhdistelmien tulee pystyä jarruttamaan ilman, että silta liikauttaa suuntaan tai toiseen.

Kalustosiltapaketti tässä kohteessa olisi vaatinut teräsbetoniset maatuet tai maanvaraisen perustamisen sekä mitoitettavan liikennekuorman mukaisen määrän (1) teräsbetonisia virtapilareita. Lujuuden kehityksen tulee olla 80 % maksimista ennen teräsbetonirakenteiden kuormittamista, joten parin viikon odottelu luo painetta aikatauluun. Tässä kohteessa Siikajoen sillan korjaustöihin ei voitu ryhtyä ennen kiertotien ottamista käyttöön. Näin ollen betonin lujittumisen aikana olisi ollut hankala keksiä työvoimalle käyttöä.

Tässä kohteessa kiertotien pengertäminen kokonaan rumpuja hyväksikäyttämällä ei ollut vaihtoehto vedenvirtaaman rajoitusten takia. Tämä on kuitenkin vaihtoehto, jota tuli tarkastella urakkalaskennan aikana.

1.1.1 Siltapaikan kuvaus

Rakennuskohteena oli Siikajoen silta Revonlahdella Valtatiellä 8. Vt 8 keskimääräinen vuorokausiliikennemäärä oli vuonna 2017 5721 ajoneuvoa vuorokaudessa, mistä raskaanliikenteen osuus oli 9,3 %. Siikajoen sillan peruskorjaukseen kuului sillan päällysrakenteen uusiminen, minkä toteutusta varten siltapaikalle täytyi tehdä kiertotie. Oma siltapaikalla oli 85 metriä leveä ja vedensyvyys uomassa vaihteli kesän mittaan 0,4 – 1,0 metrin välillä. Syynä veden pinnan korkeuden vaihteluun oli erittäin kuiva kesä sekä Uljuan allas. Uljuan allas säätelee Siikajoen veden määrää ja kun altaasta laskettiin lisää vettä Siikajokeen, vedenpinta nousi melko nopeasti.

Veden syvyys oli kuitenkin verrattain matala, joten pystyimme kaivinkoneilla ja erilaisilla telalustaisilla nostimilla ajamaan uomassa kuljettaen rakennusmateriaalia ja miehistöä työkohteeseen. Matala uoma loi suoraviivaisuutta työskentelyyn helpottaen työvaiheiden rakentamista.

1.1.2 Paikalla tehty varasilta

Toimin työnjohtajana paikalleen tehdyssä varasillassa, selvityksessä huomiot ja kokemukseräiset seikat ovat omiani. Rakennettu varasilta oli vaativa taitorakenne ja rakentamisen aikana oli koko ajan kiire, sillä varasillan valmistuminen määrittä kiertotien käyttöönoton ja itse Siikajoen sillan korjauksen aloittamisen.

Aluksi käydään läpi paikalla tehdyn varasillan rakentaminen tähän kyseiseen kohteeseen. Työssä kerrotaan miten työvaihe suoritettiin, mitä palkki- ja paaludimensioita käytettiin, millä kalustolla työ suoritettiin, omia huomautuksia työvaiheen onnistumiseksi sekä mahdollisia parannusehdotuksia. Työssä otetaan myös kantaa varasiltasuunnitelmiin ja varasillan aikatauluun.

Kokonaisuus kootaan yhteen aikatauluosiossa, mitä käytetään vertailussa kalustositapaketti vaihtoehtoon.

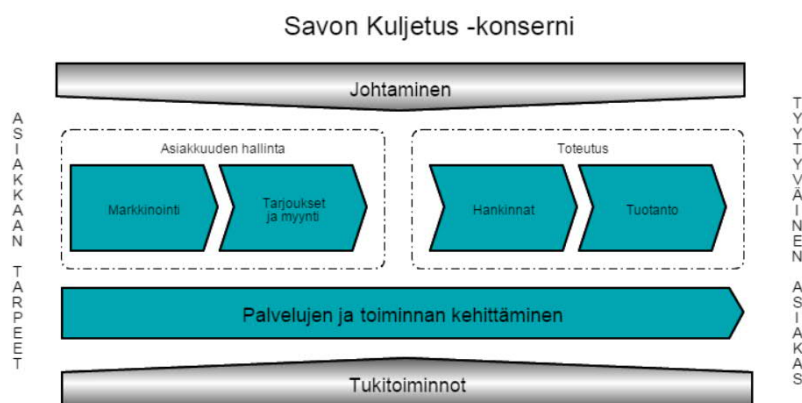
1.1.3 Kalustosilta

Väyläviraston vuokraamasta Universal tyyppin kalustosillasta ei ole rakentamisaikaisista dataa. Kalustosilta käsitellään kuten urakkalaskentavaiheessa tehtäisiin. Tarjouksia pyydetään koskien oletettua kalustosiltaa ja lasketaan kalustosiltaa koskevat kustannukset niin rakennus- kuin purkamisvaiheessa. Työssä määritetään myös aikataulu kalustosillan rakentamiseen sekä purkamiseen ja tuloksia vertaillaan paikalla tehdyn varasillan toteutumaan. Vertailussa paikalla tehtyyn varasillan käytetään toteutunutta kiertotien käyttöaikaa vuokran suuruuden määrittämisessä, mitä vertaillaan paikalla tehdyn varasillan materiaalin hankintaan.

1.2 Savon Kuljetus -konserni

Savon Kuljetus Oy on vuonna 1965 perustettu kiviaines-, kuljetus-, logistiikka- ja infrastruktuuripalveluja tuottava yritys. Savon Kuljetus -konserniin kuuluvat Suomen GPS-Mittaus Oy (SGM Consulting), Läänin Tilausliikenne Oy ja Tuomaan Rakennus Oy. Savon Kuljetus Oy on KTK-taustainen (Kuljetusten tilauskeskus) yhtiö, mutta vuosikymmenien aikana yhtiö on kasvanut monialayritykseksi. Yrityksellä on noin 800 osakkeenomistajaa, joista noin 200 osakkeenomistajaa on aktiivisesti toiminnassa mukana olevia osakasautoilijoita. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2018 74 M€ ja liikevaihto vuodelle 2019 on noin 94 M€. Savon Kuljetus -konserni työllisti vuonna 2019 noin 160 henkilöä.

Savon Kuljetus Oy:n toiminta-ajatus on parantaa asiakkaiden ja alihankkijoiden kilpailukykyä tuottamalla ja markkinoimalla laadukkaita kiviaines-, kuljetus-, logistiikka- ja infrastruktuuripalveluja asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Yhtiön visio on olla taloudellisesti vakaalla pohjalla toimiva, alansa halutuin yhteistyökumppani. Koko yhtiön toiminta nojaa arvoihin, joita ovat avoimuus, positiivisuus, asiakaslähtöisyys ja jatkuva kehittyminen. Savon Kuljetus Oy:llä on Bureau Veritas Oy:n sertifioima toimintajärjestelmä, joka kattaa ISO 9001 laatujohtamisjärjestelmän ja ISO 14 001 ympäristöjohtamisjärjestelmän. Toimintajärjestelmän mukaisesti liiketoiminta on kuvattu prosessilähtöisesti ydin- ja tukiprosesseiksi (Kuva 1). Savon Kuljetus Oy:n muodostaa neljä erillistä liiketoimintasektoria; Kiviaines- ja maansiirtokuljetukset, Infra-rakentaminen, Kunnossapito ja Logistiikkapalvelut. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Kuopiossa, minkä lisäksi toimipisteitä on Joensuussa, Varkaudessa, Mikkelissä, Savonlinnassa, Juankoskella ja Suonenjoella.



Kuva 1: Savon Kuljetus Oy:n prosessikartta

Kiviaines- ja maansiirtokuljetukset ovat Savon Kuljetus Oy:n liikevaihdollisesti suurin liiketoimintasektori. Yhtiöllä on käytössään eri puolilla Itä-Suomea noin 600 hehtaaria kallio-, maa-, ja sora-alueita. Vuosittain jalostetaan ja myydään maa- ja kiviaineksia keskimäärin 1,8 - 2 miljoonaa tonnia. Tuotevalikoima kattaa tuotteita tie- ja sillanrakentamiseen, massanvaihtoihin, viherrakentamiseen, rakennusten perustuksiin, rakennus- ja tienpinnoitetuotteiden valmistamiseen. Maa-ainesalueilla tuotetaan betoni-, asfaltti- ja raideseplikiviaineksia sekä sitomattomia kiviaineksia CE-merkinnän ja edellä mainittujen tuotteiden tuotestandardien vaatimusten mukaisesti, mistä Savon Kuljetus Oy:llä on tehtaan sisäisestä laadunvalvonnasta Inspecta Sertifiointi Oy:n myöntämä todistus.

Savon Kuljetus Oy tarjoaa liikenneväylien ja -alueiden kunnossapito- ja hoitopalveluita Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksille, kunnille ja kaupungeille sekä teollisuuslaitoksille. Palvelukokonaisuuksiin sisältyy mm. teiden ja alueiden lumen auraus, liukkauden torjunta hiekoittamalla tai suolaamalla, sorateiden hoito sekä puistojen, leikkikenttien ja liikuntapaikkojen ylläpitotyöt. Lisäksi palveluihin kuuluu infrarakenteiden erilaiset korjaustyöt esimerkiksi sorateiden rakenteellinen parannus. Vuonna 2019 yhtiön hoidossa on kolme alueurakkaa (Kuopio, Joensuu ja Nilsia) sekä neljä kaupunki- tai kuntaurakkaa.



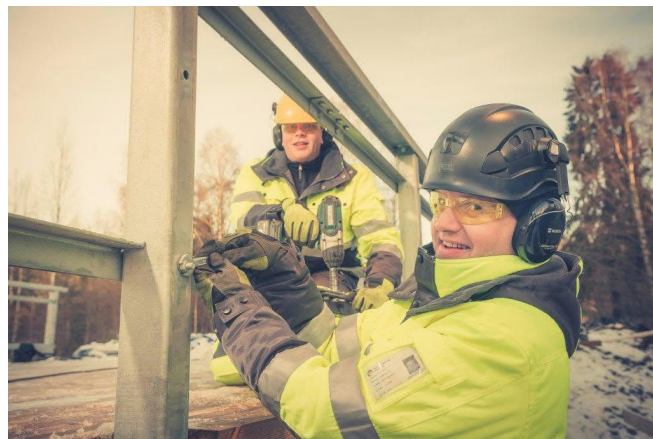
Kuva 2: Savon Kuljetus Oy:n talvikunnossapitoa (Savon Kuljetus)

Savon Kuljetus Oy tarjoaa kokonaisvaltaisia logistiikkapalveluja. Palveluihin kuuluu mm. kappaletavarakuljetukset, lämpötilasäädellyt kuljetukset (myös pakastekuljetukset), varastointipalvelut, muuttopalvelut sekä asiakaskohtaiset aikataulutetut jakelut. Kokorahti- ja osakuormissa yhtiön toiminta-alueena on koko Suomi. Logistiikkapalvelut toteutetaan sopimusautoilijoiden monipuolisella kalustolla (pakettiautoista säiliöautoihin). Yhtiön terminaalit sijaitsevat Kuopiossa ja Joensuussa. Savon Kuljetus Oy myy Oy Teboil Ab:n poltto- ja voiteluaineita. Yrityksellä on hallinnassaan 11 miehittämätöntä polttoaineen jakelupistettä (D-automaattia), jotka sijaitsevat pääasiassa toimipisteiden välittömässä yhteydessä. Savon Kuljetus Oy myy polttoaineita vuosittain n. 14-15 milj. litraa ja voiteluaineita n. 55.000 - 70.000 kg.

1.2.1 Savon Kuljetuksen infra-rakentaminen

Tämä opinnäytetyö liittyy Savon Kuljetus Oy:n infra-rakentamisen yksikköön. Yhtiön infra-rakentamisen palvelut kattavat teiden, katujen, siltojen, ratojen, satamien, kunnallistekniikan, liike-, teollisuus- ja talonrakennuskohteiden pohjatöiden ja perustusten, puistojen sekä vapaa-ajan alueiden rakentamisen koko Suomen alueella, pääpainon ollessa kuitenkin Itä- ja Keski-Suomen alueilla. Yhtiö on erikoistunut sillankorjaamiseen ja -rakentamiseen, mistä johtuen yhtiöllä on RALA ry:n pätevyystodistus seuraavissa luokissa; suuret ja erittäin vaativat siltaurakat (R1) ja erittäin suuret ja erittäin vaativat sillankorjausurakat (K1+).

