

VÄLIAIKAISEN SILLAN KÄYTTÄMINEN
SILLANRAKENNUSHANKKEISSA



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

kevät 2017

Teemu Ternola

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Visamäki

| | | |
|---------------------|--|-------------------|
| Tekijä | Teemu Ternola | Vuosi 2017 |
| Työn nimi | Väliaikaisen sillan käyttäminen sillanrakennushankkeissa | |
| Työn ohjaaja | Jari Mustonen | |

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö tutkii ja esittelee väliaikaisten siltojen käyttöä ja käyttömahdollisuuksia sillanrakennushankkeiden yhteydessä. Käsiteltävät osa-alueet keskittyvät eri varasilta- ja väliaikaisrakennusjärjestelyjen ominaisuuksiin, väliaikaisten siltojen alusrakenteisiin, työtekniikoihin sekä kunnossapitoon. Projektinhallinnallisia asioita tarkastellaan varasiltoihin liittyvien kustannusten, aikataulun ja rakentamisen laadun näkökulmasta.

Tutkimuksen tilaajana on Destia Oy:n Länsi-Suomen tulosityksikkö, jonka ydinliiketoimintaan kuuluvat merkittävänä osana siltojen uusimis- ja korjausrakennushankkeet sen toiminta-alueella. Varasilta- ja väliaikaisrakennusjärjestelyä käytetään rakennusprojekteissa melko harvoin, mutta viime aikoina yrityksen niihin liittyvät kokemukset ovat herättäneet mielenkiinnon työnaikaisten siltojen käytön kehittämispotentiaalista jatkossa.

Työn tilaaja on kiinnostunut mahdollisista tutkimuksen aikana tehtävistä uusista löydöksistä ja innovaatioista, jotka voisivat parantaa väliaikaisten siltojen käyttömahdollisuuksia tai järjestelyyn liittyviä toimintatapoja tulevaisuudessa.

Tämän tutkimuksen taustalla on myös tutkimustyötä suorittavan opiskelijan oma työkokemus, joka painottuu vahvasti erilaisiin sillanrakentamisen hankkeisiin.

Tutkimus tarjoaa toimeksiantajalle ajantasaista tietoa varasilta- ja väliaikaisrakennusjärjestelyyn sisältyvistä työteknisistä ja projektinhallintaan liittyvistä yksityiskohdista, joita yrityksen hankeorganisaatiot voivat hyödyntää tulevissa urakoissaan.

Avainsanat sillanrakennus, varasilta, kiertotie, työnaikaiset liikennejärjestelyt

Sivut 39 sivua, joista liitteitä 2 sivua

Degree Programme in Construction Engineering
Visamäki

| | | |
|----------------|---|------------------|
| Author | Teemu Ternola | Year 2017 |
| Subject | Portable bridging system as a part of the bridge construction project | |

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study different portable bridging systems and to determine factors which may have an influence on their possible uses in bridge construction projects. The thesis concentrates on technical properties, substructure, production techniques and maintenance of different bridging systems. Expenses, timetable and structural quality were examined as a part of the project managing operation.

The thesis was commissioned by Destia Oy, which is a major operating company in the field of bridge renewal and repair projects. The portable bridging system is quite rarely used in diversion arrangement on roadwork sites. However, recent experiences among the organization have raised an interest in portable bridging systems. The systems may have some potential to be developed, which could benefit the company in the future projects. The commissioner was also interested in possible new findings and innovations, which could improve the assembly methods and functionality of bridging systems on the company's construction sites. The author also has a professional background in several bridge construction projects.

As a result of the thesis the commissioner was provided with valid information about the practical procedures of portable systems and details that are important in the process of managing the construction work. It is relevant that the company's organization can use the information gathered in its upcoming bridge construction projects.

Keywords Bridge construction, portable bridging system, diversion, temporary traffic arrangements

Pages 39 pages including appendices 2 pages

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 1 |
| 2 | ERILAISET VARASILTAKALUSTOT JA VALINTAPERUSTEET..... | 2 |
| 2.1 | Bailey-varasiltakalusto | 5 |
| 2.2 | Acrow-varasiltakalusto..... | 5 |
| 2.3 | Universal-varasiltakalusto | 6 |
| 2.4 | Varasiltojen liikenteelliset valintaperusteet | 7 |
| 2.4.1 | Keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) | 7 |
| 2.4.2 | Kevyenliikenteenväylän tarve | 8 |
| 2.5 | Varasiltojen tekniset valintaperusteet..... | 9 |
| 2.5.1 | Jännemitta | 9 |
| 2.5.2 | Kantavuus | 10 |
| 3 | VARASILLAN RAKENTAMINEN | 11 |
| 3.1 | Rakentamiseen liittyvät suunnitelmat | 12 |
| 3.2 | Rakentamisvaiheet..... | 13 |
| 3.2.1 | Varasillan osien logistiikka..... | 14 |
| 3.2.2 | Maanrakennus- ja perustamistyöt | 14 |
| 3.2.3 | Varasillan kokoaminen | 15 |
| 3.2.4 | Varasillan lanseeraus..... | 17 |
| 3.2.5 | Varasillan viimeistely | 19 |
| 3.3 | Rakennusvaiheen aikataulu | 20 |
| 3.4 | Laatu rakennusvaiheessa | 22 |
| 4 | VARASILTOJEN TYÖNAIKAINEN KUNNOSSAPITO | 23 |
| 4.1 | Varasiltojen tekninen kunnossapito..... | 24 |
| 4.2 | Varasiltojen liikenteellinen kunnossapito | 26 |
| 5 | VARASILTOJEN PURKAMINEN..... | 29 |
| 5.1 | Purkamisvaiheen suunnitelmat..... | 29 |
| 5.2 | Purkamisen työvaiheet..... | 30 |
| 5.3 | Purkamisvaiheen aikataulu | 31 |
| 6 | YHTEENVETO JA KUSTANNUSTARKASTELU | 32 |

Liitteet

- Liite 1 Bailey- ja Acrow-kalustojen vuokrahinnasto
- Liite 2 Universal-kaluston vuokrahinnasto

1 JOHDANTO

Varasilta-nimitystä käytetään tieliikennettä väliaikaisesti välittävistä silloista. Rakennusteollisuudessa varasiltoja rakennetaan ja käytetään yleisesti työnaikaisena liikenneväylänä siltojen uusimis- tai korjaushankkeiden yhteydessä, työmaaliikenteen kulkutienä sekä korvaamaan pysyvää siltaa vaurioitumistapauksissa ja muissa poikkeusoloissa. Lisäksi varasillan käyttöä voidaan soveltaa esimerkiksi lyhentämään materiaalien kuljetusmatkaa työmaa-alueen sisällä. – Rautatieliikenteen työnaikaisista varasilloista käytetään poikkeavasti nimitystä apusilta. (Liikennevirasto 2015.)

Väliaikaisen sillan käyttö väylärakennushankkeen aikana tulee kysymykseen, kun kohteen tie on vilkkaasti liikennöity eikä kiertotietä ole mahdollista järjestää aiheuttamatta tienkäyttäjille tai elinkeinoelämälle merkittävää liikenteellistä haittaa. Tällöin kyseessä on useimmiten logistisesti merkittävä kanta- tai valtatie, jonka siltapaikka sijaitsee kaupunkikeskusten ja niiden muodostamien liikenneverkostojen ulkopuolella. Kaupungeissa ja niiden läheisyydessä vaihtoehtoisia kiertoteitä on usein tarjolla lukuisia, eikä varasillan käytölle ole tästä syystä perusteita. Varsinkin Etelä-Suomen alueella varasiltojen käyttäminen rakennushankkeissa on melko harvinaista tiheän ja kehittyneen väyläverkoston vuoksi.

Suomessa varasiltakaluston omistava viranomaistaho on Liikennevirasto, joka hankkii siltakaluston oheispalveluineen vapailta markkinoilta. Varasiltakalustoa käytetään pääasiassa Liikenneviraston hankkeissa, mutta ohjeistus mahdollistaa sen vuokrauksen myös ulkopuolisille toimijoille. Kalustoille suoritettavista korjaustöistä huolehtivat erikseen valittavat palvelusopimuskumppanit, mutta käytössä olevien siltojen huollosta ja tarkastuksista vastaa Liikenneviraston taitorakenneyksikkö. (Liikennevirasto 2015.)



Kuva 1. Väliaikainen silta käytössä valtatie 12:lla. (Ternola 2017.)

2 ERILAISET VARASILTAKALUSTOT JA VALINTAPERUSTEET

Suomessa käytettäviä varasiltatyyppisiä on lukuisia, ja ne eroavat toisistaan rakenteensa ja ominaisuuksiensa suhteen.

Suurin osa kaikista markkinoiden siltakalustoista koostuu kuitenkin kolmesta pääosasta: ristikkotyypisistä kehistä, jotka muodostavat varasillan pääkannattajat, kehien väliin asennettavista teräspalkeista, joita kutsutaan niskoiksi, sekä niskojen päälle kiinnitettävistä kansielementeistä. Pääosien lisäksi kalustot käsittävät erilaisia siteitä, jäykistäviä osia ja laake-reita, jotka vaihtelevat kaluston valmistajan ja tuoteperheen mukaan.

Varasiltojen kantavuus riippuu erityisesti sen vapaasta jännemitasta. Tarvittaessa jänneväliä voidaan kasvattaa asettamalla useita pääkannattajia rinnakkain ja päällekkäin. Lisäksi kokonaispituutta voidaan tarvittaessa kasvattaa lisäämällä rakenteeseen välitukia. Vesistösilloilla välituet voidaan sopivissa olosuhteissa perustaa maanvaraisen pohjarakenteen sijaan myös veteen asennettujen teräsponttonien päälle.

Varasiltojen rakennetyypeille on käytössä omat lyhenteensä, jotka kuvaavat rakennetyyppiä pääkannattajien osalta. Kaksikirjaimisen lyhenteen ensimmäinen kirjain ilmaisee rinnakkain asennettujen kehien määrän ja yhdistelmän, toinen kirjain päällekkäisten kerroksien lukumäärän. Myös varasillan rakenteen erityisominaisuuksille on luotu omat lyhenteensä.

Lyhenteitä ovat muun muassa seuraavat:

- SS = Single-Single (yksirivinen, yksikerroksinen)
- DS = Double-Single (kaksirivinen, yksikerroksinen)
- TS = Triple-Single (kolmerivinen, yksikerroksinen)
- QS = Quadruple-Single (neljärivinen, yksikerroksinen)
- DD = Double-Double (kaksirivinen, kaksikerroksinen)
- TD = Triple-Double (kolmerivinen, kaksikerroksinen)
- QD = Quadruple-Double (neljärivinen, kaksikerroksinen)

- R = Reinforced (kehät paarrevahvistettuja)
- STD = Standard (tavallinen leveys)
- EW = Extra Wide (levennetty)
- UW = Ultra Wide (erikoisleveä)
- DW = Double Wide (kaksi ajorataa).

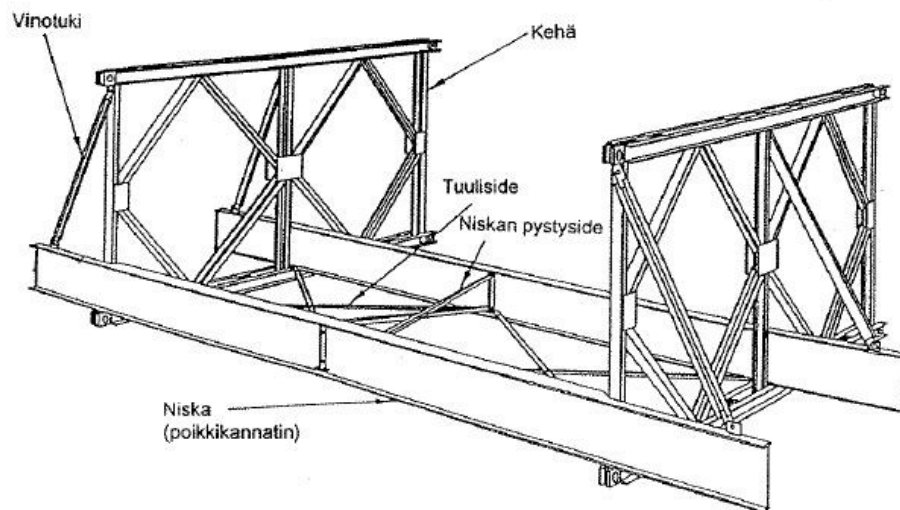
Rakennelyhenteet pätevät kaikkiin moduulisiin kalustotyyppisiin, mutta sillan leveys vaihtelee kalustoryhmien ja -tyyppien välillä. Suunnittelussa ja mitoituksessa lisäselitteinä käytetään lisäksi termejä 'kevyt' ja 'raskas' määrittämään poikkikannattajien ja kansielementtien kantavuusluokkaa. Liikennevirasto ei ole hankkinut Suomeen erikoisleveää varasilta kalustoa

(UW), joka mahdollistaa samanaikaisen liikennöinnin kolmella rinnakkaisella kaistalla. (Liikennevirasto 2015.)

Varasiltoja voidaan käyttää Suomessa tietyin reunaehdoin myös pysyvämpinä rakenteina. Pysyvänä käytettävä varasilta voi olla tarkoitettu ajoneuvoliikenteen lisäksi myös kevyenliikenteen välittämiseen. Pitkäaikainen käyttö edellyttää, että tieosuus on vähäliikenteinen ja itse siltarakenne täyttää ympäristön sille asettamat vaatimukset. Pitkäaikaisena väylänä käytettävä varasilta tulee olla lisäksi siirrettävissä toiseen paikkaan ilman, että se vaatii kohtuuttoman suuria työtoimenpiteitä. (Liikennevirasto 2015.)

Väliaikaisia teräsristikkoelementtisiltoja on käytetty maailmanlaajuisesti muun muassa luonnonilmiöiden yhteydessä tuhoutuneiden pysyvien siltajen korvaajina. Modulaariset teräsristikkosillat rakennetaan jaksoittain alustalla, josta ne voidaan myöhemmin lanseerata paikoilleen rakentamisen edetessä. Suositeltavia lanseeraustapoja ovat vetolanseeraus, työntölanseeraus ja nostolanseeraus. Rakenteensa ansiosta modulaarisissa varasilloissa ei tarvita väliaikaisia tukirakenteita tai vahvikkeita lanseerausvaiheessa.

Seuraavassa esitellään modulaaristen varasiltakalustojen keskeisimmät rakenneosat sekä niiden rakenteellinen toimintatarkoitus.



Kuva 2. Moduulivarasiltojen perusrakenneosat (Tielaitos n.d.)

Kehät muodostavat sillan pääkannattajat ja toimivat jakson perusyksikkönä. Ristikkokehän mitat ovat 4,5 m x 2,36 m (Universal) tai 1,45 m x 3,05 m (Acrow ja Bailey). Kehiä voidaan asentaa parretappikiinnityksellä enintään kolmeen riviin, jolloin rakenteen taivutus- ja leikkauskestävyys kasvavat. Lisäksi rakenteen taivutuskestävyys voidaan kaksinkertaistaa kiinnittämällä kehän ylä- ja alapaarteisiin ylimääräisiä parreosia. Parrevahvistettu rakenne ilmaistaan rakennelyhenteissä R-tunnuksella (Reinforced).

Kehien kahteen päällekkäiseen kerrokseen asentaminen mahdollistaa pidemmän jännemitan ja leveämmän kannen rakentamisen. (Liikennevirasto 2015, Tielaitos n.d.)

Niskat asennetaan kehien alapaarteiden päälle poikittain pääkannattajiin nähden. Niskat muodostavat rakenteen poikkikannattajat ja toimivat alustana kannen elementeille. Niskoja on saatavana kalustokohtaisesti eri pituisina, ja ne määrittävät kannen ja ajoradan leveyden. Niskat ovat tyypillisesti teräksisiä I-profiilipalkkeja.

Vinotuet kiinnitetään kehissä yläpaarteiden kohdalle ristikon reunimmaiseen pystytankoon ja niskapalkeissa niiden uuman yläosaan. Vinotukien tehtävänä on jäykistää siltarakenteen yhdistämällä pääkannattajan puristettu yläpaarre ja poikkikannattaja toisiinsa.

Tuulisiteet asennetaan ristikkäin niskojen väliin, ja ne kiinnittyvät vierekkäisten niskojen laippoihin. Muodostunut ristikkorakenne jäykistää siltaa ja estää sen huojumisen esimerkiksi tuulen vaikutuksesta.

Niskan pystysiteet kiinnitetään vierekkäisten niskojen ylä- ja alalaipan välille jäykistämään siltaa pituussuunnassa tarkasteltuna. Kansielementit asennetaan niskojen päälle, jolloin ne muodostavat varasillan kannen sekä tien ajoradan.



Kuva 3. Kehäristikoiden välinen tappikiinnitys. (Ternola 2017.)

2.1 Bailey-varasiltakalusto

Bailey-varasiltakalusto on Iso-Britanniassa 1940-luvun aikana kehitetty moduulisiltajärjestelmä, joka tarkoitettiin alun perin sotilaskäyttöön pioneerien liikuteltavissa olevaksi sillaksi. Mabey & Johnson -yhtiö lanseerasi tuotteen lopulta julkisille markkinoille. Bailey-kalusto muodosti varasiltakalustojen ensimmäisen sukupolven, josta on valmistettu useita samaan malliin pohjautuvia variaatioita myöhempien vuosikymmenten aikana. (Liikennevirasto 2015.)

Alkuperäinen Bailey-kaluston järjestelmä on seuraajiinsa verrattuna melko kevytrakenteinen, eikä sillä voida saavuttaa kovin pitkiä jännemittoja nykyaikaisilla ajoneuvoilla kuormitettuna. Esimerkiksi 70 tonnin kantokyky noin 27 metrin jänneväliä vaatisi Bailey-kaluston kohdalla TS-rakennetyypin. (Department of the Army 1986.)

Koottaessa silta on kuitenkin varsin kevytrakenteinen, ja sen liikuttelu lanseerauksen yhteydessä on vaivatonta. Kalusto suunniteltiin alun perin siten, että se voitaisiin tarvittaessa lanseerata täysin ilman työkoneita.

Kalustosta voidaan rakentaa yksiajoratainen silta, jonka hyötyleveys on 4,2 metriä. Vakiokuntoisena Bailey'n kansi on ollut toimitettuna puuvalmisteenä, mutta Suomeen hankitut kappaleet vuokrataan ilman puukantta ja jotkin niiden puuosista on korvattu teräksisillä komponenteilla. (Liikennevirasto 2015.)

Kalusto on valmistettu tuumamittaiseksi British Imperial System -yksikköjärjestelmän (BIS) mukaisesti ja sen pääkannatinristikoiden mitat ovat 1,45 m x 3,05 m. Myös siltojen suunnittelussa ja mitoitusohjeissa on käytetty alun perin BIS-yksikköjä. (Liikennevirasto 2015.)

2.2 Acrow-varasiltakalusto

Acrow-varasiltakalusto on yksi Bailey-järjestelmän pohjalle kehitetyistä varasiltakalustoista. Sen kehien mitat ovat identtiset Bailey'n osien kanssa, mutta Acrow'n kannattajissa käytetty lujempi teräslaatu mahdollistaa pidemmän jännevälin saavuttamisen aiempaa suuremmilla kuormilla. (Liikennevirasto 2015.)

Vuoden 1990 ajoneuvoasetuksen mukaisilla 60 tonnin ajoneuvojen liikennekuormilla laskettuna Acrow-kalustolla voidaan saavuttaa noin 37 metrin jännemitta yksikaistaisena ja noin 22 metrin jännemitta kaksikaistaisena rakenteena. (Destia Oy n.d.)

Myös kaksikaistainen siltarakenne mahdollistui osien muutosten myötä Bailey-osiin verrattuna. Kaksikaistaisen ratkaisun hyötyleveys on 7,2 metriä.

Kantavuuden lisääntymisestä huolimatta rakenteiden oma paino onnistuttiin pitämään edelleen kevyenä vähentyneen poikkikannattajien määrän ansiosta.

Arcow -kalustoon kuuluu useita erilaisia poikkikannattajia ja kansielementtejä, joten sen rakenne on muunneltavissa yksityiskohtaisemmin käyttötarkoitukseensa. Raskarakenteisia poikkikannattajia ja kansilevyjä voidaan käyttää erikoiskuormia välittävässä varasillassa, jolloin ylitys onnistuu myös lastatulla maansiirtodumpperilla. (Liikennevirasto 2015.)

2.3 Universal-varasiltakalusto

Malliston valmistuttua Iso-Britannian puolustusministeriö jatkoi Bailey-varasiltajärjestelmän kehittämistä, ja se suunnitteli kalustoa vastaamaan mahdollisten poikkeusolojen haasteisiin. Tavoitteena oli tuottaa kantokyvyltään vahva, pitkille jänneväleille soveltuva siltajärjestelmä, jonka rakentaminen olisi silti nopeaa ja helppoa. Lisäksi järjestelmä pyrittiin säilyttämään monikäyttöisenä ja siirtämiskelpoisena. Universal-kalusto tuotiin markkinoille vuonna 1974. Myöhemmin Universal-kalustona tunnettua järjestelmää alettiin hyödyntää rakennusosalalla, kaivoksissa ja öljyteollisuudessa sen kantavuusominaisuuksien ansiosta. Järjestelmä edustaa tällä hetkellä moderneinta varasiltakalustoa, ja sitä on saatavilla sekä tilapäiseen että pysyvään käyttötarkoitukseen. (Tielaitos n.d.)

Universal-varasiltajärjestelmän rakentaminen on yksinkertaista sen vakiosien ansiosta. Keskenään samanlaisista osista voidaan rakentaa jännemitaltaan, kantavuudeltaan ja tyybiltään eriäviä kokonaisuuksia. Universalin kehiä voidaan asentaa kolmeen riviin ja enintään kahteen kerrokseen. Siltarakenteen tyyppin valinta ja mitoitus tehdään jännevälin ja tarvittavan kantavuuden perusteella. Mitoittavien tekijöiden perusteella oikea rakennetyyppi selviää valmistajan laatimasta taulukosta. (Tielaitos n.d.)

Universal-kalustolla saavutetaan edeltäjiään pidempi jännemitta, ja se voidaan mitoittaa riittävän lujaksi raskaillekin liikennekuormille. 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. (Tielaitos n.d.)

Ajoneuvoasetuksen uudistuksen myötä kasvanut suurin sallittu ajoneuvojen kokonaismassa asettaa varasilloille entistä tiukemmat kantavuusvaatimukset, minkä myötä Suomen Universal-kaluston käyttöaste tulee kasvamaan suhteessa kevytrakenteisempiin malleihin.

Varasiltarakennetta mitoittaessa ja kalustoa valittaessa valintaperusteet jakautuvat liikenteellisiin ja teknisiin osa-alueisiin. Liikenteelliset tekijät, kuten liikenteen määrä ja laatu, vaikuttavat esimerkiksi väliaikaisen sillan

tarvittavaan kaistamäärään, rakennetyyppiin ja tarvittavan kantokyvyn tasoon.

Koska väliaikaisen sillan pääasiallinen kuormitus syntyy ylittävästä liikenteestä, ovat tekniset vaatimukset myös hyvin pitkälle riippuvaisia liikennekohtaisista lähtötiedoista. Teknisiä vaatimuksia rakenteelle aiheuttavat lisäksi muut muuttuvat kuormat, pysyvät kuormat, ylitettävän aukon leveys sekä siltapaikan geotekniset olosuhteet.

2.4 Varasiltojen liikenteelliset valintaperusteet

Liikenne muodostaa väliaikaisen sillan pääkuorman. Varasillan rakennetta mitoittaessa tulee tarkastella korvattavan väylän liikenteen määrää ja laatua sekä tulevan sillan jännemittaa. Liikennemäärä ja sen laatu kertovat, millaiselle rasitukselle rakenne altistuu. Jännemitta puolestaan vaikuttaa sekä sillan kannella samanaikaisesti ajavien ajoneuvojen enimmäismäärään että taivutusmomenttiin, joka kohdistuu sillan rakenteisiin.

Vuoden 2013 lokakuussa voimaan tullut uusi ajoneuvoasetus sallii Suomen teillä käytettäväksi entistä raskaammat ajoneuvoyhdistelmät. Uuden asetuksen myötä ajoneuvojen suurin sallittu massa nousi 60 tonnista 76 tonniin. (Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen muuttamisesta 2013/407.)

Asetusmuutoksen myötä kasvanut liikennekuorma on rajoittanut rakennettavien varasiltojen enimmäisjännemittaa niillä tieosuuksilla, joilla raskaimpien yhdistelmien on sallittua liikennöidä.

2.4.1 Keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL)

Suomen maantieverkostolla harjoitettava liikennelaskenta tuottaa dataa tieosuuden liikennemääristä ja liikenteen vaihtelusta tietyillä tarkastelujaksoilla. Liikennelaskennan tulokset toimivat pohjatietona erityisesti liikennesuunnittelulle ja teiden kunnossapidon suunnittelulle. Liikennetiedoista ylläpidetään tierekisteriä, jonka tiedot päivitetään vuosittain. Valtakunnan maantieverkon liikennetiedon tuottamisesta vastaa Liikennevirasto. (Liikennevirasto 2014.)

Vuoden keskimääräisellä vuorokausiliikenteellä (KVL) tarkoitetaan tietyllä tieosuudella vuorokauden aikana kulkeneiden ajoneuvojen lukumäärää yhden vuoden tarkastelujaksolla. (Liikennevirasto n.d.) Liikenteen laatua tarkennetaan ilmoittamalla raskaiden ajoneuvojen osuus kokonaismäärästä.

2.4.2 Kevyenliikenteenväylän tarve

Useimpien väliaikaisten siltojen yhteyteen on mahdollista järjestää kulku myös kevyelle liikenteelle. Kevyt liikenne voidaan järjestää esimerkiksi valitsemalla levennetty siltatyyppi ja varaamalla osa kannen leveydestä kevyen liikenteen käyttöön. Enemmistöön varasiltamalleista voidaan rakentaa myös erillinen levike kevyen liikenteen väylää varten pääkannattajien ulkopuolelle. Bailey-, Acrow- ja Universal-kalustoihin ulkoneva kevyenliikenteenväylä toteutetaan poikkikannattajiin kiinnitettävien kannatinpalkkien avulla.

Mikäli väliaikaisen sillan yhteyteen rakennetaan kevyenliikenteenväylä, tulee sen reunakaiteiden olla turvalliset ja kevyelle liikenteelle tarkoitetut. Kaiteen tulee olla vähintään 1,2 metriä korkea ajoradan pinnasta mitattuna. Jos väylällä odotetaan kulkevan runsaasti pyöräilijöitä tai sillan alikukkoruus on yli 13 metriä, on kaiteen vähimmäiskorkeuden tällöin oltava 1,4 metriä. (Liikennevirasto 2012.)

Kevyenliikenteenväylän kaidetyypiksi soveltuu esimerkiksi sälekaide. Ajoneuvoliikenteelle varatun kaistan ja kevyenliikenteenväylän välissä tulee käyttää puolestaan verkkokaidetta, joka estää auraslumen sinkoutumisen kevyenliikenteenväylälle.

Kevyenliikenteenväylän rakentaminen varasillan yhteyteen tulee arvioida tapauskohtaisesti. Arviossa tulee ottaa huomioon muun muassa väylän mahdollinen käyttöaste, kevyen liikenteen vaihtoehtoiset kiertotiet sekä rakentamiseen kuluvat aikataululliset ja taloudelliset resurssit hankkeen kokonaisuuden kannalta.

Siltapaikalle kevyttä liikennettä tuottavia kohteita voivat olla esimerkiksi lähialueen yritykset, koulut ja palvelut. Joistakin suomalaisista kaupungeista on käytettävissä myös laskentadataa kevyen liikenteen määrästä. Dataa voidaan käyttää pohjana arvioitaessa kevyenliikenteenväylän tarpeellisuutta väliaikaisen sillan yhteydessä. Varasillan yhteyteen asennettua kevyenliikenteenväylää saatetaan usein pystyä hyödyntämään myös työmaahenkilöstön liikkumisessa sekä kevyen kaluston kuljettamisessa työmaa-alueen vastakkaiselle puolelle.

Käytännössä rakennushankkeen tilaajaosapuoli arvioi kevyenliikenteenväylän tarpeellisuuden, ja yksityiskohta määrittää urakoitsijoille yleensä jo tarjouslaskentavaiheessa.



Kuva 4. Universal-varasillan yhteyteen rakennettu kevyenliikenteenväylä. (Ternola 2017)

2.5 Varasiltojen tekniset valintaperusteet

Siltarakenteeseen vaikuttavat voimat antavat raamit varasillan teknisille ominaisuusvaatimuksille. Liikenteen kuorma, muut muuttuvat kuormat sekä rakenteen oma paino muodostavat sillan rakenteisiin muun muassa jännitevoimia ja momenteja. Tekniset valintaperusteet pyritään lähtökohtaisesti määrittämään siten, että varasiltarakenteelle saadaan toteutettaessa riittävä kantavuus mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Suomessa saatavilla olevan varasiltakaluston vuokrahinnoittelu korostaa kalustovalinnan ja mitoituksen tärkeyttä kustannushallinnan kannalta.

2.5.1 Jännemitta

Sillan jännemitta tarkoittaa peräkkäisten tukilinjojen etäisyyttä kannen keskilinjaa pitkin mitattuna. (Tiehallinto 2004.) Väliaikaista siltaa valittaessa sillan pituuden määrittää useimmiten ylitettävän aukon leveys ja sijainti, johon maatuet voidaan rakentaa aukon eri puolilla.

Maatukien paikkaan voivat vaikuttaa siltapaikan olosuhteet, jotka tulee selvittää etukäteen mahdollisimman tarkasti. Vesistöjen äärellä maaperän ominaisuudet voivat olla ennalta arvaamattomat ja veden pinnan korkeuden vaihtelu voi vaikuttaa väliaikaisen sillan perustettavuuteen. Lisäksi siltapaikoilla on usein jyrkkiä penkereitä, jotka vaikeuttavat ja hidastavat varasillan rakentamista lisääntyvien maansiirtotöiden vuoksi. Pohjaolojen

selvittämiseksi siltapaikalla voidaan suorittaa esimerkiksi painokairauksia ja puristinheijarikairauksia.