Infra-rakentaminen on Savon Kuljetus Oy:n henkilömääräisesti suurin liiketoimintasektori, työllistäen yhteensä noin 60 henkilöä. Henkilöstö koostuu työmaapäälliköistä, työnjohtajista, maanrakennustyöntekijöistä, koneenkuljettajista, kirvesmiehistä ja putkimiehistä. Yhtiöllä on omia kaivin- ja pyöräkoneita sekä jyrä, mutta rakentamisessa hyödynnetään myös alihankintaa, alihankintaprosentin vaihdellessa työmaittain 40-90 % välillä. Liiketoimintasektorin suurimpia asiakkaita ovat Väylävirasto, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset, itä-suomalaiset kunnat ja kaupungit. Yksityisen sektorin asiakkaita ovat mm. metsä- ja energiateollisuus.



Kuva 3: Savon Kuljetus Oy:n Infra-rakentamisen työntekijöitä

1.3 Lyhenteet ja määritelmät

Paalu = Saumaton teräsputkipaalu varustettuna kalliokärjellä

Niskapalkki = Paalujen päälle tuleva siltaan poikittain nähden oleva palkki, joka siirtää kuormat paaluille

Sekundääripalkki = Sillan suuntaan pitkittäin oleva palkki, joka siirtää kuormat alla olevalle niskapalkille

Pelkka = Lujuusluokittelematon puupalkki, jonka dimensiot ovat 150*200 mm.

Kaidepalkki/Reunapalkki = Sillan reunoilla kulkeva palkki, joka pitelee kannen päällä olevaa kiviainesta sillan päällä ja sen päälle hitsattiin kaiteet

Tuuliside = Tämän siteen tehtävänä on ottaa vastaan tuulen aiheuttamat kuormat sillan sivuttaisuunnassa ja siirtää kuorma niskapalkille

Uumavahvike = HEB -palkin ylä- ja alalaipan väliin hitsattava vahvike, joka parantaa ko. palkin kantavuuskykyä sekä estää palkkia taipumasta rasituksen alla

Jarrupalkisto = Siltapenkereiden sisään tuleva rakenne, jonka tehtävänä on ottaa ajoneuvoliikenteen kiihdytyksistä ja jarrutuksista tulevat kuormat vastaan.

A-mitta = Hitsaussauman vahvuus, isompi numero kertoo vahvemmassa saumasta

Rakennekerrokset = Tien rakennekerrokset, joiden tarkoituksena on tien kantavuuden luominen

Laani = Varastointi- ja teräskuormien purkupaikka, työtila

AB16/120 = Asfalttibetoni, jossa runkoaineena on 16 mm seulan läpi ajettu kiviaines. Asfalttia levitetään 120 kg yhdelle neliölle.

2 PAIKALLA TEHTY VARASILTA

2.1 Lähtökohdat ja työvaiheet

Paikalla tehty varasilta on haastava rakenne ja on tärkeä elementti koko urakan läpiviennin kannalta. Rakenteen aikataulullisen onnistumisen kannalta tärkein elementti oli töiden yhteen sovittaminen.

Varasiltaa tekee yhtä aikaa paalutuskone, timpurit, hitsarit, kaivinkoneet ja materiaalin purkukone, joka monessa tapauksessa tarkoittaa pyöräkonetta. Aloittaminen on melko hidasta ja paaluttamisen aloittamisen jälkeen valmista rakennetta syntyy hitaasti. Varasillan tekemiseen varattu resurssi pääsee töihin vaiheittain. Paalutuksen aikataulutukseen työviikon sisälle kannattaakin työnjohdon paneutua viivästyksien minimoimiseksi. Kun rakenne edistyy, työryhmät pääsevät rakentamaan siltaa. Jonkun työvaiheen hidastuminen hidastuttaa kaikkia muita perässä tulevia työvaiheita, johon kiertotien varasiltaa tehdessä ei ole varaa.

Varasillan tulopenkereiden valmistuttua toiselle puolelle uomaan päästään vasta itse varasillan pariin töihin. Paikalla tehdyn varasillan työvaiheet alkoivat tässä projektissa RR220x12,5 teräspalkkilyöntipaalujen paalutuksella. Uoma pystyttiin paaluttamaan varasiltaa varten kokonaan yhdellä käynnillä. Tämän jälkeen paalurivien päälle hitsattiin HEB320-niskapalkit ja näiden päälle sillan pituussuuntaiset HEB240-sekundääripalkit. Palkkien hitsauksen aikana alkoi myös tuulisteiden ja HEB –palkkien uumavahvikkeiden hitsaus.

Kun valmis palkisto oli edennyt tarpeeksi eli tässä projektissa noin puoleen väliin asti, aloitettiin pelkoista sillan kannen tekeminen sekä kaiteiden tekeminen. Toimivan rakenteen takia kaiteiden HEB –palkki hitsattiin ensin, jolloin saimme kansilankutuksen liikkeen estettyä pituus- ja poikkisuuntaan. Lopullinen rakenteen suunniteltu laskennallinen jäykkyys ja vakavuus toteutui valittujen materiaalien ja työjärjestyksen ansiosta.

Kannen valmistuttua levitettiin kannen päälle suodatinkangas. Suodatinkankaan päälle tuli murskettä ja murskeen päälle profiloitiin asfaltin pohjat. Koko 250 metriä pitkä kiertotie asfaltoitiin yhdellä kerralla. Sillan ja siltapenkereen väliin ei tullut päällysteeseen liikuntasaumaa jarrupalkiston ansiosta.

Laadunvarmistustoimenpiteet paikalla tehdyn varasillan osalta eivät ole vaativia, mutta vaativat työnjohdolta kokoaikaisen työpanoksen toteutuksen aikana. Laadunvarmistukseen sisältyy paalujen ja niskapalkkien paikalleen mittaaminen, hitsisaumojen a-mittojen tulkinta, rakenteen oikeellisuuden dokumentointi, murskekerroksen tiiveysmittaukset sekä asfalttinormien mukaiset laatudokumentit kiertotien päällysteestä.

2.1.1 Urakkalaskentavaihe

Laskettaessa paikalla tehtyä varasiltaa, omakohtaisella kokemuksella on suuri merkitys suoritteiden arvioinnissa. Suoritteet, niiden á hinta tai työsaavutus, eivät kuitenkaan ratkaisevasti vaikuta varasiltarakenteen kokonaishintaan. Laskentaan täytyy osata sisällyttää kaikki työvaiheet, mutta isoin paino laskennassa on materiaalihankinnassa.

Materiaali tarkoitti tässä projektissa terästoimittajien laajaa kilpailutusta. Kilpailutus tuli tehdä erikseen teräspaaluista ja erikokoisista HEB –palkeista. Tarjoukset kannatti pyytää toimitettuna työmaalle, sillä raudan kuljetuskustannukset maassamme saattavat yllättää. Näin saatiin kokonaisvaltaisempia tarjouksia ja tarjousten vertaileminen oli helpompaa.

Teräs ei suinkaan ole ainut suorite laskennassa, jonka määrä on mittava. Varasillan kansi sisältää ison määrän neliöitä, mikä pitää lankuttaa umpeen. Puupelkkojen tarjoukset kannatti myös pyytää työmaalle toimitettuna. Koska varasillan kannen puupelkat täytyi limittää ja limitystä on vaihdettava säännöllisesti, kannattaa parrujen sahauksesta tuleva hukka arvioida mahdollisimman tarkasti. Kymmenen prosentin hukka ei pidä paikkaansa tehtäessä varasillan kantta, joka on mitoiltaan määrämittainen.

Lisähuomiona varasillan hinnan kannalta kannattaa kilpailuttaa kivi- ja maa-ainestoimittajat ja etsiä sopiva kaivinkone, jossa riittää puomin pituus ja nostovoima painaville teräspalkeille, sekä etsiä mahdollisimman monta hitsaukseen erikoistunutta yritystä. Hitsareiden osalta kilpailutus koskee tuntihintaa tai kokonaista urakkahintaa. Suoriteperusteinen hinnoittelu varasillassa on mahdottomuus, eivätkä hitsausyritykset suostu siihen. Hitsaamista teräksestä tehdyssä sillassa riittää ja mikäli yrityksellä ei ole puikkohitsauksen luokkia suorittaneita hitsareita, on myös vaihtoehto kouluttaa omaa väkeä urakkaan valmistautuessa.

Tässä projektissa varasillan suunnittelu kuului urakoitsijan vastuulle, joten myös suunnittelukustannukset täytyy muistaa sisällyttää urakan tarjoushintaan.

2.1.2 Suunnittelu ja suunnitelmat

Suunnittelun lähtökohtia arvioitaessa päädyttiin vaihtoehtoon, missä kappaletavaran dimensiot ovat mahdollisimman pieniä. Näin ollen teräksen ostaminen oli mahdollisimman halpaa. Lisäksi suunnitteluvaiheessa ei ollut tiedossa kuiva kesä ja alhainen vedenpinta, joten varasilta suunniteltiin tehtäväksi sillan kannelta käsin.

Nämä lähtökohdat yhdessä huomioiden saimme teetettyä suunnitelmat varasiltaan, missä paalurivien väli on 5,7 metriä ja paalukoko oli RR220x12,5 S440J2H. Paalurivien päälle tuleva niskapalkki oli HE320B ja pitkittäiset sekundääripalkit olivat HE240B. Paalut ristituettiin 100*100*6 kokoisella putkipalkilla. Suunnittelijalta täytyy löytyä asianmukaiset pätevyudet silta- ja teräsrakenteista.

Kaiteen alle suunniteltiin reunimmaisten HE240B –sekundääripalkkien päälle poikittain siltaan nähden hitsattavat HE140B –palkit. HE140B –palkit hitsattiin kahden metrin välein koko sillan matkalle. Näiden palkkien päälle tuli hitsattavaksi HE320B –palkki reunapalkiksi. Tämän reunapalkin päälle hitsattiin kaidetolpat HEB140-palkista ja H2-kaide kiinnitettiin tolppiin.

Kansilankutus tehtiin puupelkoilla 150*200. Lankutus viistettiin reunapalkin alle, jolloin estettiin lankutuksen liikkuminen poikkisuuntaan. Pituussuuntaan like estyi pelkkojen tukeutumisella toinen toistaan vasten.

Suunnitelma varasiltaan oli peruslähtökohdiltaan hyvä ja hyvin toteutettavissa. Eniten aikaa sillan rakentamisessa vei erilaisten uumavahvikkeiden ja tuulisiteiden hitsaaminen. Uumavahvikkeita tuli hitsattavaksi niska- ja sekundääripalkkien pienestä dimensiosta johtuen. Isompi palkkien dimensio olisi myös pidentänyt paalurivien väliä vähentäen paalutusta sekä hitsaamista. Paalurivien välin pidentäminen olisi kuitenkin aiheuttanut haasteita paalutuskoneelle, sillä koneiden ulottuma olisi tullut vastaan. Suunnitteluvaiheessa ei ollut tiedossa kuiva kesä ja matala veden pinnan taso, jotta isompia dimensioita olisi voinut suunnitella paalutustyön helpottuessa.

2.2 Työn toteutus

Varasillan tulopenkereet olivat niin pitkälle valmiit, että sillan välittömään läheisyyteen pystyi ajamaan työkoneilla. Rautakuormia tulopenkereillä ei mahtunut purkamaan, vaan purkaminen tehtiin läheisellä laanilla ja palkit kuljetettiin pienemmällä kalustolla työkohteeseen. Varasillan parissa työskenteli kaksi ryhmää timpureita, ammattihitsaajia, kaivinkone, paalutustyöryhmä ja työnjohto

Hitsausmenetelmänä varasillarakenteessa käytettiin ainoastaan puikkohitsausta. Puikolla hitsaamalla itse hitsaaminen on hitaampaa kuin muilla menetelmillä, mutta hitsaustyön liikkuvuuden vuoksi ei käytetty muita menetelmiä. Muut menetelmät olisivat vaatineet hitsauspaikan suojaamista, mihin todettiin, ettei siihen olisi ollut aikaa, sillä työn suorituspaikka vaihtui hitsarilla useasti päivässä. Saateella hitsarin saavuttama työsaavutus oli puolet hitaampaa, vaikka työkohte suojattiin suoralta saateelta.

Työhön valittu kaivinkone työhön oli Hitachi 225 LX eli lyhyt peräinen tela-alustainen kaivinkone, missä nostovoima riitti kaikkien kappaletavaroiden nostamiseen puomin ulottuman verran. Konevalinnassa näppäryys oli isoin osa valintaa riittävän nostovoiman yhteydessä. Ennen sekundääripalkkien asentamista koneella pystyi ajamaan ja toimimaan ilman osumia paalurivien välissä. Työn edetessä pidemmästä puomista olisi ollut apua, eikä paalurivien väliin olisi ollut edes silloin tarvetta mennä. Jatkossa panostaisin hieman pidemmällä puomilla olevaan koneeseen, jotta sekundääripalkkeja laitettaessa ei koneen tarvitsisi liikkua puolelta toiselle. Tämä olisi selkeyttänyt ja nopeuttanut työn toteutusta.

Mikäli työ olisi tehty sillan kannelta käsin, olisi liikkuvuuden kannalta paras vaihtoehto ollut pyöräalustainen kaivinkone. Näin ei olisi tarvinnut kiinnittää huomiota tehdyn pelkkäkannen suojelemiseen.

2.2.1 Paalutus

Ensimmäisenä pengerrettiin ostetuilla kiviaineksilla matalaan vesiuomaan paalutuskoneelle työskentelytaso, kuten kuvasta 4 voi hahmottaa. Tämä kiviaines uusiokäytettiin valmistuneen sillan virtapilareiden ja maatukien eroosiosuojauksessa. Näin paalutuskone pystyi paaluttamaan koko varasillan matkan yhdellä käynnillä. Tämä eroaa perinteisestä työsiltaarakentamisesta siinä mielessä, ettei silta rakenne etene vain paalutuskoneen ulottuman verran kerrallaan, kun joudutaan rakentamaan varasiltaa sillan kannen päältä.



Kuva 4: Paalutustyön lähtökohdat (Hakanen, 2018)

Paalukoko varasillassa on suhteellisen pieni ja paalutuskoneena oli vanhahko vaijerijuntalla varustettu paalutuskone. Paalutustekniikka oli perinteinen lyöntipaalaus. Maaperätutkimusten mukaan kallio tulee vastaan jokaisella paalulla, joten paalut olivat varustettu kalliojärjillä.

Kallioon lyödessä paaluja, joissa ei ole maapeitettä kuin pari metriä, hankaluus tulee kallion pinnan kaltevuudesta, sillä paalu saattaa alkaa liukumaan kalliopintaa pitkin. Kalliopinnan tasaisuutta ei voi arvioida ennakkoon vedenpinnan yläpuolelta. Hyvin rauhallinen työtahti edesauttaa paalutustyön onnistumista, sillä paalun asennon muutos tulee havaita välittömästi, mikäli paalun kalliojärki liukuu kalliopintaa pitkin. Mikäli paalu liukuu kalliopintaa pitkin, on loppulyönnit hankala toteuttaa ohjeiden mukaan, sillä paalu tulee jatkamaan liukumistaan. Lopputuloksena paalu tulee olemaan liian kallellaan ja näin paalu on uusittava. Viisainta on lopettaa paalutustyö tämän paalun kohdalla, mikäli on varmistuttu paalun olevan kalliossa.

Paaluriviin tuli suunnitelmien mukaan kolme paalua. Keskimäinen paalu iskettiin suoraan ja reunimmaisat 8:1 kallistukseen sillan keskilinjaan päin. Paalutustyön aluksi ei ollut tarkkaa tietoa kalliopinnan tasosta ja kalliopinta löytyikin oletettua lähempää vedenpintaa. Aluksi paalutettiin 12 metriä pitkiä paaluja, mutta paalut vaihdettiin lyhennettyihin paaluihin paalutuksen ja paalujen katkaisun helpottamiseksi. Kun loppulyönnit oli tehty, paalut katkaistiin suunnitelman mukaiseen korkoon. Työvaihe vei rakennusaikaa 1,5 viikkoa. Kuvassa 5 näkyy paalujen lyhentämiseen käytetty teline, sekä etualalla liian pitkät 12 metrin lyöntipaalut.



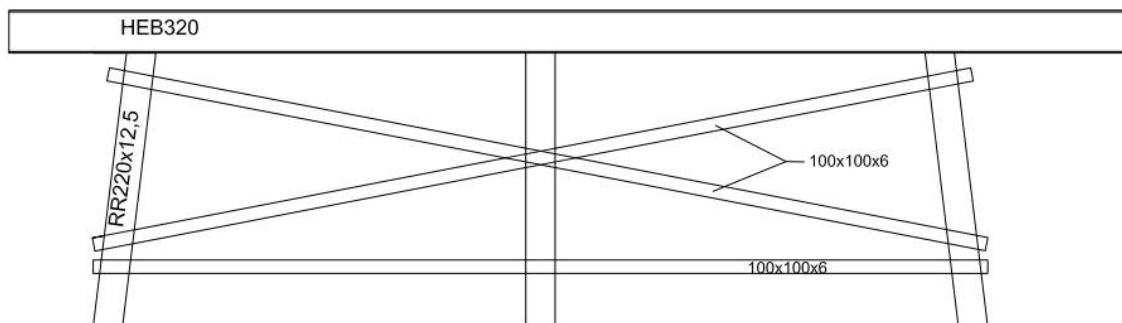
Kuva 5: Paalutustyö (Hakanen, 2018)

2.2.2 Niskapalkit ja paalujen reivaaminen

Tämä työvaihe aloitettiin jo laanilla katkaisemalla pitkät 12 metriä pitkät HE320B – palkit oikean mitaiseksi. Leikkaustyö tehtiin plasmaleikkurilla, jolla työ oli nopeinta suorittaa ja katkaisupinnasta saatiin siisti. Palkkien nostaminen kohteeseen suoritettiin kaivinkoneella nostoketjuilla, joiden päihin oli kiinnitetty palkkitarraitet. Palkkitarraitet ovat ehdoton työväline painavien palkkien nostamisessa turvallisesti.

Noston aikana ei telineillä ollut ketään töissä. Noston jälkeen palkki mitattiin paikalleen ja hitsattiin kevyesti paikalleen. Palkki saattoi jäädä irti jonkun paalun yläpäästä, jolloin joko painamalla palkkia kaivinkoneella alaspäin tai hitsaamalla paaluun jatko, saimme palkin käymään kohteeseen. Paalun yläpään ja niskapalkin a-mitta eli hitsausauman vahvuus oli 10. Puikolla hitsaamalla tämän sauman tekemiseen vei yhdeltä hitsarilta kolme tuntia eli paalurivin hitsaaminen 3 kappaletta paaluja vei yhdeltä hitsarilta koko työpäivän.

Kun jokainen paalurivin paalu oli kevyesti hitsattu palkkiin, paaluriville voitiin asentaa putkipalkit reivoiksi. Myös sekundääripalkit voidaan asentaa niskapalkin päälle välittömästi kevyen kiinnittämisen jälkeen. Näin ei kuitenkaan tehty, sillä tuulisiteiden ja reivojen laittaminen olisi vaikeutunut huomattavasti sekundäripalkkien vaikeuttaessa nostotyötä. Ristitukien a-mitta oli 7. Reivat hitsattiin ensin vaakaan ja sen jälkeen ristiin, missä hitsattiin kuvan 6 mukaisesti kolme putkipalkkia.



Kuva 6: Detalji paalurivin reivauksesta (Hakanen, 2020)

Yhden paalurivin niskapalkin ja reivojen hitsaamiseen kului aikaa 12 tuntia, lisäksi timpurit mittailivat, lyhensivät palkkia ja asensivat puoli tuntia per reiva ja kolme tuntia kului niskapalkin asennukseen, jonka työstämiseen sisältyy niskapalkin leikkaukseen kulunut aika. Kaivinkoneen työtunteja yhden paalurivin toteutukseen kului neljä, mutta varsinkin alkuvaiheessa varasillan rakentamista kaivinkone voi joutua odottelemaan seuraavaa työvaihetta. Kuvassa 7 näkyy valmis paalurivirakenne.

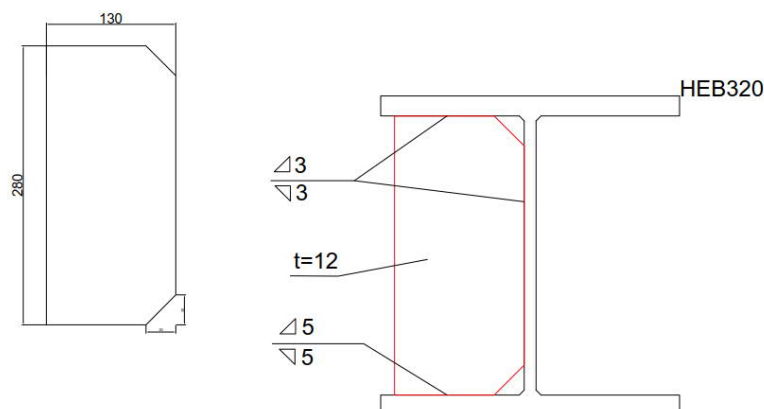
Paalutukseen sekä palkkien asemointiin kuluu aikaa mittausten osalta melko paljon. Paaluja sekä niskapalkin ja paalun liitosta koskevat toleranssit, jotka eivät saa ylittyä. Toleransseista tärkein on paalun sijainti, sillä jos paalu tulee huonosti asemoitua, niskapalkin toleranssit ylittyvät ja rakenne ei pysty siirtämään kuormia suunnitellulla tavalla maaperään. Mittauksiin ja mittaustekniikkaan tulee panostaa, jotta tämä ensimmäinen vaihe sillasta tulee oikein. Jokainen mittausvirhe aiheuttaa lisävahvikkeita lisättäväksi siltaan tai työvaiheen uusimisen ja näin rakennusaika pitenee sekä materiaalikulut kasvavat.



Kuva 7: Niskapalkki ja reivaustyö (Hakanen, 2018)

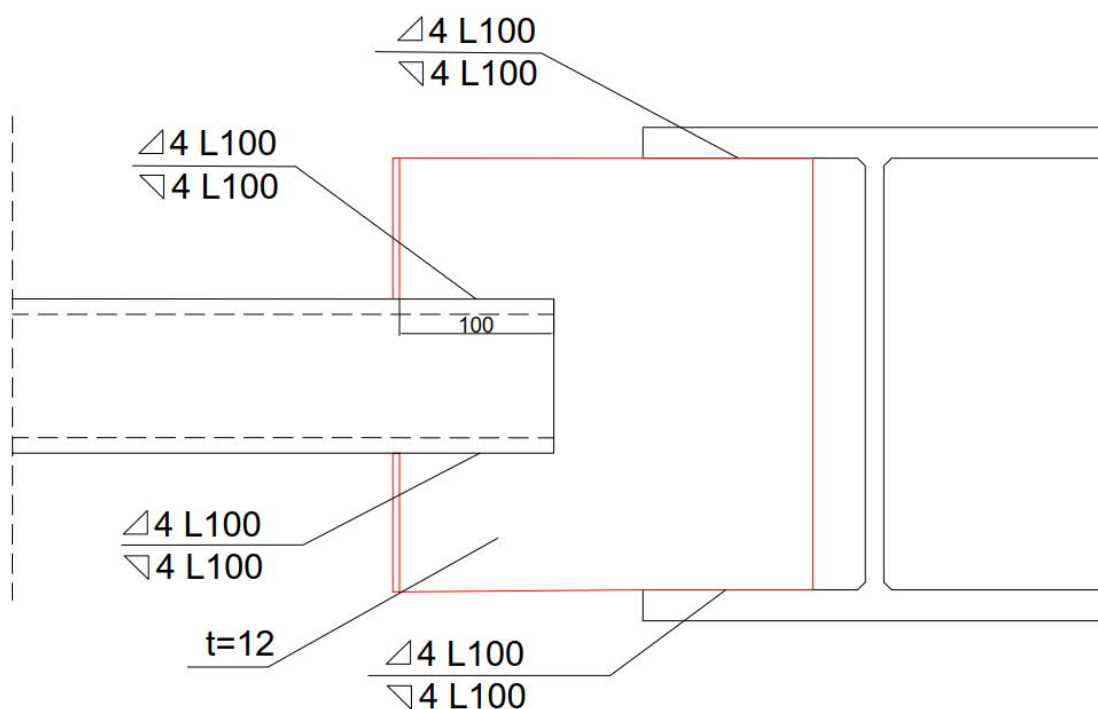
2.2.3 Uumavahvikkeet ja tuulisiteet

Niskapalkkien hitsauksen jälkeen tässä varasillassa alkoi pisin hitsaukseen liittynyt työvaihe. Niskapalkin uumaan täytyi hitsata kuvan 8 mukaisesti 12 mm teräksestä vahvikkeet jokaisen sekundääripalkin ja paalun kohdalle molemmin puolin niskapalkkia. Tämä työvaihe oli tarpeellinen liikennekuormien takia, isommilla paalu- ja palkkidimensioilla tämä työvaihe olisi voitu välttää. Uumavahvikkeita tuli varasillan niskapalkkeihin yhteensä 240 kappaletta ja jokaisen hitsaamiseen meni ammattihitsaajalta 0,75 tuntia eli kolme varttia.