Varasilta kalustoa valitessa tulee ennen kaikkea kiinnittää huomiota eri mallien teknisiin ominaisuuksiin. Maatukien etäisyys määrittää siltarakenteelle tarvittavan pituuden. Kun tarvittava pituus on tiedossa, on seuraava määräävä tekijä sillan kuormituksen taso. Varasiltojen valmistajat ovat laatineet kalustokohtaisia mitoitusohjeita, joiden avulla voidaan määrittää suurin mahdollinen jänneväli, kun siltaan kohdistuvat kuormat ovat tiedossa.

Pitkällä jännevälillä pääkannattajien pituus ja niiden tukipinnan kapeus aiheuttavat kiepahdusriskin. Väli aikaisten siltojen valmistajat määrittävät eri malleille ohjeelliset enimmäisarvot rakennekorkeuden ja jännemitan suhteesta. Väli aikaiselle rakenteelle yleisimmin käytetty ohjearvo on noin 1:25 (rakennekorkeus : jännemitta enintään). (Tielaitos n.d.) Ohjearvoja ei voi sinällään soveltaa täysin työmaan käytettäväksi, vaan kokonaisuudessa tulee huomioida sillan rakennetyyppi, olosuhteet ja muuttuvat kuormat, kuten liikenne-, tuuli- sekä mahdollisesta päällysteestä aiheutuva kuorma.

2.5.2 Kantavuus

Varasillan kantavuus muodostuu kuormituksen ja jännemitan muodostamasta kokonaisuudesta. Kuormitus ja jännemitta ovat keskenään kääntäen verrannollisia: kokonaiskuormituksen kasvaessa suurin enimmäisjännemitta pienenee.

Kantavuuden taso määritetään varasillalle väylän liikenteen perusteella. Tavoiteltava kantavuus määritellään tieosuudella liikkuvien kokonaismassaltaan suurimpien ajoneuvojen painon, tieosuuden liikennemäärän ja varasillan kaistamäärän mukaan. Tavoitekantavuus asetetaan epäedullisimman mahdollisen skenaarion mukaan. Toisin sanoen tarkastellaan sitä hetkeä, jolloin tulevan varasillan rakenteisiin kohdistuisi suurin kuorma. Tällaisia tilanteita voi muodostua, kun tiellä raskaimman sallitun painoluokan ajoneuvot käyttävät siltaa yhtä aikaa.

Valtatien kiertotielle rakennettavan kaksikaistaisen varasillan kohdalla suurin kuormitushetki kehittyisi tilanteesta, jossa sillan kannella ajaisi kaksi 76-tonnista yhdistelmää samanaikaisesti. Yksikaistaisella sillalla tulee tarkastella, kuinka suuri ajoneuvokuorma mahtuu ajamaan kannelle peräkäin. Lyhyimmillä silloilla voi sen sijaan syntyä tilanne, jossa raskaimpien ajoneuvojen kaikki akselit eivät välttämättä kuormita siltaa missään vaiheessa yhtä aikaa.

Haastavissa mitoitus tilanteissa tieosuuden yhdistelmien massoja voidaan työn ajaksi alentaa rajoitusmerkeillä. Tämä vaatii kuitenkin luvan Liikennevirastolta.

Varsinaisen liikennekuorman lisäksi mitoituksessa otetaan huomioon muun muassa ajoneuvojen sysäysvaikutus, väsymiskestävyys ja kuormituksen epäkeskisyys kannella. Sysäysvoiman kerroin on 1,25–1,3 kalustosta riippuen. (Tielaitos n.d., Department of the Army 1986.)

Sysäysvoimaa syntyy esimerkiksi, kun kannelle johtava tie on painunut sillan päädyssä ja sillan kannen pintaan nähden on syntynyt tasoero.

Koska ajoneuvojen akselileveys on pienempi kuin sillan hyötyleveys, on kuorman mahdollista jakautua epäkeskisesti. Tällöin toinen sillan pääkannattajista kuormittuu toista enemmän. Epäkeskisyyskerroin voidaan laskea pääkannattajien etäisyyden ja sillan hyötyleveyden avulla. Kaksikaismaisilla silloilla epäkeskisyydellä on erityisen suuri merkitys, sillä lähtökohteisesti pääkannattajat ovat epätasaisesti kuormitetut aina, kun sillan kannella kulkee ajoneuvoja. – Mallistokohtaiset mitoitusperusteet löytyvät valmistajan julkaisemista mitoitusohjeista.

3 VARASILLAN RAKENTAMINEN

Varasilta perustetaan yleensä maanvaraisesti kiertotien rakennekerrosten päälle. Tarvittavissa täytöissä voidaan käyttää louhetta, ja arina ja maatuen ympärystäyttö voidaan toteuttaa murskeella.

Geoteknisiä olosuhteita siltapaikalla tulee arvioida ja tutkia mahdollisimman kattavasti ennen perustusten suunnittelua. Haasteina voivat tyypillisesti olla maaperän heikko kantavuus, sen koostumuksen vaihtelevuus, pinnanmuodot ja korkeuserot. Heikko kantavuus voi aiheuttaa rakenteille painumaa tai kallistumista kuormituksen aikana.

Perustusten kallistumaa aiheuttaa erityisesti maa-aineksen epätasainen painuma tai voimakas routiminen. Vesistön äärellä kantavuus voi muuttua nopeastikin veden pinnan korkeuden vaihdellessa. Virtaavan veden läheisyydessä on varauduttava lisäksi eroosion esiintymiseen ja sen mahdollisiin torjuntatoimenpiteisiin.

Maatuet sijoitetaan lähes poikkeuksetta ylitettävän aukon luiskien yläosaan, jolloin luiskien muoto sekä niiden geotekninen koostumus vaikuttavat niiden aseman määrittämiseen. Maatuet sijoitetaan aukon penkereille sillan koon ja sen kuormien perusteella siten, että rakennekerrokset kestävät niille kohdistuvan kuormituksen.

Pitkän jännemitan sillalla maatayttöä tulee olla runsaasti myös silta-aukon puolella, jotta luiskaus ei painu tai jopa sorru. Mikäli silta perustetaan ole-massa olevan tien rakennekerrosten päälle, ei maa-aineksen ominaisuuksista tai laadusta ole välttämättä varmaa tietoa. Lisäksi huomioon tulee ottaa molempien luiskien muoto ja korkeusasema toisiinsa nähden.

Väliaikaisten siltojen maatuet tulee perustaa siten, että sillan tukilinjat ovat mahdollisimman samalla tasolla toisiinsa nähden. Tällöin rakentamiseen kohdistuvat kuormat jakautuvat pääkannattajille tasaisesti. Pienet korkoerot tukilinjojen välillä ovat kuitenkin väistämättömiä, jotta sillan kannelle saadaan pintavesien poistumiseen riittävä viettokaltevuus. Väliaikaisten siltojen perustaminen suunnitellaan yksilöllisesti jokaista silta- paikkaa varten ja tietyille kalustotyypille.

Väliaikaisen sillan perustamista suunniteltaessa lähtökohtana on, että perustukset eivät painu merkittävästi sillan käytössäoloajan tai rakennusvaiheen aikana. Pohjamaan ollessa painuma-altista täytyy perustukset suunnitella siten, että vajoaminen on mahdollisimman tasaista ja mahdollisesti kontrolloitavissa.

Varasillan rakentamisvaihe on kokonaisuutena yksi sillanrakennusrakennushankkeen merkittävimmistä vaiheista. Kiertotien täytyy valmistua, jotta liikenne voidaan siirtää kulkemaan työkohteen ohitse. Varsinaisen sillan uusiminen tai korjaustyö voidaan aloittaa vasta tähän liittyvien liikenejärjestelyiden valmistuttua.

Ajallinen riippuvuus tekee varasillan rakentamisen työvaiheista kokonaisaikataulun kannalta hyvin tärkeitä. Maansiirto- ja maanrakennustyöt mukaan luettuna keskipitkän varasillan rakentaminen ja käyttöönotto voi kestää 4–8 viikkoa siltakokonaisuudesta ja työpanoksista riippuen. (Tielaitos n.d.).

Väliaikaisen sillan rakentaminen on työvaiheena myös taloudellisesti merkittävä. Rakentamisessa käytetään paljon resursseja suunnitteluun, materiaaleihin, henkilöstöön ja logistiikkaan. Kiertotien toteuttaminen laadukkaasti takaa puolestaan sujuvan ja turvallisen liikenteen hankkeen aikana.

3.1 Rakentamiseen liittyvät suunnitelmat

Rakennushankkeen rakenne- ja rakennussuunnitelmissa esitetään toteutusvaiheen kannalta tärkeä tekninen informaatio. Seuraavassa on esitelty eri suunnitelmia, jotka ovat oleellisia etenkin varasillan rakentamisen kannalta.

Yleispiirustus antaa yleistä informaatiota varasillasta ja siitä selviävät

- varasillan rakennetyyppi
- sijoittuminen työalueella
- korkotasot eri osissa
- muut tärkeimmät mitat
- pinnanmuodot.

Maatukien mitta- ja raudituspiirustuksessa esitetään

- maatukien korkotasot
- mitat
- aseoituminen tarkennettuna yleispiirustuksesta
- raudoitustyössä käytettävien materiaalien määrä ja sijoittuminen
- laakerien kiinnityslevyjen paikat
- betonin laatua koskevat vaatimukset.

Laakerointipiirustuksessa määritetään

- laakerien tyyppi
- laakerien paikka (kalustokohtainen keskeltä keskelle -mitta)
- laakerien suojaosat
- muut rakenneosat tukilinjalla
- siltakaiteiden tyyppi ja kiinnitys.

Painopistelaskelmassa määritetään

- kehäjakson tarkka rakennetyyppi
- jakson kokonaispaino
- lisäpainon määrä jaksolla
- painopisteen tarkka sijainti
- rakenteen leikkausvoimat ja momentit sillan osissa.

Tehtäväsuunnitelmassa käsitellään

- tehtävien työ- ja toteutustavat
- laadulliset vaatimukset
- tehtävän osien aikataulut
- määrä- ja kustannusarviot.

3.2 Rakentamisvaiheet

Rakennusvaiheen tehtävät voidaan käynnistää, kun niiden aloitusedellytykset on varmistettu. Alkaakseen jokainen työvaihe tarvitsee hyväksytyt suunnitelmat, työssä tarvittavat materiaalit, työn suorittavan henkilöstön sekä muut käytettävät resurssit. Lisäksi vallitsevien olosuhteiden on sallittava tehtävän suorittaminen, ja edeltävien työvaiheiden tulee olla valmiina ennen uuden osatehtävän aloittamista.

Haastavien ja hankkeen kannalta merkittävien työvaiheiden toteutukseen valmistaudutaan huolellisella tehtäväsuunnittelulla. Tehtäväsuunnitelmassa käsitellään työvaiheen sisällön ja toteutustapojen lisäksi keinot, joilla yksittäinen tehtävä saadaan suoritettua kustannustehokkaasti, laadukkaasti ja aikataulullisesti onnistuneesti.

3.2.1 Varasillan osien logistiikka

Ennen varsinaisen rakennusvaiheen alkua tulee valmistella karkea rakentamissuunnitelma, josta selviävät työtavat, aikataulu ja mahdollinen aluesuunnitelma. Valmisteleviin töihin kuuluvat myös siltaosien logistiikan, siirtojen ja välivarastoinnin järjestäminen.

Moduulisiltojen osat tuodaan rakennuspaikalle irrallisina kappaleina. Sillan kokonaispituudesta ja rakennetyypistä riippuen rakennusosien määrä saattaa olla huomattavan suuri. Näin ollen eri tehtävien ennakoivan suunnittelun merkitys korostuu töiden tehtäväaikatauluja laadittaessa. Siltaosille on syytä järjestää porrastettu toimitusaikataulu, sillä vapaa tila rakennuspaikalla voi olla hyvinkin rajallinen, eikä kaikkia sillan osia tarvita samanaikaisesti. Toimituksia järjestettäessä tulee huomiota kiinnittää osien kokonaispainoon, joka rajoittaa kunkin toimituserän suuruutta. Lisäksi kuorman purkamiselle tulee järjestää turvallinen paikka, josta osien nostot eivät vaaranna työalueella kulkevaa ulkopuolista liikennettä tai työmaalla työskentelevän henkilöstön työturvallisuutta.

Kun väliaikaisen sillan rakentamissuunnitelma on valmis, voidaan osien välivarastointipaikat suunnitella siten, ettei eri osille tarvitse tehdä ylimääräisiä siirtoja. Kehät, niskat, tuet ja muut perusosat, joita tarvitaan jatkuvasti rakennusvaiheen aikana, voidaan sijoittaa keskeiselle paikalle rakennusalueeksi varatun tilan tuntumaan. Kansielementit voidaan puolestaan sijoittaa varastointialueen perälle tai kuljettaa rakentamispaikalle vasta myöhemmässä vaiheessa. Mikäli rakentamisvaiheessa käytetään lanseerausnokkaa, kannattaa siihen varatut osat sijoittaa maatuen lähistölle lähitöpenkereen puolella.

Varsinkin ahtailla rakennuspaikoilla voi olla syytä laatia erillinen aluesuunnitelma varasillan osien välivarastoinnista, jotta työkohteella liikkuminen ja työskentely säilyisivät toimivina. Siltaosat voivat vaurioitua virheellisesti suoritettun varastoinnin seurauksena.

3.2.2 Maanrakennus- ja perustamistyöt

Varasillan perustaminen ja sen kiertotie vaativat usein mittavia maansiirtotyitä. Alusrakenteiden tehtävänä on ottaa vastaan ja jakaa tukien kautta maaperään siirtyviä kuormia suuremmalle alalle, jolloin maaperän suhteellinen kantavuus paranee. Maansiirtotyötä vaaditaan myös sillan ja maatukien asemoimiseen; kiertotien on sovittava geometriansa puolesta väylää ajavan liikenteen käyttöön. Lisäksi työtekniset seikat asettavat tiettyjä ehtoja sillan rakentamisolustalle.

Jotta liikennöinti kiertotiellä olisi turvallista ja sujuvaa, on väylän oltava korkeusasemaltaan mahdollisimman yhtenevä olemassa olevan tien pinnan kanssa. Siltapaikan pinnanmuodot vaikuttavatkin huomattavan paljon

maansiirtotöiden määrään. Myös kaarteet kiertotielle siirtymiseen mitoitetaan raskaalle liikenteelle sopivaksi. Siltarakenteen ylimääräisten kuorimitusten vähentämiseksi tulee pyrkiä siihen, ettei varasillan kannelle johdettavalla tiellä ole jyrkkiä käännöksiä sillan päädyn välittömässä läheisyydessä. Raskaiden ajoneuvojen kääntymisestä aiheutuvat voimat voivat johtaa epäsuotuisaan rasiutilanteeseen. Maaperälle suoritettujen pohjatutkimusten perusteella kiertotielle ja maatuille suunnitellaan rakennekerrokset, joilla tierakenteesta saadaan painumaton ja liikennekuormalle riittävän kantava.