Kuva 8: Uumavahvike detalji (Hakanen, 2020)

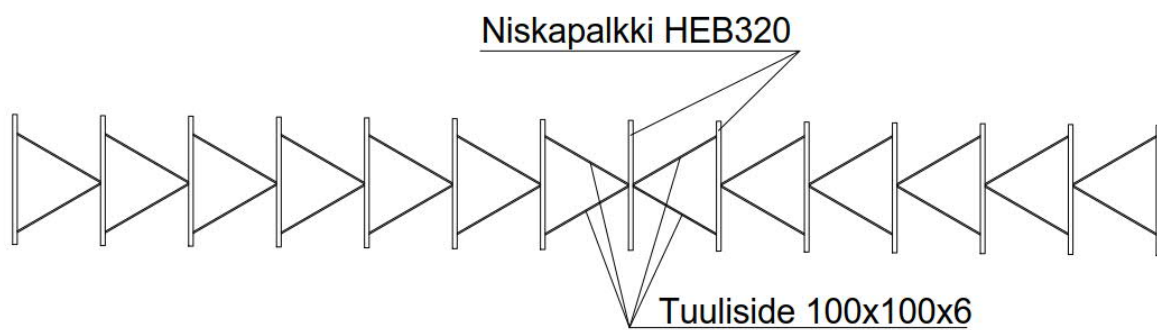
Tuulisiteet asennettiin ennen sekundääripalkkien asentamista, jotta nostossa voitiin käyttää kaivinkonetta apuna. Tuulisiteet asennettiin kuvan 10 mukaisesti kolmion muotoisena muotona kärki edellä rannalta katsottuna, puolessa välin varasiltaa kolmion suunta vaihtui aukinainen sivu vastarannalle päin. Niskapalkkiin asennettiin hitsaamalla kuvan 9 mukaisesti 12 mm teräksestä teräspalat oikeaan asentoon, joiden väliin nostettiin itse tuuliside. Tuuliside oli 100*100*6 teräsputkipalkki, mihin lovettiin 100 mm syvä kolo molempiin päihin putkipalkkia.



Kuva 9: Detalji tuulisiteen liitos niskapalkkiin (Hakanen, 2020)

Tuulisiteiden pituuksia ei voinut etukäteen mitata, vasta kun niskapalkin uumassa oli teräspalat tuulisidettä varten. Myös paalurivien etäisyys toisiinsa vaihteli toleranssien rajoissa, mikä vaikutti tuulisiteiden pituuteen. Näin ollen timpureita tulee olla työn suorituksessa kaksi kappaletta ja tällä työ-

ryhmällä yhden paaluvälin tuulisteiden tekoon meni 1,5 tuntia. Lisäksi hitsaamiseen kului aikaa neljä tuntia ja kaivinkonetta tarvittiin tuulisteiden nosteluun tunnin verran, jotta päästiin yksi paaluväli eteenpäin. Kuvassa 11 näkyy valmis vahvistettu niskapalkki.



Kuva 10: Detalji tuulisteiden asemasta sillassa (Hakanen, 2020)



Kuva 11: Uumavahvikkeet ja tuuliseit niskapalkissa (Hakanen, 2018)

2.2.4 Sekundääripalkit ja jarrupalkisto

Sekundääripalkkeja eli sillan pituussuuntaan kulkevia 12 metriä pitkiä HE240B – palkkeja päästiin asentamaan kun kolme paaluriviä oli valmiina tuulisiteineen. Paaluvälin ollessa 5,7 metriä, yksi sekundääripalkki ottaa kolmeen niskapalkkiin kiinni. Palkkijonoja tuli yhteensä seitsemän kappaletta kuvan 12 mukaisesti rinnakkain, joiden limitys oli ratkaistu niin, että joka toinen palkki meni pitkänä paalurivistä yli ja joka toiseen tuli limitys. Sekundääripalkit hitsattiin kauttaaltaan, jokaiselta neljältä sivulta, a-mitalla 5 niskapalkkiin. Limityksen kohdalla palkit hitsattiin myös uuman yläpäästä toisiinsa 300 mm matkalla. Lisäksi sekundääripalkkeihin hitsattiin uumavahvikkeita, mikäli palkki jatkui niskapalkin yli pitkänä.



Kuva 12: Sekundääripalkki jonot (Hakanen, 2018)

Yhden liitoksen hitsaamiseen ammattihitsaajalta kului aikaa 1,5 tuntia ja liitoksen johon tuli uumavahvikkeita, hitsaajalta kului aikaa 2 tuntia. Tähän työvaiheeseen sattui myös sadepäiviä, jolloin työsaavutus oli puolet hitaampaa. Työsaavutus oli puolet hitaampaa, vaikka työkohte suojattiin suoralta sateelta, vettä valui työsaumaan ympäriltä ja rakennetta joutui lämmittämään kaasuliekillä.

Jarrupalkistolla tarkoitetaan silltapenkereen sisään jäävää rakennetta, jonka tarkoituksena on nimen-
sä mukaisesti jarruttaa, eli estää varasillan liikahtaminen eteen tai taakse päin. Kuvassa 12 näkyy
penkereelle tuleva ensimmäinen palkki, mistä alkaa sillan kansi. Kuvassa 12 etualalle jäävä palkki
siirrettiin kolmen metrin päähän kannen aloittavasta palkista kuvan ottajan suuntaan. Tähän väliin ei
tule tuulisidettä, uumavahvikkeet kylläkin normaalilla kaavalla eli sekundääripalkin alle molemmin
puolin. Jarrupalkin kohdalle tuli vain 4 sekundääripalkkia limityksestä johtuen.

Palkkien ja vahvikkeiden hitsaamisen jälkeen niskapalkkien väli jarrupalkistossa täytettiin ja tiivistet-
tiin murskeella ja sekundääripalkkien väliin niskapalkkien päälle hitsattiin sillan pituussuuntaan Lar-
sen 603 – teräsponttilevyt. Ponttilevyjen tarkoitus on toimia siirtymärakenteena sillan ja penkereen
välillä ja estää päällysteen ratkeaminen. Teräsponttilevyt toimivat siis siirtymäläattana, valmis jarru-
palkisto on kuvattuna kuvassa 13.

Kiertotie oli käytössä yli vuoden ja painumista tai päällysteen ratkeamista ei esiintynyt, joten siirty-
mälaattarakenne toimi loistavasti ja oli nopea toteuttaa. Jarrupalkistoon ja penkereen tiivistämiseen
rakenteen alla kiinnitettiin erityistä huomiota, sillä emme halunneet uusia päällystettä tai korjata
painumasta johtuvia vaurioita sillankorjaustyön aikana. Tavoitteeseen päästiin, joten säästyimme
korjauksista johtuvilta kustannuksilta.



Kuva 13: Jarrupalkisto (Hakanen, 2018)

2.2.5 Kaiteet

Sillassa täytyy olla kaiteet eli törmäyssuoja. Varasiltaan oli suunniteltu harva H2 – tyyppin kaide. Harva kaide sisältää vain yläjohteen ja törmäysjohteen. Loppulisen kaiteen toteutusidea syntyi vasta työmaalla, jotta kansirakenteesta saatiin kaikin puolin toimiva. Työvaiheet kaiteet, sillan kansi ja kannen päälle tulevat rakennekerrokset liittyvät toisiinsa rakennusvaiheessa. Näistä nopein vaihe tehdä on rakennekerrokset kannen päälle, hitain kolmesta työvaiheista on kaiteet. Kaiteet kuitenkin alkavat työvaiheista ensimmäisenä.

Kaiteiden teko alkoi hitsaamalla kahden metrin välein HE140B – palkkeja sillan reunimmaisten sekundääripalkkien päälle, kuten kuvassa 13 näkyy. Tämä palkki sijoitettiin lähtemään keskeltä sekundääripalkin yläpintaa, jotta kansilankutuksen pelkoille jää tukipinta-alaa palkin kohdalla. Kyseessä oleva HE140B – palkki hitsattiin lähtöpäästään kolmelta sivulta a-mitalla 5 sekundääripalkkiin ja jättopäästä eli ulkolaidasta vain sivuilta reunimmaiseen sekundääripalkkiin. Yhden palkin hitsaamiseen puikkohitsaus menetelmällä kului aikaa 0,5 tuntia. Lisäksi laanilla kului palkkien katkomiseen yhdeltä timpurilta kaksi työpäivää. Timpuri lyhensi samalla kaiteen tolpat, jotka tulivat samasta HE140B-palkista.

HE140B – palkkien päälle mitattiin paikalleen niin sanotut reunapalkit. Alajuoksun puolelle siltaa oli valmiiksi hankittua HE450B – palkkia, mihin oli valmiiksi asennettu H2 harva sillankaide. Kuvassa 14 esitetään alajuoksun puoleinen reunapalkki, jonka päällä kaiteet. Tämä kuitenkin ei ollut rakenteen kannalta paras vaihtoehto, sillä päällysteen pinta jäi tällä puolella HE450B – palkin yläpinnan laipan alapuolelle. Toiselle puolelle tehtiin reunapalkin HE320B – palkista, jolloin päällysteen yläpinta tulee juuri ylälaipan päälle, ja 320 mm korkea teräspalkki toimii rakenteessa matalana reunapalkkina. Nämä reunapalkit hitsattiin jokaiseen HE140B – palkkiin ulko- ja sisäpuolelta. Sisäpuolelta hitsattiin a-mitalla 7 ja ulkopuolelta a-mitalla 5. Reunapalkin jatko hitsattiin kauttaaltaan a-mitalla 5.



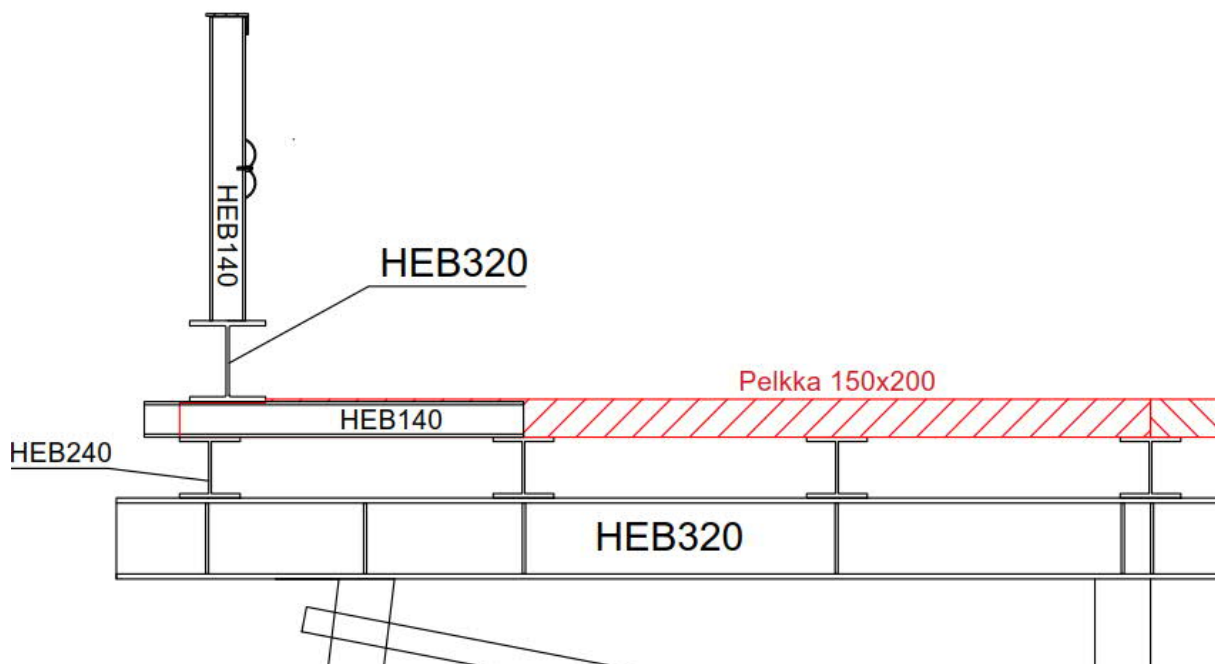
Kuva 14: Alajuoksun puoleinen HE450B – reunapalkki, jonka päällä kaiteet (Hakanen, 2018)

Yläjuoksun puolelle hitsattiin HE320B – reunapalkin päälle k2000 – jaolla kaidetolpat HE140B – palkista. Tolpat hitsattiin palkin laippa sillalle päin kauttaaltaan alapäästään reunapalkkiin. Tolpan takasauma oli a-mitalla 5, keskilinjan puoleinen sauma a-mitalla 7. Kaidetolppien kohdalla leikkauspintaan tulee kiinnittää huomiota, sillä epätasainen pinta vaikeuttaa merkittävästi tolpan hitsaamista ja tolpan suoraan asentamista ja hidastaa työsuoritusta puikolla hitsattaessa. Tolppiin kiinnitettiin 160*5 L-rauta hitsaamalla yläjohteeksi ja törmäysjohteelle poltettiin tai porattiin tolppaan pultille reikä. Yläjohteeseen jätettiin liikuntasauvoja 12 metrin välein.

Yhden reunapalkin alla olevan HE140B – palkin hitsaamiseen kului aikaa 0,5 tuntia, reunapalkin jatkokseen aikaa meni 1,5 tuntia, kaidetolpan hitsaamiseen 0,5-0,75 tuntia riippuen tolpan leikkauspinnan suoruudesta. Lisäksi kaivinkonetta tarvittiin palkkien nostamiseen ja tolppien tuomiseen lähemmäs kohdetta ja timpureita tarvittiin reunapalkin paikalleen mittaukseen.

2.2.6 Kansi

Varasillan kansi rakennettiin puupelkoista, jotka olivat poikkileikaukseltaan 150*200 mm. Nämä pelkat asennettiin vieriviereen poikittain sillan suuntaan nähden leveämpi eli 200 mm leveä puoli alapäin. Näin pelkan korkeudeksi tuli 150 millimetriä. Sillan reunoihin asennetun teräksisen reunapalkin ja sekundääripalkin väli on 140 millimetriä. Pelkkaa täytyi viistää yhden senttimetrin verran, kun pelkka työnnettiin reunapalkin alle. Pelkan täytyi myös ylettää tukevasti reunimmaisena sekundääripalkin päälle. Tästä syystä kuvasta 19 näkee kuinka pelkkojen päät juoksevat kaiteen ulkopuolella eri kohdassa, kun sekundääripalkin limitys vaihtuu. Kuvassa 15 on pelkan asennuksesta detalji.



Kuva 15: Detalji pelkan asennuksesta (Hakanen, 2020)

Pelkkojen asennuksessa työryhmänä oli kaksi timpuria sekä kaivinkone. Pyöräkuormaajalla toimitettiin pelkkanippuja kohteeseen työn aikana. Pelkkojen limitystä vaihdettiin joka toisessa rivissä ja li-

mityksen tuli tapahtua sekundääripalkin päällä. Kaivinkoneella pelkkojen työntäminen kaidepalkin alle oli kätevää sekä puunipun tuominen lähemmäksi helpotti timpureiden työsuoritusta. Tämän lisäksi kaivinkoneella tuli vetää aika ajoin tehtyä puukantta tiiviimmäksi ja hitsata limityksen kohdalle teräspala pitelemään tehtyä kantta tiiviisti yhdessä. Pelkalle ei sallita poikki- tai pituussuuntaista liikettä, mikä estetään pelkkojen tukeutumalla toisiinsa ja vasten kaiteen alla olevaa HEB – palkkia eli reunapalkkia.



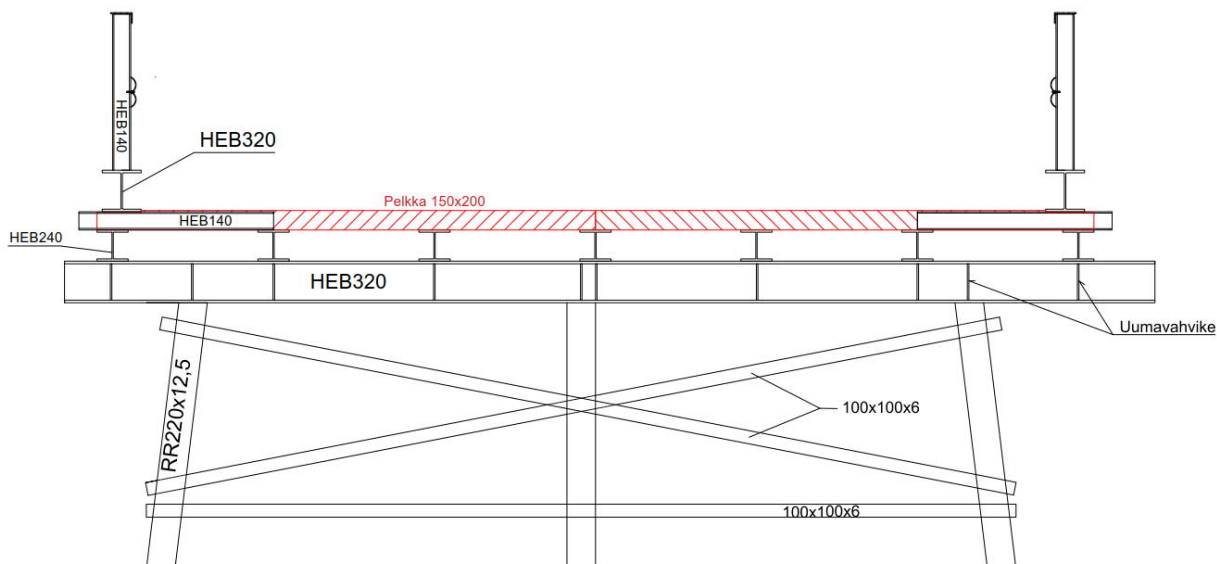
Kuva 16: Pelkkakannen aloitus (Hakanen, 2018)

Kaide- eli reunapalkin alla olevien HE140B – palkkien kohdalla käytettiin puusta tehtyjä kiiloja tukemaan puupelkkoja tiivisti toisiinsa. Kuvassa 16 näkyy vasemmalla kiila pitelemässä pelkkoja tiiviisti. Pelkat sahattiin toisinaan muotoonsa, jolloin rakoa puun ja teräksen väliin ei jäänyt. Puukiilat osoittautuivat nopeimmaksi vaihtoehdoksi työn edetessä, puun ja teräksen väliin jäävä rako tukittiin vanerilevyllä. Tehty kansirakenne oli erittäin nopea toteuttaa ja toimi loistavasti seuraavaa työvaihetta ajatellen, mikä on rakennekerrokset.



Kuva 17: Pelkkakansi (Hakanen, 2018)

Työryhmän kaksi timpuria ja kaivinkone työsaavutus työvuorossa oli parhaimpana päivänä neljä pelkkanippua päivässä. Tämä tarkoittaa noin 520 metriä puupelkkoja eli 100 neliömetrin työsaavutusta työvuorossa. Pelkkakannen teko on huomattavasti nopeampaa kuin muut ympärillä olevat työvaiheet, joten tällä idealla sillan kantta tehtäessä on syytä antaa kaiteen tekemiselle etumatkaa. Kuvassa 17 esitetään valmis pelkkakansi. Siltarakenteen poikkileikkaus esitetään kuvassa 18.



Kuva 18: Paikalla tehdyn varasillan poikkileikkaus (Hakanen, 2020)



Kuva 19: Rakennusvaiheen yleiskuva (Hakanen, 2018)

2.2.7 Pintarakenne

Koska edellisten työvaiheiden takia sillan kannesta ja kaiteista saatiin tiivis paketti, ei rakennekerrosten teossa ollut ongelmaa. Siltapenkereet olivat kantavaa kerrosta vailla, kun kannelle päästiin levittämään murskettä. Näin kiertotien kantavan kerros voitiin tehdä kerralla valmiiksi, kuten kuvasta 21 näkee. Sillan kannen päälle levitettiin suodatinkangas, minkä päälle tuli kantavan kerroksen murskettä 250–300 mm sivukallistuksesta johtuen. Kuvassa 20 esitetään tämä työvaihe.

Erikokoisista kaiteen alla olevista reunapalkeista johtuen alajuoksun puolelle tuli niin sanottu korkea reunapalkki, jolloin hulevesiä ei pääsyt valumaan tien pinnalta kaidepalkin yli jokeen. Tämä ei kui-

tenkaan aiheuttanut lammikoitumista tai painumista rakenteen pintaan. Toimivampi ratkaisu oli kuitenkin yläjuoksun puolelle asennettu HE320B – palkki kaiteen alle, jolloin päällysteen yläpinta tuli palkin yläpintaan. Näin kaiteen alla ollut teräspalkki toimi rakenteessa matalana reunapalkkina ja hu-
levedet pääsivät vapaasti valumaan pois sillan kannelta. Asfalttipäällysteen paksuus oli sillalla 100 millimetriä. Päällystetyyppinä käytettiin asfalttibetonia, jonka tyyppi oli AB16/120.

Lopputuloksena oli onnistunut ja olosuhteisiin nähden hyvin toteutettu. Valmiista rakenteesta ovat kuvat 22 ja 23. Murskekerros päällysteen ja pelkkäkannen välissä vaimensi metelin sillan alla täysin olemattomaan. Ellei rekka mennyt ohi, ei sillan alla kuullut autojen ylittävän siltaa. Varasillan käytön aikana havaittiin hieman teräspaalujen painumista, joten paalutukseen olisi tullut kiinnittää enemmän huomiota. On myös mahdollista, että osa paaluista on jäänyt ison kiven päälle, jolloin painumista ei lyömisvaiheessa voinut ennustaa. Kuten aikaisemmin todettu, varasillan korjaustoimenpiteisiin ei tarvinnut ryhtyä sillan käytön aikana.



Kuva 20: Rakennekerroksen levitys (Hakanen, 2018)



Kuva 21: Kiertotie lähellä käyttöönottoa (Hakanen, 2018)



Kuva 22: Valmis paikallaan tehty varasilta (Hakanen, 2018)

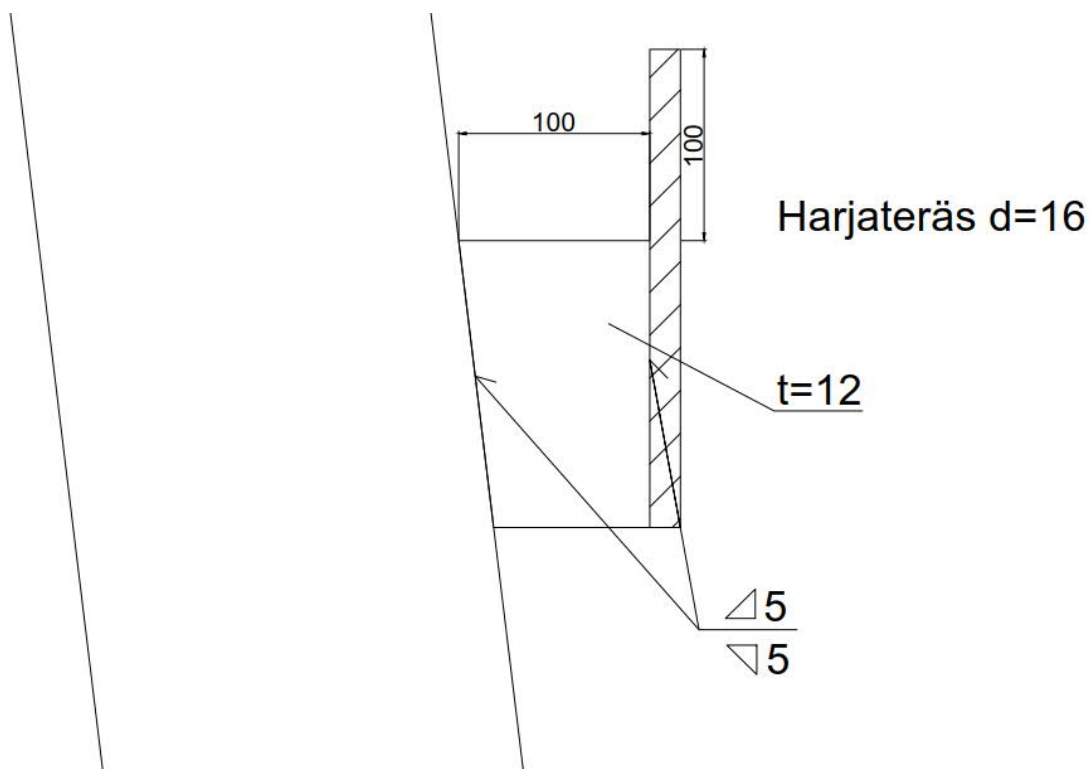


Kuva 23: Varasilta alhaaltapäin (Hakanen, 2018)

2.2.8 Telinetyöt

Varasillan rakentamiseen sisältyy myös telinetyöt, sillä monikaan sillan kannen alapuolella ollut työvaihe ei olisi onnistunut ilman telineitä. Tämä telineidea syntyi työmaalla. Vaikka vettä oli vähän, ei urakoitsijalla ollut aikaa tehdä puusta telineitä koko matkalle. Varasillan rakentamiseen keksittiin telinerakennelma, jonka voi toteuttaa myös, mikäli sillan kansi on korkeammalla veden pinnasta tai vettä on reilummin joessa.

Teräspaalujen kylkeen hitsattiin pienet telinekannattimet, jotka olivat tehty L-muotoon 12 mm teräslevystä ja 16 mm harjaterästangosta. Telinekannattimesta on detalji kuvassa 24. Tämän korvakkeen ja paalun väliin jäi 100 mm tilaa 100*100*6 putkipalkkia varten. Käytetty putkipalkki oli samankoinen kuin paalujen reivaamisessa. Korvakkeet hitsattiin paalujen kylkeen niin, että 12 metrin putkipalkki menee paikalleen. Näin ollen joka kolmannessa paalussa kannattimet hitsattiin molemmin puolin, kun edellinen palkki loppui ja uusi alkoi. Tästä limityksestä johtuen putkipalkki saatiin juoksemaan koko sillan matkalla eri puolella paalua. Työtason kannattimena toiminut putkipalkki nostettiin kannattimien sisään ja palkkia ei hitsattu kannattimeen kiinni.