Maansiirtotöiden jälkeen kiertotien pohja toimii alustana sillan kokoamiselle ja lanseerauksen suorittamiselle. Penger, jolta käsin lanseeraus suoritetaan, on oltava riittävän leveä ja tasainen matkalta, jonka pituus vastaa kalustosta riippuen noin 70 % varasillan kokonaispituudesta.

Yksikaistaisen varasillan rakentaminen vaatii mallista riippuen noin 15 metriä leveän alustan. Kaksikaistaisen version kokoamiseen tarvitaan tilaa jo noin 20 metriä. Myös vastapenkereen alustan olisi hyvä olla tasainen ja riittävän pitkä asennusnokkaa varten. (Tielaitos n.d., Department of the Army 1986.)

Asennuksessa käytettävien tuki- ja liukurullien alle asetettavat puuarinat upotetaan alustan pintakerroksen tasalle jo kiertotien täyttökerroksien rakennusvaiheessa. Tämän edellytyksenä on kuitenkin se, että rullien paikat on voitu jo määrittää. Kuormien tasaamisen kannalta on ratkaisevan tärkeää, että rullien ja niiden arinoiden paikat määritetään tarkasti.

3.2.3 Varasillan kokoaminen

Varasillan rakentaminen aloitetaan asentamalla tuki- ja liukurullat oikeille paikoilleen maatuen päälle ja asennusalustan pinnalle. Kokoamista varten tulee varata kohotinmateriaalia, jolla poikkikannatinelementit saadaan asetettua oikeaan korkoon rulliin nähden. Esimerkiksi 100 x 100 mm:n kokoista puutavaraa voidaan katkaista sopivan mittaisiin osiin ja pinota päällekkäin alustan pinnalle. Korokkeilla tulee saavuttaa enimmillään jopa asennusrullien yläpinnan tasoa noin 150 mm suurempi korko.

Mikäli lanseerauksessa tullaan käyttämään asennusnokkaa, aloitetaan rakentaminen kokoamalla rakennesuunnitelmaa vastaava nokka. Asennusnokka on varasillan rakennetyypistä riippumatta SS-rakenteinen, jotta se pysyisi kevyenä. Nokan keveys siirtää painopistettä rakennuspenkereen puoleisia tukia kohti, jolloin lanseeraus helpottuu ja nopeutuu. Lisäksi nokka ohjaa siltarakenteen tukirullille. Yleensä asennusnokan rakennetta on kevennetty jättämällä sen kehäjaksoista pois tuulisiteitä.

Asennusnokan kärkeä kohotetaan lisäämällä alapaarteiden kiinnityksen väliin kiilakappale. Kärkeä kohotetaan, jotta rakenne ei taipuisi sen oman

painonsa vaikutuksesta vastapenkereen tukirullia alemmaksi. Kohotus voidaan tehdä usealle kehäjaksole, ja rakennetyyppi sekä sillan kokonaispituus määrittävät, kuinka suuri kohotus nokassa tarvitaan. Asennusnokan rakentamisen peruserä on kuitenkin yhtenevä varsinaisen rakenteen kanssa, ja se eroaa kokoamisprosessiltaan varsinaisesta siltarakenteesta vain rakennetyypin osalta tai jos rakennesuunnitelma tai kaluston käyttöohjekirja määrittää muuta. Nokan pituus on noin 60 % sillan kokonaispituudesta. (Tielaitos n.d.)

Ensimmäisen jakson kokoaminen aloitetaan asettamalla poikkikannattaja korokkeiden varaan maatuon rullien korkeuteen ja sijaintiin nähden kohdistettuna. Etäisyyden tukirullista tulee olla käytettävän kaluston kehäjaksoson pituudesta riippuen sellainen, että ensimmäiseen poikkikannattajaan kiinnitettävät kehät lepäävät asennettuina tukevasti rullien päällä.

Kehäelementit kiinnitetään pulttikiinnityksellä niskaan. Lisäksi kehän yläpaarten ja poikkikannattajan kärjen välille asennetaan vinotuki. Tämän jälkeen vastakkaisten kehäelementtien ristikkäisten kulmien välille kiinnitetään rakennetta jäykistävät tuuliteet. Peräkkäiset kehäelementit kiinnitetään toisiinsa parretappikiinnityksellä sekä yläpaarteiden että alapaarteiden liitoksista. Tappien paikallaanpysyminen varmistetaan sokalla, joka työnnetään tapin poikkireiän lävitse. Jokainen niska asetetaan väliäikaisten korokkeiden päälle seuraavan kehäjaksoson kokoamisen alkaessa. Korokkeet voidaan siirtää, kun valmis rakenne tukeutuu järjestyksessään seuraavaan rullapariin.

Rakennettavan kehäjaksoson ollessa vahvistettu (R) elementin paarteisiin kiinnitetään pultein erillisiä vahvistintankoja. Kun kehäjaksoson rakennetyyppi muuttuu moniriviseksi, kiinnitetään rinnakkaiset kehäelementit toisiinsa asentamalla ristikkorakenteisia sidekehiä vierekkäisten kehien paarteiden ja päätytankojen väliin. Näin useasta elementistä muodostuva pääkannattaja saadaan toimimaan yhtenäisenä rakenteena. Lisäksi poikkikannattajien väliin asennetaan pystysiteet rakennesuunnitelman mukaisesti. Kun kehäjaksoson on rakennettu sopiva määrä tai kun rakentamisalueelta loppuu tila, voidaan rakennetta lanseerata kohti vastapengertä rullia pitkin liu'uttamalla. Painopisteen sijainti määrittää, kuinka pitkä matka siltaa voidaan kulloinkin lanseerata. Jokaista varasiltaa kohden on tämän vuoksi syytä laatia yksilökohtainen painopistelaskelma.



Kuva 5. Universal -varasillan rakennusvaihe käynnissä. (Ternola 2016)

3.2.4 Varasillan lanseeraus

Varasillan lanseerauksella tarkoitetaan työvaihetta, jossa siltarakenne siirretään lopulliselle paikalleen. Lanseeraus voidaan suorittaa vaiheittain varasillan rakentamisvaiheen lomassa veto- tai työntölanseerauksena, mutta vaihtoehtona on myös nostolanseeraus. Jos lanseerauksessa käytetään nostomenettelyä, ei asennusnokkaa tarvita ohjaamaan siltaa tukirullille. Nostolanseeraus ei sovi erityisen hyvin pitkien jännevälien varasilloille, joiden omapaino nousee korkeaksi ja tekee nostotyöstä haastavan. Tästä syystä sitä käytetään siirtolanseerausta harvemmin.

Siirtolanseerauksessa tulee varmistua, että kaikki tuki- ja liukurullat toimivat oikein. Rulliin integroidut jarrut pidetään kytkettynä aina, kun siltaa ei liikuteta. Rullien tilaa valvotaan lisäksi lanseerauksen aikana painumisen, kallistumisen tai muiden odottamattomien muutosten varalta. Jos siirto tapahtuu jaksoissa, tulee työntymissuuntaa tarkistaa jokaisen siirron jälkeen.

Siltaa työnnetään hitaasti kohti vastapuolta painopisteen paikkaa tarkkailen. Painopisteen vähimmäisetäisyys lähtöpenkereen tukirullista määritetään rakennesuunnitelmissa, joissa lanseerattavan rakenteen painopisteen laskennallinen sijainti esitetään. Yleensä turvaetäisyyden on oltava vähintään yhtä kehänjakson pituutta vastaava etäisyys. Painopisteen sijaintiin voidaan vaikuttaa myös lisäämällä vastapainoja ulommaisille kehäjaksoille. Vastapainoina voidaan käyttää esimerkiksi kaluston omia kansielementtejä. Varsinkin lanseerauksen loppuvaiheessa, viimeisten jaksosten asentamisen jälkeen, vastapainojen käyttäminen on perusteltu menetelytapa. Siltarakenteen liike täytyy pystyä pysäyttämään kesken siirron, jos vaiheen aikana havaitaan ongelmia. Varasiltavalmistajat esittävät lanseerauksessa käytettäväksi aina siirtävää ja jarruttavaa vintturia.

Vastapuolen maatuon päälle asetetut tukirullat kallistetaan silta-aukon suuntaan, jotta lanseerausnokka saadaan ohjattua hallitusti niitä pitkin kohti lanseeraustasoa. Lanseeraustaso saavutetaan, kun asennusnokan kohotettu osuus ylittää vastapuolen tukilinjan. Tämän jälkeen silta voidaan siirtää suoraan aukon ylitse, eikä painopisteen sijainti ole enää määrittävä tekijä rakenteen liikuttamiselle. Vastapenkereen alustan pituus ja muoto määrittävät, kuinka asennusnokan purkaminen suoritetaan. Mikäli alusta on nokalle liian lyhyt tai kalteva, suoritetaan asennusnokan purkaminen jaksoittain lanseerauksen loppuvaiheessa.

Lanseerausnokka puretaan ensimmäiseen varsinaisen sillan kehäjaksoon asti. Tämän jälkeen siltarakennetta nostetaan tunkkaamalla, jotta tukirullat saadaan vaihdettua lopullisiksi siltalaakereiksi.

Silta lasketaan oikealle paikalleen hydraulisten tunkkien avulla. Tunkkaus suoritetaan kahdella tunkilla, ja se tapahtuu maatukeen varatulta erilliseltä tunkkaustasolta. Vaihtoehtoisesti tunkit voidaan sijoittaa myös viimeisen kehäjakson päähän, sillan päädyn etupuolelle. (Tielaitos n.d., Mabey 2012.)

Kun siltalaakerit ovat asennettuna paikoillaan, lasketaan silta tunkkien varassa niiden päälle. Tunkkien fyysinen koko on valittava jo maatuon tunkkaustasoa mitoitettaessa. Tunkkauskorkeuden ja kapasiteetin tulee olla riittävä, mutta tunkkien poistamiseksi niiden nettokorkeuden täytyy olla pienempi kuin tason pinnan ja kehien alapaarteiden välinen etäisyys. Paikalleen laskun jälkeen sillan kanteen voidaan asentaa kansielementit. Kansielementtejä kannella siirtävässä ajoneuvossa tulee olla pyörät tai kumitelat. Niiden asennusvaiheessa voidaan hyödyntää myös nosturia.

Väliaikaisen sillan lanseerausta tulee valvoa työjohdon organisoimana erityisesti siirtojen yhteydessä, kun staattiset olot muuttuvat sekä alus- että päällysrakenteissa. Tärkein valvottava seikka on sillan painopisteen etäisyys lanseerauspenkereen puolen tukirullista. Mahdollisesti ilmenevät ongelmatilanteet liittyvät siltarakenteen lanseeraussuunnan poikkeavuuksiin ja muodonmuutoksiin sekä liuku- tai tukirullien epävakauteen tai rikkoutumiseen. Seurannassa on hyvä käyttää useita henkilöitä eri pisteille sijoiteltuina. Kommunikaatioon henkilöstön välillä on tarvittaessa käytettävä esimerkiksi radiopuhelimia. Etenkin lanseerauksessa käytettävien koneiden kuljettajilla tulee olla valmiudet reagoida mahdollisesti ilmeneviin poikkeustilanteisiin nopeasti.

Työntölanseerauksessa koottua rakennetta työnnetään sen rakentamisalustalta silta-aukkoa kohti esimerkiksi puskutraktorin avulla. Työntö tapahtuu osuuden päätyniskasta, joka suojataan kolhuilta asettamalla palkin ja työntölevyn väliin puutavaraa tai muuta pehmikettä. Mikäli käytettävä silta on rakenteeltaan raskas, voi niska olla tarpeen kiinnittää viimeisiin kehiin vaakatasoon. Niskan I-profiili kestää näin suuremman kuormituksen ja estää osan taipumisen. Työntölanseerauksessa vastapenkereelle ei tarvita

erillistä hinauskalustoa, ja lanseeraustyö on näin ollen tehokkaampaa. Lanseeraussuunnasta työntäminen voi kuitenkin johtaa pitkällä jänneväliillä suunnan poikkeamiin.

Vetolanseerauksessa silta voidaan lanseerata vastapuolelta hinauskalustolla vetäen. Vedettäessä sillan suuntaaminen on helpommin hallittavissa, ja menetelmä sopii erityisesti pitkän jännemitan silloille.



Kuva 6. Universal-varasillan lanseeraus loppuvaiheessa (Destia Oy 2016).

3.2.5 Varasillan viimeistely

Viimeistelyvaiheen alkaessa väliaikainen siltarakenne on asennettu laakeridensa päälle ja kannen levyelementit ovat kiinnitetty paikoilleen. Viimeistelytoimenpiteiden tarkoituksena on saattaa varasilta liikenteelle käyttökelpoiseksi ja turvalliseksi. Lisäksi sillan eri rakenteet ja osat suojataan vaurioilta. Tärkeimmät viimeistelyyn liittyvät osatyövaiheet ovat laakeritason ja pääkannattajien suojaaminen, penkereen tukimuurin asentaminen, kiertotien pintakerrosten rakentaminen sekä tie- ja siltakaiteiden asentaminen.

Varasiltakalustoihin kuuluu kiinteitä laakereita ja liukulaakereita. Siltalaakerit mahdollistavat rakenteen lämpöliikkeet ilman vaurioiden syntymistä. Toimiakseen oikein täytyy laakeriosien säilyä ehjinä ja puhtaina. Laakeritaso suojataan irtokappaleilta, joita voisi päätyä laakeritasolle maapenkerestä tai sillan kannen välityksellä. Helpoin tapa tason suojaamiseen on hitsata laakereiden tartuntalevyyn teräsprofiililevy (esimerkiksi Larssen 603), jolla taso saadaan suojatuksi täytön puolelta. Suojalevy voi korvata myös tukimuurin.

Tukimuuri asetetaan sillan päätä vasten tukemaan kiertotien rakenteita ja ehkäisemään muun muassa eroosion esiintymistä sillan keilojen yläosassa.



Kuva 7. Universal-kalustoon kuuluva kiinteä laakeri. Vasemmalla tukimuurina toimiva Larssen 603 -teräsprofiililevy. (Ternola 2017)

Kannessa on pyrittävä käyttämään reunasuisteellisia kansielementtejä, jotka estävät henkilöautoja ajautumasta pääkannattajia vasten. Sillan päädissä tulisi välttää terävänmallisia kaideratkaisuja. Mikäli kaista kapenee kannelle ajettaessa, on tiekaiteen parasta jatkaa yhtenäisenä siltakaiteen kanssa tien ulkoreunaa mukaillen siten, että kaide ohjaa liikennettä kantta kohti. Ajouradan ulottuvuuksia korostetaan työnaikaisella liikenneopastuksella. Tarvittaessa päätykehät suojataan törmäystä vaimentavilla turvalaitteilla. Sillan varsinaiset päätyrakenteet viimeistellään kalustokohtaisten ohjeiden ja rakennesuunnitelmien mukaisesti.

3.3 Rakennusvaiheen aikataulu

Varasillan käyttöönotto on lähes poikkeuksetta yleisaikataulun kannalta tahdistava vaihe. Varsinaiseen siltaan liittyvät työt voidaan aloittaa vasta, kun ulkopuolinen liikenne on siirretty kulkemaan täysin väliaikaisen sillan ja sen kiertotien kautta.