Kuva 24: Telinekannattimen detalji (Hakanen, 2020)

Penkereellä koottiin työskentelytasanteita kaiteineen ja työskentelytasanteet nostettiin kaivinkoneella putkipalkkien päälle aina molemmille puolille paaluriviä. Välikulkusillat työtasojen välillä tehtiin telinoiden päällä, mutta nekin olisi voinut tehdä penkereellä. Yksi teline tehtiin puusta, joka seiso joen pohjassa. Tätä telinettä käytettiin työn edetessä siellä, mihin putkipalkki loppui. Tämän telineen olisi voinut korvata pidemmällä putkipalkeilla ja samanlaisella työtasolla, mutta putkipalkkeja ei haluttu jatkaa.

Telineidea toimii myös, mikäli rakennetaan sillan päältä käsin varasiltaa eteenpäin. Haaste päältäpäin rakennetteassa tämän telinemallin osalta on päästä hitsaamaan telinekannattimet paalujen kylkeen, nyt kannattimet päästiin hitsaamaan vedestä käsin seisomalla. Työtelineet ovat esitettynä kuvassa 25.

Työn liikkuvan ja nopeasti etenevän luonteen takia varasiltaa tehtäessä kiinteät telineet nopeuttivat työskentelyä huomattavasti. Eri rakenneosien hitsaamista tapahtui isolla matkalla siltaa, eikä liikkuminen työkohteesta toiseen olisi ollut mahdollista ilman kunnan telineitä. Telineisiin voitiin myös toteuttaa hyvin sähkökaapeleiden vienti telinekannattimia ja kaiteita pitkin, jolloin paksut kaapelit eivät olleet telineillä tiellä kompastumisriskinä. Telineiden purkaminen oli myös helppoa, sillä putkipalkkia ei hitsattu telinekannattimeen kiinni.



Kuva 25: Varasillan työtelineet (Hakanen, 2018)

2.2.9 Purkaminen

Kiertotien sekä varasillan purkaminen aloitettiin Siikajoen sillan korjaustyön valmistuttua. Ensimmäisenä purettiin asfaltti sekä sillan rakennekerrokset. Varasillan purkamistyö eteni kaivinkoneella peruuttaen sekundääripalkin eli 12 metriä kerrallaan eteenpäin. Kaivinkoneen apuna oli kaksi kirvesmiestä sekä hitsaaja polttoleikkausvälineineen.

Sillan purkaminen aloitettiin poistamalla kateet poistettavan sekundääripalkin matkalta eli kaidetta purettiin 12 metriä kerrallaan. Reunapalkkina toiminut palkki katkaistiin polttoleikkaamalla ja alapuolisia hitsausseamoja poistettiin, niin että saumasta oli jäljellä noin 3-5 senttimetriä. Näin ei ollut vaaraa kappaleiden itsestään putoamiselle. Kaivinkone ravisutti palkit irti alustastaan ja nosti pois lavetin kyytiin, mikä odotti kaivinkoneen ulottuman päässä. Kaiteet poistamalla kannen puupelkat purkautuivat nopeasti kaivinkoneella lavetin kyytiin.

Itse sillan teräosien purkaminen alkoi sekundääripalkeista ja niiden päällä olleista HE140B – teräspalkeista. Sekundääripalkeista hiottiin hitsausseamat rikki kulmahiomakoneilla, apuna käytettiin myös polttoleikkausta. Hitsausseamoja ei tarvinnu hioa pois täydellisesti, sillä kaivinkoneella kopautamalla osittain hiottu ja poistettu saumat ratkesivat melko helposti. Työ eteni sekundääripalkkien mittaisissa lohkoissa eteenpäin. Sekundääripalkkien jälkeen tuulisiteet ja reivat katkaistiin, mutta uumavahvikkeisiin ei koskettu.

Tämän työvaiheen jälkeen sillasta oli jäljellä paalurivit, joiden päällä oli niskapalkit paikallaan. Hitsaaja kävi nostokorista käsin katkaisemassa paalun ja niskapalkin sauman polttoleikkaamalla, niin että saumasta jäi noin viisi senttimetriä jäljellä. Näin kaivinkone pystyi itseksensä suorittamaan turvallisesti niskapalkin ravistamisen pois paalujen päältä ja nostamaan paalut pois joesta.

Varasiltaan käytetystä teräsmateriaalista voitiin uusiokäyttää noin 95%, reivaamiseen käytetty putkimateriaali meni purkamisessa piloille. Paalujen painumasta johtuen muutama sekundääripalkki oli taipunut, jotka vaatisivat suorentamista tai lyhentämistä, mutta lähes kaikki saatiin talteen. Kokonaisuudessaan varasillan purkaminen vei kaksi viikkoa ja koko kiertotien purkaminen kuusi viikkoa siistimisineen, sillä siltapenkereitä ei voitu purkaa ennen kuin puu- ja teräskappaleet oli saatu kuljetettua välivarastoon laanille. Purkamiseen liittyy myös teräksen rahtauksen kustannukset, kun palkit ja pelkat toimitetaan lopulliseen varastointipaikkaan.

2.3 Aikataulu

Paikalla tehdyn varasillan rakentaminen tällä menetelmällä vei yhteensä 7,5 työviikkoa. Tähän aikaan ei ole sisällytetty kiertotien pengertämistä. Resurssien suuri määrä joudutti varasillan valmistusta. Parhaimmillaan varasilltaa oli hitsaamassa kuusi ammattihitsaajaa sekä muutama timpuri. Koska yrityksen timpureilla ei ollut luokkahitsauspätevyyskysymyksiä, he pystyivät hitsaamaan vain saumoja, joille ei ollut määritelty a-mittaa.

Kiertotie ja siten paikalla tehty varasilta oli käytössä 12 kuukautta. Siikajoen sillan 12 kuukauden korjaustyön aikaa käytän vakiona verrattaessa varasillan materiaalin ostoa kalustosillan vuokraan. Varasillan purkaminen joutui hyvin nopeasti, purkamiseen kului aikaa vain 2 työviikkoa.

3 KALUSTOSILTA

3.1 Lähtökohdat

Urakka-asiakirjoissa oli määrätty käytettäväksi Universal-varasiltajärjestelmää. Theseuksessa julkaistussa opinnäytetyössä (Ternola, 2017) kuvataan Universal-varasiltajärjestelmän rakentamista yksinkertaiseksi sen vakio-osien ansiosta. Keskenään samanlaisista osista voidaan rakentaa jännemitaltaan, kantavuudeltaan ja tyypiltään eriäviä kokonaisuuksia. Siltarakenteen tyyppin valinta ja mitoitus tehdään jännevälän ja tarvittavan kantavuuden perusteella. Universal-kalustolla saavutetaan edeltäjiään pidempi jännemitta, ja se voidaan mitoittaa riittävän lujaksi raskaillekin liikennekuormille.



Kuva 26: Kalustosilta (Väylävirasto, 2017)

Yksikaistainen, hyötyleveydeltään 4,2 metriä leveä rakenne voidaan rakentaa jännemitaltaan jopa 67,5 metriä pitkäksi, kun se mitoitetaan vuoden 1990 ajoneuvoasetuksen mukaiselle moniakseliselle ajoneuvolle. Samassa tarkastelussa järjestelmän kaksikaistainen, hyötyleveydeltään 7,4 metriä leveä versio ylittää 58,5 metrin jännemittaan. (Ternola, 2017)

Vuoden 1990 mitoitusperusteita ei voi verrata 2010-luvulle, oletettavasti ajoneuvojen painojen noustessa, jännemitta tällä siltajärjestelmällä lyhenee. Käydyn keskustelun perusteella Luokkakallio (2020-1-23) mainitsi, että tässä kyseisessä kohteessa mitoitusajoneuvona oli monta peräkkäin

olevaa 5-akselista maansiirtokuorma-autoa. Uuden asetusten mukaisia pitkiä rekkoja ei olisi sillalle mahtunut täysin kahta peräkkäin. Täysin peräkkäin tarkoittaa, että yhdistelmien kaikki akselit olisivat olleet yhtä aikaa sillan kannella.

Kalustosillasta olisi tullut yhtä pitkä kuin paikalla tehdystä varasillasta eli 80 metriä pitkä. Näin pitkä kalustosilta olisi vaatinut teräsbetoniset maatuet sekä yhden virtapilarin, joka olisi täytynyt porapaaluttaa tukevasti kallioon. Virtapilarin tukevaa kiinnittymistä alustansa tarvitaan Siikajoen voimakkaan sulamisvesien takia keväällä. Sulamisvedet kuljettavat mukanaan valtavasti isoja jäälohkareita ja kovalla vauhdilla osuessaan virtapilariin, saattaa virtapilari siirtyä ja silta menettää tukensa romahtaen alas.

Paikalla tehtyyn varasiltarakenteeseen verrattuna myös siltapenkereet ja täten koko kalustosilta tässä kohteessa olisi täytyneet tehdä 1,5 metriä korkeampana. Korkeampi siltapenger olisi tullut kyseeseen kalustosiltaa tunkattaessa paikalleen, jotta sillan tunkkaus onnistuu suunnitellussa mitassaan kokonaisuena. Mikäli siltapenger olisi ollut kuten paikalla tehdyssä varasillassa, ei kalustosiltaa olisi voinut tunkata kokonaisuena paikalleen, vaan pilkkoa tunkkausta monen lohkon tunkkaukseen. Tämä pidentäisi kiertotiehen käytettyä rakennusaikaa, mikä ei yksinkertaisesti sovi kiertotietä rakennettaessa.

3.1.1 Urakkalaskentavaihe

Kalustosillan urakkalaskenta on selvästi pienempi verrattuna paikalla tehtyyn varasiltaan. Siltajärjestelmien toimittajia on vain yksi. Huolenaiheeksi muodostuu monesti, missä kalustopaketit sijaitsevat rakentamisen hetkellä, sillä urakoitsijan tehtäviin kuuluu kalustopaketin kuljettaminen työkohteeseen. Toimitus ei sisälly kalustosillan vuokrahintaan. Lähtökohtaisesti varasiltajärjestelmät säilytetään joko Forssassa tai Rovaniemellä, riippuen siitä, missä niitä on viimeksi käytetty.

Varasiltajärjestelmää suunniteltaessa täytyy panostaa itse sillankorjauksen toteutukseen ja sen aikatauluun, sillä kuluja laskettaessa urakkalaskentavaiheessa, täytyy pystyä vuokra-aika määrittämään mahdollisimman tarkasti. Vuokrahinta yhdelle kuukaudelle määräytyy siitä kuinka paljon siltakalustoa tarvitaan ja kuinka pitkä vuokra-aika on. Kuukausivuokra pienenee portaittain vuokra-ajan pidentyessä. Esimerkkinä tässä kohteessa ensimmäisen kuukauden vuokra verrattuna 12. kuukauden vuokraan olisi ollut 66 % isompi.

Urakkalaskentavaiheessa täytyy määrittää teräsbetonisten maatuokien ja virtapilarin muottien neliöt, tilavuus sekä raudoituksen paino kilogrammoina määritettäessä paikalla valetun betonin kustannuksia. Virtapilari nimensä mukaisesti rakennetaan virtaan eli keskelle jokea, joten laskennassa suosittelun varovaisempaa työmenekkiä muottityölle sekä raudoitukselle.

3.1.2 Suunnittelu

Tähän kohteeseen urakkalaskentavaiheen suunnitelma olisi ollut pengertää virtapilarin muotin pohja vesipinnan yläpuolelle ja porapaaluttaa pengerryksen läpi kallioon. Näin muottityö olisi voitu toteuttaa täysin kuivatyönä, eikä kasuunin pohjalle tulevaa niin sanottua roskavalua olisi tarvittu. Betonointiin olisi täytynyt käyttää pumppua, joka ulottuu penkereeltä 40 metriä eteenpäin eli 42 metrin pumppauskalusto olisi riittänyt kohteeseen.

Maatuet kalustosillassa eivät tarkoita betonisillan tapaisia maatukia. Maatuet olisivat olleet isot, kymmenen metriä leveät ja viisi metriä pitkät, peruslaatat. Korkeampi siltapenger tarkoittaa, että maatukien teko olisi aikataulullisesti alkanut virtapilarin jälkeen. Korkeampi siltapenger mahdollistaa kalustosillan kokoamisen puolittain molempien penkereiden päällä ja tunkkaamisen yhdellä kertaa.

Kaksikaistainen, 80 metriä pitkä Universal-siltajärjestelmä tuotuna työkohteeseen tarkoittaa noin 15 rekallista rautaa ja pultteja. Näistä kasataan molemmille siltapenkereille yhdeksän lohkon eli 40 metrin mittaiset sillat odottamaan tunkkausta. Tunkkauksen jälkeen kiertotie valmistuu nopeasti penkereiden päällystämisen, ajolevyjen ja kaiteiden asennuksen jälkeen.