Jokainen väliaikaisen sillan siltapaikka on erilainen, joten maansiirto- ja pohjarakennustöiden aikataulu on laadittava ennalta toteutetun määrälaskennan perusteella. Maarakennusvaiheeseen liittyvistä työvaiheista on annettu seuraavia työmenekkitietoja:

- maankaivu 21 t:n kaivinkoneella 100–135 m³/itd/h (kaivuluokasta riippuen)
- liikennealueiden rakennekerrosten teko ja tiivistäminen: 0,038 kone-h/m³rtr
- täyttö rakennusalueella 0,022 kone-h/m³rtr
- tiivistys tärylevyllä 3–4 kertaa 0,05 tth/m²
- suodatinkankaan asennus 0,004 tth/m²
- asfaltointi levityskoneella 0,04 tth/m²
- kasvillisuuden kaataminen, metsuri 0,2 tth/100 m² (normaali tiheys).

(Ratu 0440 2017, 3, Ratu 12-0248 2003, 2, Ratu 16-0252 2003, 3, Ratu 18-0254 2002, 2)

Työmailta kerättyjen toteutumatietojen mukaan louhetäytön rakentamismeneksi on noin 0,07 tth/m³rtr täytön ääri rajojen muodosta ja luiskien kaltevuuksista riippuen. (Destia Oy 2017.)

Varasillan rakentamisen aikataulu on riippuvainen kalusto- ja rakennetyypistä sekä lanseeraustavasta. Lisäksi työmenekkiin voidaan vaikuttaa työkalujen ja -koneiden valinnoilla sekä työryhmän henkilöstömäärällä.

Siltakaluston vaikutus rakentamisnopeuteen on melko pieni kokoamistapojen yhteneväisyyden vuoksi. Sen sijaan rakennetyyppi on aikataululaskennan kannalta oleellisin tekijä. Nostolanseeraus nopeuttaa väliaikaisen sillan rakentamisvaihetta huomattavasti, sillä asennusnokkaa tai peräjaksoa ei tarvitse koota lainkaan.

Koska kehäjaksoa pidetään moduulivarasiltojen perusyksikkönä, rakentamisnopeutta voidaan tarkastella helpoiten kehäjakson, tarkemmin sanottuna yksittäisen kehäristikon, asennukseen kuluvalle ajalle, kun mukaan lasketaan myös mahdolliset asennusnokka ja peräjakso. Siltarakenteen kehäristikoiden yhteenlaskettu lukumäärä toimisi täten aikataulutuksen lähtötietona.

Toteutumatietojen perusteella laskettuna yhden kehäristikon rakentaminen yksikaistaiseen varasiltaan asteittain siirtolanseeraten kestää rakennetyypistä riippuen 1,8–2,2 tth/kpl. Työryhmän kokoonpanoon kuuluu työnjohtaja ja kolme rakennusammattimiestä, joilla on käytössään kaksi työkonetta (esimerkiksi puskutraktori tai kaivinkone). (Destia Oy 2017.) Monirivisissä ja kaksikerroksisissa rakennetyypin kehäjaksoissa työtä hidastaa muun muassa ristikoiden kiinnittäminen toisiinsa.

Toteutumatietoon perustuen voidaan esittää arvio yleisimpien rakennustyyppien kehäjaksojen rakennusnopeuksista, kun silta lanseerataan asteittain siirtämällä ja edellä mainitun kaltaisella työryhmällä:

- SS: 3,6 tth/kehäjakso
- DS: 8,0 tth/kehäjakso
- TS: 13,2 tth/kehäjakso

Muiden rakennusnopeutta muuttavien tekijöiden vaikutukset kokoamisai-katauluun eivät ole tarkasti tiedossa, ja ne tulee arvioida kohdekohtaisesti erikseen. Rakentamista hidastavia seikkoja ovat esimerkiksi kehien parrevahvistus, kaksikerroksinen rakennustyyppi ja kevyenliikenteenväylän kannatinpalkkien asennus.

Nostolanseerauksena suoritettava asennus puolestaan nopeuttaisi rakennusvaihetta hieman.

3.4 Laatu rakennusvaiheessa

Kaikille maanvaraisten siltaperustusten alle tehtävistä yli 600 mm paksuisista täytöistä on laadittava tekninen työsuunnitelma, joka sisältää kuvauksen täyttömateriaaleista, tiivistystyössä käytettävästä kalustosta, tiivistystyön ohjeistuksesta, tiiviyttä koskevista laadullisista asioista sekä laadun-tarkkailumittausten suorittamisesta. Lisäksi yli 600 mm:n täytölle on tehtävä koetiivistys, jossa tiiveysaste määritetään levykuormituskokeella. (InfraRYL 42013.1.2 2015.)

Maanvaraisen perustuksen alla on käytettävä raekokojakaumaltaan optimaalista ja rapautumatonta täyttömateriaalia, joka täyttää rakenteelle asetetut ominaisvaatimukset myös muilta osin. Täyttömaan enimmäis-raekoko on 300 mm, eikä se saa sisältää jätettä tai epäpuhtauksia. Vaikka täytöt toteutettaisiin louheella, sillan betoniosien pintoja vasten täytyy olla vähintään 500 mm:n kerros raekooltaan alle 63-millistä mursketta tai soraa. (InfraRYL 42013.3.2 2015.)

Louhetäyttöjen tiivistäminen tapahtuu enintään 1000 mm:n kerroksina, jolloin tiivistyskertojen määrä on yli 80 kN:n täryjyrällä kymmenen jyräyskertaa. Maa-aineksen tiivistys tulee suorittaa koko alueen laajuisesti yhtenäisenä jokaisen kerroksen kohdalla. Mursketäyttöjen suurin kerrospaksuus on 400 mm 50 kN:n jyrällä tiivistettäessä ja 600 mm 80 kN:n jyrällä tiivistettäessä. Tällöin tiivistyskertoja on oltava vähintään kuusi. (InfraRYL 42013.3.1 2015.)

Kerrosten tiivistämisen tehostamiseksi täyttömateriaalia on kasteltava lähelle optimivesipitoisuutta. Kastelussa tulee kuitenkin varmistua, ettei

täyttömaa lajitu tai aiheuta muodonmuutoksia alemmissa rakennekerroksissa. Kastelua ei tule käyttää talviaikana tehtävän täyttötöyön yhteydessä jäätymisvaaran vuoksi. (InfraRYL 42013.3.1.9 2015.) Mikäli pohjamaa on todettu pohjatutkimuksien yhteydessä häiriintymisherkäksi, on alimmaisen täyttökerroksen kohdalla vältettävä tiivistämistä täryttämällä.

Levykuormituskokeessa saatavan toistokuormituksen (E_2) ja kantavuuden (E_1) suhteen on oltava alle 2,2 ($E_2/E_1 \leq 2,2$). E_2 arvon on oltava vähintään 175 MN/m^2 . Täytön pinnan suurin sallittu epätasaisuus on +50 mm, -100 mm tai suunnitelmien erikseen määrittelemä taso. (InfraRYL 42013.3.1 2015.)

Varasillan maatumien betonilla tulee olla kovettuneena suunnitelmien edellyttämät lujuus- ja kestävyysominaisuudet. Betonimassan ominaisuusvaatimukset laaditaan kohdekohtaisesti olosuhteiden ja työmenetelmien mukaan. Rasitusluokan valintaan vaikuttaa ympäristön piirteet, jotka aiheuttavat betonille muun muassa fysikaalista tai kemiallista rasitusta. Työtekniisten menetelmien osalta betonimassan olennaisin ominaisuus on notkeusluokka. (InfraRYL 42020.1.1.2 2015.)

Maatuissa käytetyn betonin puristuslujuus testataan 28 vuorokauden kypsyydessä tai kuten rakennussuunnitelmissa erikseen määritetään. (InfraRYL 42020.1.1.5 2015.) Koekappaleiden jälkihoito suoritetaan yhtenevällä menetelmällä ja samoissa olosuhteissa kuin varsinainen valu.

4 VARASILTOJEN TYÖNAIKAINEN KUNNOSSAPITO

Sillan uusimishankkeet kestävät yleensä 8–12 kuukautta. Mikäli kohteella on käytössä kiertotiejärjestely, on myös varasilta käytössä useita kuukausia projektin aikana. Korkea käyttöaste ja kuormitus sekä muuttuvat käyttöolosuhteet muodostavat varasiltakalustolle kunnossapidon tarpeen, joka kohdistuu sekä siltarakenteeseen että itse liikenneväylään, jonka osana se toimii.

Kunnossapidolliset asiat tulee suunnitella ennalta tarkasti tilaajan määrittämät vaatimukset huomioiden. Urakkasopimuksessa voidaan esimerkiksi määrittää, millaisia työstä johtuvia katkoja liikenteelle voidaan enintään aiheuttaa. Hyvin suunniteltu ja onnistuneesti toteutettu kunnossapito takaa liikenteen turvallisuuden ja sujuvuuden varasillan tieosuudella. Toimiva liikenne tekee myös työmaan lähiympäristöstä turvallisen sen työntekijöille.

4.1 Varasiltojen tekninen kunnossapito

Teräsmoduulisiltojen kunnossapidon tarkoitus on säilyttää sen rakenteelliset ominaisuudet muuttumattomina siten, että silta voidaan säilyttää turvallisena ja sen kalusto ehjänä niin käytön aikana kuin sen jälkeenkin.

Varasiltojen kunnossapito voidaan jakaa vaurioiden ehkäisemiseen ja tavanomaisiin kunnossapitotoimenpiteisiin. Liikenne aiheuttaa sillan rakenteelle mekaanista kuormitusta, jonka suuruus vaihtelee tarkasteluhetkitäin. Tämän vuoksi varsinkin aluksi sillan pultti- ja tappikiinnitykset löystyvät jonkin verran. Kiinnitysten välitys voi aiheuttaa varasillan rakenteeseen haitallista kulumaa tai muita mekaanisia vaurioita. Lisäksi liikenteestä aiheutuvat sykäyskuormat voivat kasvaa puutteellisen kiinnityksen seurauksena.

Mekaanisen kuormituksen lisäksi rakenteisiin aiheuttaa muodonmuutoksia teräksen lämpölaajeneminen. Varsinkin epätasainen lämpölaajeneminen aiheuttaa niin ikään rakenteeseen ja kiinnityksiin vaikuttavia voimia, joka saattaa johtaa siltarakenteiden muodonmuutoksiin. Teräksen pituuden lämpötilakerroin on $12 \cdot 10^{-6}/K$. (Seppänen ym. 2005, 76.)

Oheinen taulukko esittää Universal-varasiltarakenteen pituuden laskennallista muutosta, kun lämpötilan vaihteluväli on 50 °C.

| Jaksojen lukumäärä (kpl) | Sillan kokonaispituus (m) | Rakenteen kokonaispituuden muutos (mm) |
|--------------------------|---------------------------|--|
| 3 | 13,5 | 8,1 |
| 6 | 27 | 16,2 |
| 9 | 40,5 | 24,3 |
| 12 | 54 | 32,4 |
| 15 | 67,5 | 40,5 |
| 18 | 81 | 48,6 |

Taulukko 1. Siltarakenteen lämpölaajeneminen. (Ternola 2017)

Varasillalle tulee suorittaa käyttöönottotarkastus ennen sen avaamista liikenteelle. Tarkastuksessa tulee varmistua siitä, että varasilta on kokonaisuutena suunnitelmien mukaisesti toteutettu eikä rakennusvaiheen aikana ole syntynyt poikkeamia. Erityisesti huomiota tarkastuksen aikana tulee kiinnittää maatukeen, laakereihin, pääkannattajien tilaan, kiinnityksiin, sillan kannelle johtavan tien yleiskuntoon sekä kohtiin, joihin sillan staattisista ominaisuuksista riippuen muodostuvat suurimmat momentit. (Tielaitos n.d.)

Maatuista ja mahdollisista välituista tarkastetaan ennen kaikkea niiden korkeusasema. Tukien epätasainen painuminen aiheuttaa poikkeuksetta ylläkirjituksen jollekin siltarakenteen osalle. Maatukien kohdalla tarkastuksen yhteydessä tulee varmistaa lisäksi vierustäytön riittävyys ja tiiveys sekä eroosion ennaltaehkäisyn toimivuus.

Laakereiden osalta tarkastuksessa voidaan todeta silmämääräisesti niiden yleiskunto ja asema suhteessa päätykehien alapaarteisiin. Myös laakereiden liikevarat, voitelu ja puhtaus tulee varmistaa tarkastuksen yhteydessä. Varasillan pultti- ja tappikiinnitykset on syytä tarkastaa niiltä osin, kun se on mahdollista. Etenkin tulopenkereen puoleisissa kehäjaksoissa lanseeraus on saattanut vaikuttaa pulttikiinnityksien kireyteen. Parretapeista tarkastetaan niiden lukkorenkaiden olemassaolo.

Sillan elementeistä tulee varmistaa, että kaikki rakenteeseen suunnitellut osat ovat paikoillaan kiinnitettynä oikein. Tarkastuksen yhteydessä voidaan tarkastella silmämääräisesti, onko esimerkiksi pääkannattajissa havaittavissa poikkeamia tai muodonmuutoksia. Lanseerauksen yhteydessä on mahdollista, että pääkannattajat kaareutuvat tai kallistuvat vaakasuunnassa. Mikäli poikkeamia havaitaan, tulee siltä pitää toistaiseksi suljettuna liikenteeltä ja vaurioiden aiheutumisen syy tulee selvittää niiden korjaamiseksi.

Kannelle johtavassa tiessä ei tulisi olla painumia tai muita vaurioita, sillä ne voivat aiheuttaa ajoneuvojen suistumisen riskin ja ylimääräisiä sysäyksiä sillan rakenteelle. (Tielaitos n.d.)

Käyttöönottotarkastus suoritetaan yleisesti kaksiosaisena, jossa suunnittelija ja urakoitsija suorittavat valmiille sillalle omat tarkastuksensa. Mikäli kumpikaan osapuoli ei havaitse tarkastuksessaan laatu- tai poikkeamia, voidaan siltä avata liikenteen käyttöön. (Destia Oy 2017.)

Ensimmäinen jälkikiristys tulisi suorittaa kaikille varasillan osille noin 1–2 viikon kuluttua kiertotien avaamisesta. Liikenteen aiheuttama kuormitus ja värinä, tuulikuormitus sekä lämpötilavaihtelut aiheuttavat sillan rakenteisiin voimia, jotka löystyttävät eri osien välisiä kiinnityksiä. (Destia Oy 2017.)

Toinen jälkikiristys suoritetaan 1–2 kuukautta ensimmäisen jälkikiristytyn jälkeen, jolloin varasillan kuormitettimpien osien kiinnitykset tarkistetaan. Kiinnitykset tarkistetaan tällöin kansielementeistä, tuulisiteistä ja niskojen pystysiteistä sekä muista osista tarpeen niin vaatiessa. (Destia Oy 2017.) Rakennesuunnittelija määrittää seuraavat jälkikiristytystarkastukset, mikäli kiristystarvetta ei muutoin havaita.