Kiertotiestä olisi tullut myös aavistuksen pidempi, sillä kalustosillan tunkkauspedin täytyy olla suora ja näin kiertotien kaarteesta olisi tullut jyrkempi, kun kiertotie kaartuu takaisin väylään päin. Eli mikäli kalustosilta olisi rakennettu täysin samaan kohtaan varasillan kanssa, olisi kiertotien pengerrus ollut korkeampi tunkkauspedin takia ja pidempi kiertotien kaarresäteen johdosta, koska kaarre olisi alkanut 35 metriä myöhemmin molemmilla puolilla siltaa.

3.2 Työntoteutus

Paikalla tehtyyn varasiltaan verrattuna hitsaajien aliurakointia ei kalustosillassa tarvita. Tosin ripeän toteuttamisen takia timpureita tarvitaan 6-8 kappaletta, sillä muottityötä ja raudoitusta tapahtuu yhtä aikaa kolmessa kohtaa siltaa. Kalustosillan lohkojen kasauksessa on hyvä olla neljä timpuria. Kalustosillan rakentaminen vaatii myös apukoneen raudan nostamiseen.

Kaivinkoneille ei ole kalustosiltaa tehtäessä yhtä vaativia vaatimuksia, mitoittavaksi tekijäksi tuleekin konetta valittaessa perinteinen maansiirtotyö, sen nopeus ja tehokkuus. Lisälaitteita nosteluun ei juuri tarvita, ainahan työmaalla jotain pientä pitää tuki nostella. Kalustosilta vaihtoehdossa penkereiden työmäärä on isompi, minkä voi sopeuttaa konetta valittaessa juuri oikeaksi.

3.2.1 Teräsbetoniset maatuet

Kun sillan tulopenkereitä on pengerretty tarpeeksi, tehdään penkereeseen maatuki, jonka tarkoituksena on siirtää sillalta tulevat kuormat alla olevaan penkereeseen. Suunniteltu maatuki olisi ollut kymmenen metriä pitkä, viisi metriä leveä ja metrin korkea. Työsuoritusta ajatellen maatuki tulisi valua valmiiksi viidessä työpäivässä neljällä timpurilla, jotka rakentaisivat muotit ja raudoittaisivat maatuen. Sama työryhmä tekisi maatuen myös toiselle puolelle uomaa.

3.2.2 Teräsbetoninen virtapilari

Virtapilarin rakentaminen alkaisi työvaiheista ensimmäisenä, sillä se vie eniten aikaa rakentaa. Kaivinkone pengertäisi penkereen veden pinnan yläpuolelle, ongelma tätä työvaihetta tehtäessä olisi kiviaineksen saaminen keskelle jokea. Mikäli kone joutuisi hakemaan jokaisen kauhan rannasta, olisi pengerrykseen kulunut kokonainen työpäivä tässä kohteessa.

Porapaalutus on kallista, mutta olisi ollut tässä kohteessa välttämätöntä. Paalutus lisää yhden työvuoron virtapilarin rakentamiseen. Muotti- ja raudoitustyö kohteeseen vie varmuuskertoimia käyttäen kaksitoista työpäivää kolmen hengen timpurityöryhmältä.

Oikeilla resursseilla tehtäessä maatuet sekä virtapilari valmistuvat betonointia varten yhtä aikaa ja betonointi kannattaakin tehdä yhdellä kertaa. Valamisessa on tärkeää käyttää dataloggereita betonin lämpötilan kehittymisen seurannassa. Betonin lujuus ja sen kehittyminen määrittää milloin sillan tunkkaus voidaan aloittaa, jolloin oikean hetken tietäminen on kriittistä kiertotien aikataulun kannalta.

3.2.3 Kalustosillan asennus

Kalustosiltaa tehtäessä ei työryhmän koon kasvattaminen jouduta sillan valmistumista yhtään. Kalustosillan lohkoja ei mahdu rakentamaan määräänsä enempää työntekijöitä. Neljän hengen työryhmä asennuskoneen avittamana kasaa tunkkausvalmiiksi 80 metriä kalustosiltaa eli 18 lohkoa neljässä viikossa, mikäli silta tehtäisiin vain yhdellä puolella silta. Tässä kohteessa kalustosiltaa kasataan molemmilla penkereillä eli 40 metriä toisella ja 40 metriä toisella puolen. Kuvassa 27 on käynnissä vastaavan kalustosillan rakentaminen, yhden lohkon kimpussa ahertaa neljä kirvesmiestä ja kaivinkone auttaa raskaiden rautaelementtien nostamisessa.



Kuva 27: Kalustosillan rakentaminen (Savon Kuljetus Oy, 2019)

Se, että kannattaako kahdella työryhmällä lähteä kasaamaan kalustosiltaa, määrittää betonin lujuuden kehitys. Betonin on täytynyt ottaa 80 % lujuudestaan ennen kuormittamista ja tämä tarkoittaa, että kalustosiltaa ei voida tunkata ennen kuin tämä lujuus on saavutettu. Dataloggerit tukien betonin sisällä auttavat varmistumaan oikeasta tunkkaushetkestä.

Toivonen (2018) kertoo esitelmässään, että betonin lujuuden kehitys vaihtelee betonin lämpötilan mukaan. 20 celsiusasteessa 80 % lujuudesta saavutetaan kymmenen päivän ikäisellä betonilla, mutta kymmenessä celsiusasteessa lujuuden kehitys 80 prosenttiin vie 20 päivää. Tähän tietoon nojaten, dataloggereiden antama data antaa hyvin valistuneen tiedon lujuuden kehityksestä. Paikalla valuista määrittävin lujuuden kehityksen kannalta on virtapilari, jota jäädyttää alla virtaava joki.

Toisaalta työmaalla on paikalla valettujen sillan osien työryhmät, joten kahdella työryhmällä työn suorittaminen on luontevaa, vaikka odottelua betoninlujuuden kehityksestä johtuen tulisikin. Tähän aspektiin kannattaa ottaa kiinni jo aikataulua suunniteltaessa, ettei työmaalla tarvitse enää arvailla.

Kalustosillan päälle ei tule paikalla tehdyn varasillan kaltaisia rakennekerroksia tai päällystettä. Siltajärjestelmään on sisällytetty ajoradalle teräksiset turkkilevyt, joita pitkin ajoneuvot kulkevat. Universal-siltajärjestelmän vuokraan tai tarvikkeisiin ei sisälly sillan kaiteet. Sillan matkalle täytyy asentaa vaatimusten mukaiset H2 - törmäysluokan kaiteet.



Kuva 28: Kalustosillan ajolevyt (Savon Kuljetus, 2019)

Kesällä rakenteen pinta sateella on melko liukas, mutta se ei vaadi kunnossapidollisia toimia suoralla osalla tietä. Talvikunnossapitoon kuluu rahaa kalustosillan teräksisten ajolevyjen sulana pitämiseksi.

3.2.4 Purkaminen

Kun liikenne on siirretty takaisin valtatielle, kiertotien purkaminen voidaan aloittaa. Kalustosillan osalta se tarkoittaa sillan tunkkaamista takaisin penkereelle ja purkamista. 80 metriä kalustosiltaa paketoituna rekkujen kyytiin vie neljältä timpurilta ja apukoneelta noin kaksi viikkoa, 10-11 päivää

aikaa. Tämä tieto perustuu aikaisempaan kokemukseen kalustosillan purkamisesta. Haasteena kalustosillan purkamisessa on kalustosillan pulttien irroitus. Kuusiokolo kantaisiin pultteihin on pakkautunut käytön aikana likaa, eikä näin ollen avaimet mahdu pulttien kantoihin. Silta tulee pestä korkeapainepesulla välittömästi tunkkauksen jälkeen, näin pulttien aukaisu käy nopeammin.

Samaan aikaan, kun kalustosilta saadaan penkereelle, voidaan aloittaa maatumien sekä virtapilarin purkaminen. Massiivivalut täytyy ensin hakata kaivinkone asenteisella hydraulivasaralla pienemmäksi ja sen jälkeen teräkset nipistellä pulverointikauhalla irti betonista. Virtapilarin yläosan purkaminen saattaa onnistua pelkästään pulverointikauhalla. Louhepenkka teräsbetonivalujen alla helpottaa betonin ja terästen keräämistä pois luonnosta. Puretun teräksen myynnistä yritys saa rahaa, mutta purkubetoniin liittyy jätemaksu. Tehokkaalla toiminnalla valut ovat kahdessa työvuorossa kasoina rannalla eriteltyinä. Niiden pois vienti tapahtuisi penkereen purkamisen aikana.

3.3 Aikataulu

Aikataulun määrittäminen on haastavaa, koska siihen vaikuttaa useat eri tekijät. Oletetaan, että betonin lujittumiseen kuluu aikaa 14 vuorokautta. Betonin lujittuminen ei siis häiritse rakennusvaiheiden aikataulutusta. Näin toteutus pysyy mahdollisimman sulavana, kuten paikalla tehdyssä versiossa oli.

Eri rakenneosat yhteen laskettuna määritettiin kalustosillan rakennusajaksi 6 työviikkoa. Virtapilarin rakentamisen hitaus tahdistaa alusrakenteiden aikataulun, sillä virtapilariin kuluu aikaa yhteensä betonoituna 15 työpäivää. Virtapilarin ohessa valmistuu maatumien muotit ja rauditus. Sillan kasaukseen menee kaksi viikkoa, päivässä tunkataan paikalleen, yksi päivä kuluu kiertotien päällystykseseen ja käyttöönottotarkastukseen ja vielä yksi päivä kuluu sillan kaiteisiin. Ajolevyjen asentaminen kalustosillan on laskettu lohkojen kasauksen yhteydessä toteutettavaksi.

4 VERTAILU

4.1 Rakennusaika

Alkuperäinen hypoteesini, kumpi siltavaihtoehto on nopeampi rakentaa, piti paikkaansa. Siikajoen sillan kiertotien varasilta olisi ollut nopeampi rakentaa Universal-kalustosiltajärjestelmää käyttäen. Molemmat rakennelmat olivat yhtä pitkiä 80 metrisiä varasiltoja, joilla hyötyleveyttä on yli seitsemän metriä. Kalustosiltapaketin etu rakennusajan puitteissa on nopea sillan pystytys. Betoniset alusrakenteet veivät itse asiassa aikaa enemmän kuin siltajärjestelmän pystyttäminen ja tunkkaus uoman päälle. Rakennusajassa kuitenkin on ero, joka on 1,5 viikkoa. Molemmat vaihtoehdot ovat yhtä nopeita purkaa.

Kalustosillan nopean kokoamisen lisäksi paalutus selittää rakennusaikojen eroja. Paalutustyö paikalla tehdyssä vei kokonaisen työviikon ja paalujen katkaiseminen korkoonsa kaksi työpäivää, ennen kuin niskapalkkeja voitiin alkaa nostamaan paalurivien päälle. Puoltatoista viikkoa ei kuitenkaan odoteltu, vaan varasillan edistymisen kannalta kolme paaluriviä kun oli lyöty, voitiin alkaa paaluja katkaista ja varasillan seuraavaa vaihetta tekemään. Sanoisin paalutuksen lisäävän kaksi työpäivää, loput reilun viikon työpäivät syntyvät isommasta työmäärästä.

Nopeasti ajateltuna puolentoista viikon ero rakennusajassa ei ole merkittävä sillan korjauksen aikataulun kannalta. Urakkaan on kuitenkin saatettu määrittää tilaajan toimesta liikennehaitta-aika, jonka lyhentäminen noin kymmenellä päivällä tarkoittaa isoa säästöä. Tässä urakassa kiertotien valmistuminen oli välitavoite ja se välitavoite pystyttiin toteuttamaan myös paikalla tehdyllä kalustosillalla. Näin ollen liikennehaitta-aika säästöä ei voi soveltaa tähän rakennuskohteeseen.

4.2 Työmäärä

Paikalla tehdyn varasillan rakentaminen vei siis 1,5 työviikkoa enemmän kuin kalustosilta rakenteen, joten työtä paikalla tehdyssä varasillassa on erotuksen verran enemmän. Tämä lisää yleiskuluja tälle ajalle, joille on mahdoton määrittää euromäärää, sillä jokaisen yrityksen organisaatio toimii eri tavoin. Kalustosillan etuna on aikasäästö rakennusvaiheessa.

Kalustosiltaa tehtäessä tämän työn esimerkillä, kahdeksan timpuria rakentaa siltaa kuusi viikkoa. Tämän lisäksi kaivinkonetta tai jotain muuta apukonetta tarvitaan alusrakenteiden tekemiseen sekä kalustosiltajärjestelmän kokoamiseen 4-5 viikon työtuntien verran. Kalustosiltajärjestelmää rakennettaessa voi yritys sisällyttää sillan rakentamiseen omaa työtä eli omia kirvesmiehiä ja koneita. Aliurakointiprosentti onkin varsin alhainen kalustosiltaa pystytettäessä, olettaen että yrityksellä on tietotaito kalustosiltajärjestelmän kasaukseen. Mikäli tietotaitoa ei ole, on syytä harkita aliurakointia työn toteuttamiseen. 80 metriä pitkä Universal-siltajärjestelmä on aloitusvaiheessa toivottoman kokoinen läjä rautaa ja pultteja.