Kaikista siltarakenteelle suoritetuista tarkastuksista on syytä laatia tarkastuspöytäkirja. Näin voidaan varmistaa, että kaikki epäkohdat on huomioitu

tarkastuksen yhteydessä ja että ne voidaan jälkitarkastaa korjaustoimenpiteiden jälkeen.

Jälkikivistysten lisäksi väliaikaiselle sillalle tulee suorittaa yleistarkastus säännöllisin väliajoin noin kahden kuukauden välein käyttöönoton jälkeen. Tarkastusten merkitys korostuu ensimmäisten käyttöviikkojen aikana, kun kuormitukset ovat vaikuttaneet sillan osiin ja pohjarakenteisiin.

Laatumittauksiksi määritellään yleensä myös korkojen tarkeseuranta, jossa tarkastellaan sillan pohjarakenteiden korkeusaseman muutoksia. Tarkemittauksilla varmistetaan, ettei alusrakenteissa tapahdu epätasaista painumaa, joka voisi tehdä muutoksia siltarakenteen staattiseen toimintaan.

4.2 Varasiltojen liikenteellinen kunnossapito

Liikenteellisen kunnossapidon tavoitteena on pitää liikenne turvallisena ja sujuvana siltapaikalla ja sen läheisellä tieosuudella. Myös haitat ympäristölle ja projektin etenemiselle pyritään minimoimaan aktiivisella liikenneväylän kunnossapidolla.

Yleisesti väylän kunnossapito käsittää valtateiden kohdalla lumen aurauksen ja suolauksen, päällysteen ja tierakenteen vaurioiden korjaamisen, tienvarsien niiton, tiemerkitöjen teon ja ylläpidon sekä tienvarsivarusteiden- ja laitteiden kunnossapidon.

Yksittäiset väylänparannushankkeet eivät kuulu alueellisiin kunnossapitourakoihin, vaan työmaa-alueiden ja niiden lähiympäristöjen liikenteellisestä kunnossapidosta vastaa hankkeen pääurakoitsijat. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2016.) Kaikki osa-alueet väylien yleisestä kunnossapidosta soveltuvat myös kiertotieosuudelle, jolla on käytössä väliaikainen silta.

Talvikunnossapidon säännöllisimmin toteutettavat toimenpiteet ovat lumen auraus ja tiestön suolaus. Suolausta ei suositella käytettäväksi varasillan kannen pinnalla, sillä liukkaudentorjuntasuolan aiheuttama kemiallinen rasitus on haitallista siltojen teräsosille ja voi aiheuttaa toistuvana korroosiota. Myös aurausta siltojen kansilla voidaan joutua rajoittamaan, sillä useiden tuoteryhmien kansielementeissä käytettävät kuviopintaiset teräslevyt saattavat vaurioitua ja vaurioittaa itse aurauskalustoa.

Kansielementtien liukkautta voidaan torjua levittämällä kansielementtien päälle sirotepintainen ohutpäällyste. Asphaltin käyttö ei ole yleensä kannattavaa sen tuoman päällystekuorman vuoksi. (Tielaitos n.d.) Haastavissa talviolosuhteissa sillan kansielementtien lämmittämistä voisi harkita osana liukkaudentorjuntaa. Lämmittäminen voisi tapahtua muun muassa asentamalla lämmityselementtejä kansielementtien alapintaan. Lämmittämisen

mahdollisuutta olisi suositeltua tutkia, jotta menetelmän toteutuskelpoisuus ja käytössä saavutettavat hyödyt selviävät.

Sillan kannelle johtavan tien tulee lähtökohtaisesti olla suora ja jatkaa samassa linjassa sillan rakenteen kanssa. Kiertotien pinta on päällystetty vähintään 30 metrin matkalta sillan päädyistä alkaen (Tielaitos n.d.). Tien ja päällysteen vaurioiden korjaaminen muodostuu merkittäväksi osaksi kunnossapidon prosessia, sillä ajoneuvojen jarrutuksien sekä kiihdyttämisen seurauksena tien päällystekerros kuluu sillan päätyjen läheisyydessä tavallista voimakkaammin. Koska kiertotien rakennekerrokset on tavallisesti rakennettu varta vasten väliaikaisen sillan kiertotietä varten ja ne vaativat usein suuria materiaalitäyttöjä, tulee kunnossapidossa varautua tiepohjan tavallista suurempaan painuvuuteen. Yksikaistaisessa ratkaisussa rakennekerrokset rasittuvat liikennemäärään nähden kaksinkertaisesti.

Kansielementtien kunnossapitämiseksi väliaikaisen sillan kansi tulee pitää puhtaana ylimääräisistä materiaaleista ja kappaleista. Sillan ylittävät rasakat yhdistelmät voivat murskata esimerkiksi kivet kansilevyjä vasten, jolloin elementtiin voi tulla pintavaurio tai jopa reikä. Työmaan kannattaa siis varautua sillan kannen ja väylän puhdistamiseen esimerkiksi harja-auton avulla. Päällystetty kiertotie vähentää kappaleiden kulkeutumista kansielementtien päälle liikenteen mukana. Tela-alustainen työkone voi ylittää sillan kannen vain kumiteloilta varustettuna tai mikäli kansi suojataan ylityksen ajaksi esimerkiksi puutavaralla tai levyillä. (Tielaitos n.d.)

Sillan reunimmaisten kehäjaksojen päät tulisi suojata törmäystä vaimentavilla laitteilla, jotka suojaavat henkilövahinkojen ohella myös sillan pääkannattajia. Sillan kannen matkalla kaiteissa tulee olla ajojohde, joka estää ajoneuvojen suistumisen ajoradan ulkopuolelle ja suojaa pääkannattajia.

Varasillan käyttö kiertotiellä vaatii aina liikenteenohjauksen suhteen tiettyjä erikoisjärjestelyitä. Liikennettä ohjataan liikennemerkistöllä ja liikenteenohjauslaitteilla. Tienkäyttäjien on saatava ennakkovaroitus poikkeavasta liikennejärjestelystä tieosuudella, johon työnaikaiset liikennejärjestelyt vaikuttavat.

Liikenteenohjauslaitteet, niiden sijainti ja muut vaatimukset määrittävät toimintaympäristöluokan (S) mukaan. Liikennemerkit sijoitetaan ajoradan molemmille puolille teillä, joiden KVL ylittää 1500 ajoneuvoa vuorokaudessa. (Liikennevirasto 2012.)

Nopeusrajoitus väliaikaisen sillan kohdalla on 30 kilometriä tunnissa. Nopeusrajoitusta on laskettava portaittain siltapaikkaa lähestyttäessä, jos edeltävä nopeusrajoitus on yli 30 kilometriä tunnissa korkeampi kuin työalueen rajoitus. Nopeusrajoitusta porrastetaan 20 kilometriä tunnissa kerrallaan, ja rajoitusmerkkien välinen etäisyydeksi on määritetty 150–300 metriä. (Liikennevirasto 2012.) Mikäli väliaikaiselle sillalle on asetettu pai-

norajoitus, tulee se osoittaa kokonaispainoa, akseli- tai telikuormaa rajoittavalla liikennemerkillä. Lisäksi ajoneuvojen välinen vähimmäisetäisyys tai muu rajoitus voidaan osoittaa painorajoitusmerkin yhteydessä lisäkilvellä.

Yksikaistaisilla varasilloilla tienkäyttäjille tulee välittää tieto väistämismellvollisuudesta kohdattaessa. Vilkkaasti liikennöidyillä tieosuuksilla tämä tarkoittaa käytännössä aina liikennevalojen asentamista. Vähäliikenteisillä teillä etuajo-oikeuden osoittaminen liikennemerkkein riittää, mikäli se havaitaan olosuhteet huomioon ottaen toimivaksi ratkaisuksi. Myös liikennevalo-ohjatulla siltapaikalla täytyy olla etuajo-oikeuden osoittavat liikennemerkkit siltä varalta, että liikennevalojen toiminta jostain syystä keskeytyisi.

Myös väliaikaisen sillan pituus ja näkyväisyys siltapaikalla vaikuttavat lopullisiin liikennejärjestelyihin. Kaksikaistaisten siltojen kohdalla ohittaminen on kiellettävä liikennemerkkein. Jos sillan hyötyleveys on pienempi kuin väylän ajoradan leveys, tulee kapenemisesta ilmoittaa tienkäyttäjille tästä varoittavalla merkillä. Työnaikaiset liikennejärjestelyt tulee suunnitella työmaan alueelle aina tapauskohtaisesti ja olosuhteet huomioiden.

Alle yhden kilometrin pituisen työmaa-alueen sijaitessa jo ennestään valaistulla tieosuudella täytyy valaisinlaitteet pitää käytössä koko työn ajan. Lisäksi näiden tieosuuksien yhteyteen rakennettaville kiertoteille on järjestettävä valaistus. Jatkuva valaistus on pidettävä käytössä elokuun alusta huhtikuun loppuun saakka. (Liikennevirasto 2012.)

Talvikunnossapidon yhteydessä on huolehdittava, etteivät liikennemerkkit tai esimerkiksi liikennettä siltapaikalla ohjaavat valo-opasteet peity lumen tai kaadu lumen aurauksen yhteydessä. Sillanrakennushankkeen urakoitsijan kannattaa olla yhteydessä kunnossapitoalueen urakoitsijaan ja sopia etukäteen kunnossapidollisista asioista työmaan läheisyydessä.



Kuva 8. Tien päällystekerros kuluu varasillan päädyissä. (Ternola 2017)

5 VARASILTOJEN PURKAMINEN

Varsinaisen sillan rakennustöiden valmistuttua liikenne voidaan siirtää kiertotieltä jälleen tavanomaiselle reitilleen. Liikenteen siirtämiseen liittyvät muun muassa uusien liikennejärjestelyiden rakentaminen ja työmaan työalueen uudelleenjärjestely. Kiertotien purkamisvaiheessa poistettavia kohteita ovat itse siltarakenteen lisäksi betoniset maatuet ja kiertotien rakenteet.

5.1 Purkamisvaiheen suunnitelmat

Jotta purkamisvaihe voidaan toteuttaa tehokkaasti ja turvallisesti, vaatii työvaihe huolellista valmistelua. Omat haasteensa työlle aiheuttavat alueella kulkeva liikenne ja purettavien materiaalien suuret määrät. Seuraavien alla listattujen suunnitelmien laatiminen ennalta parantaa purkamisvaiheen onnistumisen edellytyksiä.

Purkamisvaiheen tehtäväsuunnitelma, joka määrittää

- tehtävän osatyövaiheet
- työvaiheiden keskinäisen työjärjestyksen
- työvaiheiden ajoituksen
- purkamisvaiheen työtavat
- siltaosien kuljetusjärjestelyt
- maa-aineksen kuljetusten yksityiskohdat
- materiaalien välivarastoinnin ja käsittelyn
- purkujätteiden kierrättämisen ja loppusijoituksen
- työmaan sisäisen logistiikan toiminnan.

Aikataulusuunnitelma, joka

- ajoittaa osatyövaiheet tehtävän aikaikkunaan
- määrittää työsaavutukset ja työryhmät
- sitoo tehtävät suorituspaikkaan
- nostaa esiin työtä tahdistavat vaiheet.

Liikennesuunnitelma, joka esittää

- liikennemerkkien sijoittelun työmaa-alueella
- työnaikaisten liikenteenohjauslaitteisen sijoittelun
- työmaaliikenteen ajoreitit
- ajoneuvojen lastauspaikat.

Rakentamisvaihetta varten laadittua painopistelaskelmaa voidaan käyttää myös väliaikaista siltaa purettaessa, jos sillan rakenne vastaa poistettaessa rakennesuunnitelmaa.

5.2 Purkamisen työvaiheet

Kiertotien ja varasillan purkamisvaihe sisältää samat osatyövaiheet kuin rakennusvaiheessa, mutta ne suoritetaan aikaisempaan nähden käänteisessä järjestyksessä.

Ensimmäinen toimenpide on ulkopuolisen liikenteen siirtäminen kulkemaan kiertotieltä varsinaiselle väylälle. Liikennejärjestelyn muutos ei saa aiheuttaa edes hetkellisesti tilannetta, jossa liikenneopastus tai sen puuttuminen voi aiheuttaa tienkäyttäjille riskin. Vaaratilanteita voi aiheuttaa muun muassa väärälle ajokaistalle ajautuminen tai risteäminen työmaaliikenteen kanssa. Ajojärjestelyt merkitään väliaikaisilla ja helposti siirrettävillä liikenteenohjauslaitteilla yksiselitteisesti. Tarvittaessa paikalle voidaan järjestää liikenteenohjaajat liikenteen siirron ajaksi. Liikenteen palatua varsinaiselle väylälle kiertotien liittymät suljetaan ja kiertotien työalue suojataan törmäyssuojilla. Ensimmäisenä varasillasta poistetaan kaiteet ja päätyrakenteet. Myös tiekaiteet puretaan riittävältä etäisyydeltä varasillan päätyjen läheisyydestä.

Seuraavaksi kiertotien pinnasta poistetaan päällystekerrokset, jotka kuljetetaan asfalttiasemalle massan kierrätystä varten. Tien rakennekerroksia poistetaan aluksi vähintään sen verran, että tukimuurit ja laakeritasoa suojaava teräsprofiili saadaan poistettua. Kansielementit poistetaan rakenteen omapainon vähentämiseksi. Tämän jälkeen silta saadaan tunkattua vapaasti ylös laakereilta. Rakenne tuetaan väliaikaisilla tuilla, ja sillan laakerit vaihdetaan tukirulliin. Lopputilanteessa tiekerrosten maa-ainesta tulee olla poistettuna riittävästi, jotta asennusnokan kokoamiselle saadaan tarpeeksi vapaata tilaa.

Työtä suunniteltaessa arvioidaan paras menettely lanseerausnokan ja -perän rakentamiseen. Nokka on helpointa koota 2–3 kehäjakson osissa vaiheittain, jolloin tarvittavan tilan määrä on melko pieni ja tukitason ylittävän ulokkeen laajamittaiselta tukemiselta vältytään. Sillan vastakkaiseen päähän kootaan 1–2 kehäjakson pituinen asennusperä, jonka avulla rakennetta voidaan tasapainottaa siirron aikana. Mikäli siltarakenteen painopiste sen mahdollistaa, voidaan siltaa liikuttaa samassa tahdissa kuin asennusnokan jaksoja saadaan valmiiksi. Kun suunnitelmien mukainen asennusnokka on valmis ja sen viistetty osa aiotaan laskea rullien päältä, asetetaan vastapuolen asennusperäjakson päälle vastapainoja estämään rakenteen kaatumisen silta-aukkoon.

Tukilinjalta irtoamisen jälkeen siltaa voidaan teoriassa liikuttaa kohti asennusperästä kerralla niin paljon kuin alustassa riittää tilaa ja liukurullia.

Käytännössä rakenteen purkaminen joudutaan usein aloittamaan vaiheittain tilan puutteen vuoksi jo siirtojen lomassa. Kun kehäjaksoja aletaan purkaa asennusperästä lukien, tulee painopisteen etäisyys tukilinjasta varmistaa ennen siltaosien ja vastapainojen poistamista. Jos vastapainoja joudutaan käyttämään myös purkamisen myöhäisemmässä vaiheessa, tulee niiden alustaksi asennettavat elementit kiinnittää aina niskoihin. Purkamista jatketaan vaiheittain, kunnes rakenne mahdollaan siirtämään kokonaisuudessaan asennustason ja rullien päälle. Tämän jälkeen osien purkua jatketaan, ja sillan osien poiskuljetus aloitetaan.

Varasillan betoniset maatuet ja kiertotie puretaan ja niiden rakenteissa käytetyt materiaalit jatkokäsitellään urakka-asiakirjojen mukaisesti. Käsitely- ja kuljetustarpeen vähentämiseksi purkumateriaaleja voidaan pyrkiä kierrättämään tai käyttämään uudelleen esimerkiksi toisella työkohteella, joka sijaitsee lähialueella. Mikäli uudelleenkäytön mahdollisuuksia ei ole huomioitu etukäteen, voidaan asiaa tiedustella tilaajaosapuolelta purkamisvaiheen suunnittelun yhteydessä. Puhtaita materiaaleja voidaan tarvittaessa hyödyntää esimerkiksi sillan keilojen ja varsinaisen väylän luiskien maisemointitöiden yhteydessä.

5.3 Purkamisvaiheen aikataulu

Kiertotiejärjestelyn purkuvaihe koostuu varasillan poistamisesta, betonisten maatumien purkamisesta ja kiertotien rakennekerroksien poistamisesta. Purkamisen aloittamisen edeltävänä vaiheena on liikennevirran siirtäminen valmistuneelle reitille. Työvaihetta voidaan nopeuttaa suorittamalla purkutyötä samanaikaisesti eri osa-alueilla siltä osin kuin se on työmaalla mahdollista. Kun varasiltaa aletaan siirtää kohti asennusrantaa, poistuu ajallinen riippuvuus vastarannan tierakenteen ja maatumien purkamisen osalta heti, kun asennusnokan kärki lasketaan tukirullilta silta-aukon puolelle.

Varasiltarakenteen purkamiseen voidaan arvioida kuluvan samoilla resursseilla yhtä kauan aikaa kuin sen rakentamiseen ja lanseeraukseen. Jos siirtojen lukumäärää onnistutaan karsimaan vetämällä varasilta asennuspenkereen alustalle suurempana kokonaisuutena, on purkuprosessi hieman nopeampi.

Tierakenteen purkuajataulu on riippuvainen kaivukalustosta ja materiaalin poiskuljetuksesta. Louheen (kaivuluokka D) kohdalla 21-tonnisen kaivinkoneen työsaavutus on 100 m³itd/h. Kaivutyötä voidaan nopeuttaa valitsemalla raskaampi, 30–35 tonnin kone, jolla saavutus kasvaa 135 m³itd/h:iin tai käyttämällä työhön useaa konetta. (Ratu 12-0248 2003, 2.)

Toinen työtä tahdistava tekijä on kuljetuskaluston kapasiteetti ja materiaalin kuljetusmatka. Lastauksessa on noudatettava ajoneuvon omia ja kuljetusreitien tiestön painorajoituksia. Taulukossa on esitetty kuljetusetäisyyden vaikutus siirtymiseen kuluvaan aikaan.

| | | | | | | |
|------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Matka yhteensä suuntaan (km) | 3–6 | 6–10 | 10–15 | 15–20 | 20–25 | yli 25 |
| Kierrosaika (min) | 9–16 | 18–22 | 24–30 | 33–41 | 43–51 | 53–61 |
| Kuormaa /h | 5 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |

Taulukko 2. Kuljetusaika etäisyyksittäin (muokattu Ratu 12-0248 2003, 2).

6 YHTEENVETO JA KUSTANNUSTARKASTELU

Suomessa tieliikenteeseen vaikuttaa väylärakentamisen kannalta kaksi merkittävää trendiä: ajoneuvojen suurimman sallitun kokonaismassan kasvattaminen tavarankuljetusten tehostamiseksi ja parannustöistä liikenteelle aiheutuvien kokonaishaittojen pienentäminen. Tavarankuljetuksen tehokkuuden parantaminen pyrkii tieliikennekuljetusten kustannusten ja ympäristövaikutusten pienentämiseen. Liikenneviraston tekemien ennakoarvioiden mukaan uudistunut ajoneuvoasetus laskee kuljetuskustannuksia 3,2 miljardia euroa 20 vuoden aikavälillä. Elinkeinoelämän keskusliitto on arvioinut säästöt 155–255 miljoonan euron suuruisiksi vuotuisella tasolla. (Torkkeli & Lilja 2013.)

Liikennelainsäädäntö edellyttää tiealueella tehtäviltä töiltä tarpeettoman haitan välttämistä. Liikennejärjestelyissä on täten pyrittävä siihen, että liikenteen välityskyky säilyy kohteessa riittävänä myös rakennustöiden aikana. (Liikennevirasto 2012.) Liikennejärjestelyjen yksityiskohdat ovatkin tärkeä osakokonaisuus tilaajalle urakan tarjouskilpailuvaiheessa ja urakaneuvotteluissa. Suuntaus tulee vaikuttamaan tulevaisuudessa todennäköisesti myös liikennemääriltään pienempien teiden työnaikaisten liikennejärjestelyiden toteuttamistapoihin.

Väliaikaisten siltojen osalta työnaikaisten ajojärjestelyiden vaatimusten trendikehitys tarkoittaa käytännössä sitä, että varasillat tulisi toteuttaa yhä useammin kaksikaistaisina rakenteina. Kaksikaistainen malli rajoittaa kuitenkin varasillan enimmäisjännemittaa yksikaistaiseen siltaan verrattuna ja vähentää varasiltajärjestelyn käyttömahdollisuuksia eri työkohteissa. Ajoneuvomassojen kasvu puolestaan edellyttää samalla jänneväliä aiempaa raskaampien rakennetyyppien käyttöä tai pienentää niin ikään rakenteella saavutettavaa enimmäisjänneväliä.

Näiden tarkastelutietojen valossa voidaan tehdä johtopäätös, että nykyään käytettävistä kalustoista ainoastaan yksikaistaisena toteutettavissa

oleva Bailey tulee soveltumaan työnaikaiseen käyttöön yhä heikommin. Kaksikaistaisena toteutettavissa olevista kalustoista vahvemman, Universalin, käyttötarve tulee kasvamaan kehityssuuntausten mukana. Acrowkalusto säilynee kilpailukykyisenä vaihtoehtona painorajoitetuilla tieosuuksilla.

Kehityssuuntaukset asettavat siis haasteita etenkin väliaikaisten siltojen kantavuudelle. Lähitulevaisuudessa ongelmat voidaan ratkaista helpoiten välitukia käyttämällä. Jatkuva varasilta mahdollistaa huomattavasti pidemmän kokonaispituuden, mutta välitukien työkustannukset tekevät järjestelystä yksiaukkoista ratkaisua merkittävästi kalliimman.

Myös siltakalustot vastaavat inframarkkinan käyttötarpeisiin jatkuvasti huonommin. Pitkällä aikavälillä tarkasteluna olisikin perustelua kartoittaa modernien varasiltakalustojen globaalia tarjontaa ja arvioida väliaikaisten siltojen tulevaisuuden tarvetta Suomessa. Kehittyneempien kalustojen hankkiminen voisi mahdollistaa pidemmän jännemitan ohella myös edulliset rakentamiskustannukset ja nopeamman käyttöönoton kohteessa.

Kiertotiejärjestelyn kokonaiskustannukset koostuvat siltakaluston vuokrasta, maansiirto- ja rakennustöistä, perustamisesta, kunnossapidosta ja materiaalien logistiikasta. Kustannukset jakautuvat osa-alueilla materiaalikustannuksiin ja itse työvaiheesta aiheutuneisiin kustannuksiin. Materiaalikustannuksiin lasketaan esimerkiksi kiertotien rakennekerroksien maanekset ja betoni. Työn kustannukset aiheutuvat lähinnä konetyöstä ja työvoimakuluista.

Kiertotien ja varasillan rakentamiseen liittyvät muun muassa seuraavat yksikkökustannukset:

- louhetäytön yhteiskustannus $xx \text{ €/m}^3$
- mursketäytön yhteiskustannus $xx \text{ €/m}^3$
- täyttöjen poistaminen kaivamalla $xx \text{ €/m}^3$ + kuljetus
- asfalttipäällystyksen yhteiskustannus noin $xx \text{ €/kg/m}^2$
- maatukien rakentaminen $xx \text{ €/bet-m}^3$
- varasillan kokoaminen ja purkaminen $xx \text{ €/kehä-m/kpl}$
- siltarakenteen osien logistiikka ja huoltaminen $xx \text{ €/silta-m/kk}$
- talvikunnossapito $xx \text{ €/kk talvikuukausilta}$.

(Destia Oy 2017.)

Kustannustiedot perustuvat tarkasteltuihin toimeksiantajan toteutumatieluihin ja tavoitearvion tietoihin. Ne ilmoitetaan ilman arvonlisäveron osuutta.

Varasillan vuokramaksut ovat merkittävä kustannuserä kiertotien kokonaiskustannuksissa. Kustannustehokkaaseen lopputulokseen pääsemisen yksi tärkeimmistä vaiheista on oikeanlaisen varasillan valinta. Suomessa

väliaikaisia siltakalustoja vuokraava Liikennevirasto on määrittänyt jokaiselle kalustotyypille hinnaston, jossa osien kuukausivuokra määräytyy kaluston painokilojen mukaan yksikössä €/kg/kk. Hinnat on ilmoitettu varasiltakaluston hoito- ja varastointiohjeen liitteessä 8.

Taulukkoon 3 on kerätty Suomessa vuokrattavilla siltakalustoilla saavutettavat jännevälit ja niiden saavuttamiseksi vaadittu rakennetyyppi. Taulukko tuo esiin Bailey-, Acrow- ja Universal-kalustojen erilaiset toteutusvaihtoehdot rakennetyypeittäin, kun tarvittava jännemitta on tiedossa riittävällä tarkkuudella. Taulukon mitoituskuorma on uuden ajoneuvoasetuksen 407/2013 mukainen 76 tonnia. Toteutusvaihtoehtojen perusteella voidaan arvioida kaluston vuokrahintaa ja varasillan rakentamiskustannuksia. Rakennetyyppien välisiä rakennuskustannuksien eroja tulee arvioida aina tapauskohtaisesti. Kantavuudet on kerätty valmistajien julkaisemista taulukoista tai interpoloitu niiden esittämistä tiedoista. Sulkumerkkien sisällä ilmoitetut rakennetyypit ovat erittäin haastavia toteuttaa, ja ne ovat harvoin tehokas tapa varasillan toteuttamiselle.

| Jännemitta (m) | 3,05 | 4,5 | 6,1 | 9 | 9,15 | 12,2 | 13,5 | 15,25 | 18 | 18,3 |
|-------------------------------------|------|-----|-----|----|------|------|------|-------|----|------|
| Jaksojen lkm | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 | 6 |
| Yksi ajokaista, HL 4,135-4,2 (m) | | | | | | | | | | |
| Bailey | DS | | DS | | DS | DS | | DS | | TS |
| Acrow | SS | | SS | | SSR | DS | | DSR | | DSR |
| Universal | | SS | | SS | | | SS | | SS | |
| Kaksi ajokaistaa, HL 7,225-7,35 (m) | | | | | | | | | | |
| Acrow | DS | | DS | | DSR | TSR | | (QSR) | | |
| Universal | | SS | | SS | | | SS | | DS | |

| Jännemitta (m) | 21,35 | 22,5 | 24,4 | 27 | 27,45 | 30,5 | 31,5 | 33,55 | 36 | 36,6 |
|-------------------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
| Jaksojen lkm | 7 | 5 | 8 | 6 | 9 | 10 | 7 | 11 | 8 | 12 |
| Yksi ajokaista, HL 4,135-4,2 (m) | | | | | | | | | | |
| Bailey | TS | | TS | | DD | (TD) | | (TD) | | (QT) |
| Acrow | TSR | | TSR | | TSR | (QSR) | | | | |
| Universal | | DS | | DS | | | DSR1 | | DSR1 | |
| Kaksi ajokaistaa, HL 7,225-7,35 (m) | | | | | | | | | | |
| Acrow | | | | | | | | | | |
| Universal | | DSR2 | | DSR2 | | | | | DSR2 | |

| Jännemitta (m) | 39,25 | 40,5 | 42,7 | 45 | 45,75 | 48,8 | 49,5 | 54 | 58,5 | 63 |
|-------------------------------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| Jaksojen lkm | 13 | 9 | 14 | 10 | 15 | 16 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Yksi ajokaista, HL 4,135-4,2 (m) | | | | | | | | | | |
| Bailey | (QT) | | (TT) | | (TT) | (TT) | | | | |
| Acrow | | | | | | | | | | |
| Universal | | DSR2 | | DSR2 | | | DSR2 | TSR3 | DDR2 | DDR2 |
| Kaksi ajokaistaa, HL 7,225-7,35 (m) | | | | | | | | | | |
| Acrow | | | | | | | | | | |
| Universal | | TSR3 | | TSR3 | | | DDR2 | | | |

Taulukko 3. Kaluston ja rakennetyypin valinta (muokattu Tielaitos n.d., Destia Oy n.d., Department of the Army 1986).

Liitteisiin 1 ja 2 on koottu eri siltakalustojen rakennetyyppien vuokrahinnat jännemitan mukaan. Hinnastojen pohjalla on käytetty varasiltojen vuokrahinnastoa. (Liikennevirasto 2015.)

Taulukon 3 sekä liitteiden 1 ja 2 tietojen perusteella voidaan saada selville väliaikaisen sillan karkea kalustovuokran määrä, kun lähtötietona käytetään ainoastaan tunnettua jänneväliä. Mallin tarkoituksena on ollut kehittää työkalu, jota voidaan hyödyntää kustannuslaskennassa eri varasilta-vaihtoehtojen menoerien hahmottamiseen.

Liitteissä 1 ja 2 ei ole huomioitu vuokra-ajasta riippuvia alennuksia, eikä kalustoihin kuuluvia yksittäisosa, joilla on kiinteä vuokrahinta. Edellisten hinnat selviävät Liikenneviraston julkaisemista hinnastoista.

LÄHTEET

Department of the Army (1986). *Bailey bridge. Field manual*. Yhdysvaltojen armeijan kenttäohjekirja Bailey-varasiltookalustolle.

Destia Oy (2017). *Tavoite- ja toteutumätiedot*. Aineisto yrityksen sisäisestä tietojärjestelmästä.

Destia Oy (n.d.). Acrow- ja Universal -varasiltojen erot ja käyttömahdollisuudet. Aineisto yrityksen sisäisestä tietojärjestelmästä.

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (2016). *Kunnossapito*. Päälllystykset ja siltojen korjaukset. Haettu 15.4.2017 osoitteesta <https://www.elykeskus.fi/web/ely/kunnossapito2#.WPlcN-1SDIU>

InfraRYL 42013. *Sillan maa- ja pohjarakenteet. Täytöt*. (2015) Rakennustieto. Haettu 15.4.2017 osoitteesta www.rakennustieto.fi/infra-ryl/extra/teknisetvaatimukset.html.stx

InfraRYL 42020. *Sillan betonirakenteet*. (2015). Rakennustieto. Haettu 15.4.2017 osoitteesta www.rakennustieto.fi/infraryl/extra/teknisetvaatimukset.html.stx

Liikennevirasto (2012). *Siltojen kaiteet*. Liikenneviraston ohjeita 25-2012.