Paikalla tehtyä varasiltaa rakensi keskiarvolla mitaten neljä timpuria, neljä ammattihitsaajaa sekä kaivinkone 7,5 työviikkoa. Kaivinkonetta tähän siltavaihtoon tarvitsee melkein puolet enemmän, mutta työntekijöiden määrä siltavaihtoehtoissa on suurin piirtein vakio. Näin pitkässä paikalla tehdyssä varasillassa resurssien määrän nostaminen jouduttaa työsuoritusta oleellisesti, mihin kalustosiltaa tehtäessä ei pystytä. Kahden viikon periodin ajan hitsaajia sillan kimpussa oli kuusi, mutta vastavasti silloin timpureille ei ollut yhtä paljon töitä. Näin kahdeksan timpuria ja ammattihitsaajaa pysyi suurin piirtein vakiona koko 7,5 viikon rakennustyön ajan.

Paikalla tehdyn varasillan aliurakointi prosentti vaihtelee 50 prosentin tuntumassa, riippuen siitä, onko kaivinkone aliurakointia vai yhtiön oma. Tässä tapauksessa kaivinkone oli aliurakoitsijan, joten tämän sillan toteutuksen aliurakointiprosentti oli 60%, mikä on melko iso. Molemmissa siltaversioissa piti paaluttaa, mutta rahallisesti pienen kohteen porapaalutus maksaa yhtä paljon kuin koko sillan paaluttaminen lyömällä. Toki koko sillan lyöntipaalutus vie enemmän aikaa, mikä osaltaan selittää rakennusajan eroa.

4.3 Varasiltamateriaalien hankinta verrattuna vuokrahintaan

Iso kysymys, jonka vastaus on yksinkertainen, mutta monimutkainen, kun puhutaan vuokran ja hankinnan eroista. Vuokran maksaminen rakennusliikkeelle on siinä mielessä ikävää, että vuokran maksamiseen ei pysty soveltamaan osakeyhtiön etuja verotuksessa ja poiston suunnittelussa. Myös vuokra-ajan päätyttyä vuokratut tavarat täytyy palauttaa, jolloin yhtiön omaisuus ei kasva kuten esimerkiksi varasillan teräksen hankinnassa.

12 kuukauden vuokra-ajalla laskettuna Universal-siltajärjestelmän vuokrahinta on pienempi kuin paikalla tehdyn varasillan teräsmateriaalin hankinta. Teräksen ostaminen tässä urakassa oli noin 10 prosenttia kalliimpaa kuin 12 kuukauden kalustosillan vuokra. Rajapiste vuokrakuukausissa on 14 kuukautta, jolloin teräksen ostaminen yritykselle olisi ollut halvempaa kuin kalustosillan vuokraaminen. Ero ei siis ole iso, vain muutama kymmenen tuhatta euroa.

Mikäli Siikajoen sillan päällysrakenteiden korjaus ei olisi jatkunut talven yli seuraavalle vuodelle, oman varasilta kalustomateriaalin ja kalustosillan vuokrauksen hintaero olisi ollut todella iso johtuen lyhyestä vuokra-ajasta. Paikalla tehty varasilta tulee kysymykseen ainoastaan, kun kiertotie tulee olemaan käytössä vuoden päivät.

5 YHTEENVETO

Tässä rakennuskohteessa valtatiellä 8 Väyläviraston vuokraama kalustosilta on yritykselle halvempi ja nopeampi vaihtoehto, kun kiertotie on käytössä 12 kuukautta. Miksi sitten paikalla tehty varasilta tehtiin, jos tämä vaihtoehto on kalliimpi työmäärältään ja materiaaliltaan sekä on hitaampi rakentaa. Voittamalla urakan paikalla tehdyllä varasiltarakenteella yritys saa sidottua teräksen ostamisen kulut urakkaan parhaimmassa tapauksessa. Näin voi ajatella, että tarjottu hinta sisältää sillankorjauksen kustannukset sekä varasillan kustannukset, jolloin tilaaja maksaa yritykselle varasillan materiaalin omaksi. Hankaluus on voittaa urakka, varsinkin jos kilpailijat laskevat kiertotien toteutettavaksi kalustosillalla.

Tämä kustannusten ja rakennusajan arvio koskee ainoastaan siltaa ja sen työvaiheita. Siltapenkereiden eli kiertotien teko ei kustannuksiin tai rakennusaikaan sisälly. Aikaisemmin todettiin, että kalustosilta vaihtoehto olisi vaatinut 1,5 metriä korkeamman siltapenkereen sekä vähintään 70 metriä pidemmän kiertotien, mikä tässä kohteessa tasoittaa siltojen välisiä eroja niin kustannusten kuin rakennusajan puitteissa. Korkeampi ja pidempi kiertotien linjaus lisää rakennusaikaa ja/tai resursseja sekä rakentamis, että purkamisvaiheessa.

Punnittaessa siltavaihtoehtoja, mitä korkeammalla siltapenger korjattavalle sillalle on, sitä kapeampi on siltavaihtoehtojen ero. Täsmällistä vastausta ei voida tämän työn perusteella antaa, milloin paikalla tehty varasilta on järkevämpi maansiirtotöiden kannalta, mutta kiertotien siltapenkereiden korkeusero kasvaa korjattavan sillan penkereen mukaan. Kiertotie myös pitenee hieman, mikäli valintana on kalustosilta vaihtoehto.

Paikalla tehty varasilta osoittautuu loistavaksi vaihtoehdoksi, mikäli sillankorjaustyö venyy force majeure tai suurien lisätöiden johdosta. Kuten todettu, vain kahden kuukauden lisäys vuokra-aikaan olisi kääntänyt teräksen oston halvemmaksi. Tähän tilanteeseen on mahdoton ottautua urakkalaskentavaiheessa, on kuitenkin todettava, että paikalla tehty varasilta antaa joustavuutta sillan korjauksen aikatauluun.

Kumpi siltavaihtoehdoista sitten on parempi, se on helppo kysymys. Omasta maksaminen on aina parempi vaihtoehto ja varsinkin tässä kohteessa rakennusajan ja hintaeron ollessa suhteellisen pieni voin huoletta päätyä lopputulokseen paremmuudesta. Paikalla tehty varasilta paaluista ja palkeista oli Siikajoen sillan korjaukseen parempi vaihtoehto, joten yritys teki oikean ratkaisun. Seuraava kohde, joka vaatii väliaikaisen sillan, on jo huomattavasti halvempi. Seuraava kohde on noin teräksen verran halvempi.

5.1 Kalustosillan edut ja haitat

- + Aikasäästö rakennusvaiheessa
- + Halvempi kahdesta vaihtoehdosta
- + Vähemmän konetunteja
- + Vähemmän aliurakointia
- Korkeampi siltapenger
- Pidempi kiertotien linjaus
- Vuokran maksaminen
- Joustamattomuus sillan korjaustyön aikataulun suhteen
- Ei etuja seuraavaan kohteeseen

5.2 Paikalla tehdyn varasillan edut ja haitat

- + Yrityksen omaisuuden kasvattaminen
- + Seuraava kohde selkeästi halvempi
- + Kokonaisvaltaisesti parempi vaihtoehto tähän kohteeseen
- + Sillan korjaustyön aikataulun joustavuus
- + Pienemmät pengerrystyöt
- Hankaluus voittaa urakka
- Iso aliurakointiprosentti
- Isompi työ määrä
- Hitaampi toteuttaa

6 TÄMÄN INSINÖÖRITYÖN SOVELTAMINEN

Työssä esitetyt ratkaisut, sillan mitat ja resurssit koskevat vain tätä rakennuspaikkaa ja -kohdetta. Jokainen siltakohde on erilainen ja väliaikaiseen siltaan saattaa liittyä elementtejä, jotka sulkevat toisen vaihtoehdoista pois. Tällaisia elementtejä voivat olla syväväylä ja laiva-aukko.

Paikalla tehty varasilta tehdään mahdollisimman lähelle vedenpintaa, jotta voidaan säästää paalujen mitoissa. Mikäli väliaikainen silta vaatii laiva-aukon, eivät veneet todennäköisesti mahdu paalujen väleistä puhumattakaan korkeudesta. Laiva-aukon vaatimaan jännemittaan on hankala päästä paikalla tehdyllä varasilta rakenteella. Rajoituksena vastaan tulee paalutuskoneiden ulottuma, mikäli ulottuma ei riitä laiva-aukon vaatimaan mittaan, ei paikalla tehtyä varasiltaa voi toteuttaa perinteisin menetelmin. Kenties molemmilta rannoilta edeten laiva-aukko olisi toteutettavissa.

Myös syväväylä lisää paalujen pituuksia merkittävästi, jolloin paalukokoa ja siten kaiken paalujen päälle tulevien teräspalkkien dimensioita voidaan joutua kasvattamaan. Näin esimerkiksi jo ostettuja teräksiä ei voida käyttää ja suurempien dimensioiden ostaminen voi olla huomattavasti kalliimpaa kuin varasiltajärjestelmän vuokraaminen.

Jos siltapaikka vastaa Siikajokea ja suunnitellusta varasillasta tulee puolet pidempi eli 160 metriä pitkä, voi tämän insinööritöön arvoja käyttää kulujen arvioimisessa. 160 metriä pitkän paikalla tehdyn varasillan rakennusaika on kolme viikkoa pidempi siltarakenteiden välillä ja teräksen ostaminen on 10 % kalliimpaa kuin kalustosillan vuokrahinta 12: sta kuukaudelle. Tässä tapauksessa vuokraajan pituuden tarkastelu nouseekin isompaan rooliin, kun puhutaan isommasta määrästä rahaa.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

TERNOLA, Teemu 2017. Väliaikaisen sillan käyttäminen sillanrakennushankkeissa. Hämeen ammattikorkeakoulu. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Opinnäytetyö. [Viitattu 2020-1-23] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126398/Ternola_Teemu.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LUOKKAKALLIO, Jussi 2020-1-23. Diplomi-insinööri, [Puhelinhaastattelu] Sitowise Kuopio.

TOIVONEN, Jere 2018-6-11. Betonin lujuuden kehitys ja jälkihoito. Ruskon Betoni [PowerPoint esitys]. [Viitattu 2020-1-23] Saatavissa: <http://www.betonyhdistys.fi/media/laatukertue/laatukiertue-betonin-lujuudenkehitys-ja-jalkihoito-6.11.2018-jyvaskyla.pdf>

KUVALUETTELO

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Kuva 1: Savon Kuljetus Oy:n prosessikartta..... | 9 |
| Kuva 2: Savon Kuljetus Oy:n talvikunnossapitoa..... | 10 |
| Kuva 3: Savon Kuljetus Oy:n Infra-rakentamisen työntekijöitä..... | 11 |
| Kuva 4: Paalutustyön lähtökohdat..... | 15 |
| Kuva 5: Paalutustyö..... | 16 |
| Kuva 6: Detalji paalurivin reivauksesta..... | 17 |
| Kuva 7: Niskapalkki ja reivaustyö..... | 18 |
| Kuva 8: Detalji uumavahvikkeesta..... | 19 |
| Kuva 9: Detalji tuulisiteen liitos palkkiin..... | 19 |
| Kuva 10: Detalji tuulisteiden asema..... | 20 |
| Kuva 11: Uumavahvikkeet ja tuulside niskapalkissa..... | 20 |
| Kuva 12: Sekundääripalkkijonot..... | 21 |
| Kuva 13: Jarrupalkisto..... | 22 |
| Kuva 14: Alajuoksun puoleinen HE450 – reunapalkki..... | 23 |
| Kuva 15: Detalji pelkan asennuksesta..... | 24 |
| Kuva 16: Pelkkäkannen aloitus..... | 25 |
| Kuva 17: Pelkkäkansi..... | 26 |
| Kuva 18: Paikallaan tehdyn varasillan poikkileikkaus..... | 27 |
| Kuva 19: Rakennusvaiheen yleiskuva..... | 27 |
| Kuva 20: Rakennekerroksen levitys..... | 28 |
| Kuva 21: Kiertotie lähellä käyttöönottoa..... | 29 |
| Kuva 22: Valmis paikallaan tehty varasilta..... | 29 |
| Kuva 23: Varasilta alhaalta päin..... | 30 |
| Kuva 24: Telinekannattimen detalji..... | 31 |
| Kuva 25: Varasillan työtelineet..... | 32 |
| Kuva 26: Kalustosilta..... | 34 |
| Kuva 27: Kalustosillan rakentaminen..... | 37 |
| Kuva 28: Kalustosillan ajolevyt..... | 38 |