Liikennevirasto (2012). *Tieturva 2*. Liikenneviraston oppaita 3-2012. Työkohteen liikenteen järjestelyt.

Liikennevirasto (2014). *Liikenneviraston liikennelaskentajärjestelmä*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 27-2014.

Liikennevirasto (2015). *Varasiltookaluston hoito- ja varastointiohje*. Liikenneviraston ohjeita 24/2015.

Liikennevirasto (2015). *Varasiltookaluston hoito- ja varastointiohje*. Liikenneviraston ohjeita 24/2015, Liite 8. Varasiltookaluston vuokrahinnat.

Liikennevirasto (n.d.). *Liikennetermejä ja lyhenteitä LAM-kirjasta*.

Mabey (2012). LSB Bridge Build. Universal-varasiltookaluston valmistajan videojulkaisu. Haettu 15.4.2017 osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=xlgGi-OPw08>

Ratu 12-0248. *Maankaivu. Menekit ja menetelmät*. (2003). Rakennustieto. Haettu 15.4.2017 osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/ratu/kortit/0248.html.stx>

Ratu 16-0252. *Täyttö. Menekit ja menetelmät.* (2003). Rakennustieto. Haettu 15.4.2017 osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/ratu/kortit/0252.html.stx>

Ratu 18-0254. *Alueen pintarakennetyö. Menekit ja menetelmät.* (2002). Rakennustieto. Haettu 15.4.2017 osoitteesta <https://www.rakennustieto-kauppa.fi/ratu-18-0254-alueen-pintarakennetyot.-menekit-ja-menetelmat/RTU8562/dp>

Ratu 0440. *Raivaus. Menekit ja menetelmät.* (2017). Rakennustieto. Haettu 15.4.2017 osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/ratu/kortit/0440.html.stx>

Seppänen, R., Kervinen, M., Parkkila, I., Karkela, L. & Meriläinen, P. (2005). *maol-taulukot.* Helsinki: Otava.

Tiehallinto (2004). *Sillantarkastusohje.* Suunnittelu- ja toteutusvaiheen ohjaus. Sillan päämitat.

Tielaitos (n.d.). *Universal -käyttöohje.* Suomenkielinen käännös kaluston valmistajan julkaisemasta käyttöohjekirjasta.

Torkkeli, M. & Lilja, H. (2013). *Ajoneuvoasetuksen muutos 2013.* Massat ja mitat -sidosryhmätilaisuus 8.10.2013, Turku.

Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen muuttamisesta 2013/407. Haettu 15.4.2017 osoitteesta www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130407

Bailey- ja Acrow-kalustojen vuokrahinnasto

| Bailey | | Vuokra (€/Kk) | | | | | | | | | |
|---------------|------------------|--------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Kehäajaksoiden lukumäärä | | | | | | | | | |
| Rakennetyyppi | Vuokra (€/kg/kk) | Omapaino (kg/silta-m) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| SS | 0,047 | 607 | 87,0 | 173,9 | 260,9 | 347,8 | 434,8 | 521,7 | 608,7 | 695,7 | 782,6 |
| SSR | 0,047 | 751 | 107,6 | 215,2 | 322,8 | 430,3 | 537,9 | 645,5 | 753,1 | 860,7 | 968,3 |
| DS | 0,047 | 998 | 143,0 | 285,9 | 428,9 | 571,9 | 714,8 | 857,8 | 1000,8 | 1143,8 | 1286,7 |
| DSR | 0,047 | 1283 | 183,8 | 367,6 | 551,4 | 735,2 | 919,0 | 1102,8 | 1286,6 | 1470,4 | 1654,2 |
| TS | 0,047 | 1187 | 170,0 | 340,1 | 510,1 | 680,2 | 850,2 | 1020,3 | 1190,3 | 1360,4 | 1530,4 |
| TSR | 0,047 | 1620 | 232,1 | 464,1 | 696,2 | 928,3 | 1160,4 | 1392,4 | 1624,5 | 1856,6 | 2088,7 |
| DD | 0,047 | 1387 | 198,7 | 397,4 | 596,1 | 794,8 | 993,5 | 1192,2 | 1390,9 | 1589,6 | 1788,3 |
| DDR | 0,047 | 1673 | 239,7 | 479,3 | 719,0 | 958,7 | 1198,3 | 1438,0 | 1677,7 | 1917,3 | 2157,0 |
| Acrow | | Vuokra (€/Kk) | | | | | | | | | |
| | | Kehäajaksoiden lukumäärä | | | | | | | | | |
| Rakennetyyppi | Vuokra (€/kg/kk) | Omapaino (kg/silta-m) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| SS | 0,064 | 888 | 173,2 | 346,4 | 519,7 | 692,9 | 866,1 | 1039,3 | 1212,6 | 1385,8 | 1559,0 |
| SSR | 0,064 | 1020 | 199,0 | 397,9 | 596,9 | 795,9 | 994,9 | 1193,8 | 1392,8 | 1591,8 | 1790,8 |
| DS | 0,064 | 1080 | 210,7 | 421,4 | 632,0 | 842,7 | 1053,4 | 1264,1 | 1474,7 | 1685,4 | 1896,1 |
| DSR | 0,064 | 1344 | 262,2 | 524,4 | 786,5 | 1048,7 | 1310,9 | 1573,1 | 1835,2 | 2097,4 | 2359,6 |
| TS | 0,064 | 1263 | 246,4 | 492,8 | 739,1 | 985,5 | 1231,9 | 1478,3 | 1724,6 | 1971,0 | 2217,4 |
| TSR | 0,064 | 1655 | 322,8 | 645,7 | 968,5 | 1291,4 | 1614,2 | 1937,1 | 2259,9 | 2582,8 | 2905,6 |
| DD | 0,064 | 1462 | 285,2 | 570,4 | 855,6 | 1140,8 | 1426,0 | 1711,2 | 1996,4 | 2281,6 | 2566,8 |
| DDR | 0,064 | 1728 | 337,1 | 674,2 | 1011,3 | 1348,3 | 1685,4 | 2022,5 | 2359,6 | 2696,7 | 3033,8 |

Universal-kaluston vuokrahinnasto

| Universal | | Vuokra (€/kk) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------|------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| HL 4,2 m: | | Kehäajaksien lukumäärä | | | | | | | | | | | | | | |
| Rakennetyyppi | Vuokra (€/kg/kk) | Omapaino (kg/siltam) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| SS | 0,102 | 1700 | 780,3 | 1560,6 | 2340,9 | 3121,2 | 3901,5 | 4681,8 | 5462,1 | 6242,4 | 7022,7 | 7803 | 8583,3 | 9363,6 | 10143,9 | 10924,2 |
| SSR | 0,102 | 1904 | 873,9 | 1747,9 | 2621,8 | 3495,7 | 4369,7 | 5243,6 | 6117,6 | 6991,5 | 7865,4 | 8739,36 | 9613,3 | 10487,2 | 11361,2 | 12235,1 |
| DS | 0,102 | 2026 | 929,9 | 1859,9 | 2789,8 | 3719,7 | 4649,7 | 5579,6 | 6509,5 | 7439,5 | 8369,4 | 9299,34 | 10229,3 | 11159,2 | 12089,1 | 13019,1 |
| DSR1 | 0,102 | 2222 | 1019,9 | 2039,8 | 3059,7 | 4079,6 | 5099,5 | 6119,4 | 7139,3 | 8159,2 | 9179,1 | 10199 | 11218,9 | 12238,8 | 13258,7 | 14278,6 |
| DSR2 | 0,102 | 2432 | 1116,3 | 2232,6 | 3348,9 | 4465,2 | 5581,4 | 6697,7 | 7814,0 | 8930,3 | 10046,6 | 11162,9 | 12279,2 | 13395,5 | 14511,7 | 15628 |
| TS | 0,102 | 2324 | 1066,7 | 2133,4 | 3200,1 | 4266,9 | 5333,6 | 6400,3 | 7467,0 | 8533,7 | 9600,4 | 10667,2 | 11733,9 | 12800,6 | 13867,3 | 14934 |
| TSR2 | 0,102 | 2733 | 1254,4 | 2508,9 | 3763,3 | 5017,8 | 6272,2 | 7526,7 | 8781,1 | 10035,6 | 11290,0 | 12544,5 | 13798,9 | 15053,4 | 16307,8 | 17562,3 |
| TSR3 | 0,102 | 2936 | 1347,6 | 2695,2 | 4042,9 | 5390,5 | 6738,1 | 8085,7 | 9433,4 | 10781,0 | 12128,6 | 13476,2 | 14823,9 | 16171,5 | 17519,1 | 18866,7 |
| DD | 0,102 | 2666 | 1223,7 | 2447,4 | 3671,1 | 4894,8 | 6118,5 | 7342,2 | 8565,9 | 9789,6 | 11013,2 | 12236,9 | 13460,6 | 14684,3 | 15908 | 17131,7 |
| DDR1 | 0,102 | 2870 | 1317,3 | 2634,7 | 3952,0 | 5269,3 | 6586,7 | 7904,0 | 9221,3 | 10538,6 | 11856,0 | 13173,3 | 14490,6 | 15808 | 17125,3 | 18442,6 |
| DDR2 | 0,102 | 3073 | 1410,51 | 2821,0 | 4231,5 | 5642,0 | 7052,5 | 8463,0 | 9873,5 | 11284,1 | 12694,6 | 14105,1 | 15515,6 | 16926,1 | 18336,6 | 19747,1 |
| HL 7,35 m: | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| SS | 0,102 | 1700 | 780,3 | 1560,6 | 2340,9 | 3121,2 | 3901,5 | 4681,8 | 5462,1 | 6242,4 | 7022,7 | 7803 | 8583,3 | 9363,6 | 10143,9 | 10924,2 |
| SSR | 0,102 | 1904 | 873,9 | 1747,9 | 2621,8 | 3495,7 | 4369,7 | 5243,6 | 6117,6 | 6991,5 | 7865,4 | 8739,36 | 9613,3 | 10487,2 | 11361,2 | 12235,1 |
| DS | 0,102 | 2026 | 929,9 | 1859,9 | 2789,8 | 3719,7 | 4649,7 | 5579,6 | 6509,5 | 7439,5 | 8369,4 | 9299,34 | 10229,3 | 11159,2 | 12089,1 | 13019,1 |
| DSR1 | 0,102 | 2222 | 1019,9 | 2039,8 | 3059,7 | 4079,6 | 5099,5 | 6119,4 | 7139,3 | 8159,2 | 9179,1 | 10199 | 11218,9 | 12238,8 | 13258,7 | 14278,6 |
| DSR2 | 0,102 | 2432 | 1116,3 | 2232,6 | 3348,9 | 4465,2 | 5581,4 | 6697,7 | 7814,0 | 8930,3 | 10046,6 | 11162,9 | 12279,2 | 13395,5 | 14511,7 | 15628 |
| TS | 0,102 | 2324 | 1066,7 | 2133,4 | 3200,1 | 4266,9 | 5333,6 | 6400,3 | 7467,0 | 8533,7 | 9600,4 | 10667,2 | 11733,9 | 12800,6 | 13867,3 | 14934 |
| TSR2 | 0,102 | 2733 | 1254,4 | 2508,9 | 3763,3 | 5017,8 | 6272,2 | 7526,7 | 8781,1 | 10035,6 | 11290,0 | 12544,5 | 13798,9 | 15053,4 | 16307,8 | 17562,3 |
| TSR3 | 0,102 | 2936 | 1347,6 | 2695,2 | 4042,9 | 5390,5 | 6738,1 | 8085,7 | 9433,4 | 10781,0 | 12128,6 | 13476,2 | 14823,9 | 16171,5 | 17519,1 | 18866,7 |
| DD | 0,102 | 2666 | 1223,7 | 2447,4 | 3671,1 | 4894,8 | 6118,5 | 7342,2 | 8565,9 | 9789,6 | 11013,2 | 12236,9 | 13460,6 | 14684,3 | 15908 | 17131,7 |
| DDR1 | 0,102 | 2870 | 1317,3 | 2634,7 | 3952,0 | 5269,3 | 6586,7 | 7904,0 | 9221,3 | 10538,6 | 11856,0 | 13173,3 | 14490,6 | 15808 | 17125,3 | 18442,6 |
| DDR2 | 0,102 | 3073 | 1410,51 | 2821,0 | 4231,5 | 5642,0 | 7052,5 | 8463,0 | 9873,5 | 11284,1 | 12694,6 | 14105,1 | 15515,6 | 16926,1 | 18336,6 | 19747,1 |

| Universal | | Vuokra (€/kk) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| HL 4,2 m: | | Kehäajaksien lukumäärä | | | | | | | | | | | | | | |
| Rakennetyyppi | Vuokra (€/kg/kk) | Omapaino (kg/siltam) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| SS | 0,102 | 990 | 454,4 | 908,8 | 1363,2 | 1817,6 | 2272,1 | 2726,5 | 3180,9 | 3635,3 | 4089,7 | 4544,1 | 4998,51 | 5452,92 | 5907,33 | 6361,74 |
| SSR | 0,102 | 1195 | 548,5 | 1097,0 | 1645,5 | 2194,0 | 2742,5 | 3291,0 | 3839,5 | 4388,0 | 4936,5 | 5485,05 | 6033,56 | 6582,06 | 7130,57 | 7679,07 |
| DS | 0,102 | 1317 | 604,5 | 1209,0 | 1813,5 | 2418,0 | 3022,5 | 3627,0 | 4231,5 | 4836,0 | 5440,5 | 6045,03 | 6649,53 | 7254,04 | 7858,54 | 8463,04 |
| DSR1 | 0,102 | 1520 | 697,7 | 1395,4 | 2093,0 | 2790,7 | 3488,4 | 4186,1 | 4883,8 | 5581,4 | 6279,1 | 6976,8 | 7674,48 | 8372,16 | 9069,84 | 9767,52 |
| DSR2 | 0,102 | 1723 | 790,9 | 1581,7 | 2372,6 | 3163,4 | 3954,3 | 4745,1 | 5536,0 | 6326,9 | 7117,7 | 7908,57 | 8699,43 | 9490,28 | 10281,1 | 11072 |
| TS | 0,102 | 1614 | 740,8 | 1481,7 | 2222,5 | 2963,3 | 3704,1 | 4445,0 | 5185,8 | 5926,6 | 6667,4 | 7408,26 | 8149,09 | 8889,91 | 9630,74 | 10371,6 |
| TSR2 | 0,102 | 2023 | 928,6 | 1857,1 | 2785,7 | 3714,2 | 4642,8 | 5571,3 | 6499,9 | 7428,5 | 8357,0 | 9285,57 | 10214,1 | 11142,7 | 12071,2 | 12999,8 |
| TSR3 | 0,102 | 2226 | 1021,7 | 2043,5 | 3065,2 | 4086,9 | 5108,7 | 6130,4 | 7152,1 | 8173,9 | 9195,6 | 10217,3 | 11239,1 | 12260,8 | 13282,5 | 14304,3 |
| DD | 0,102 | 1957 | 898,3 | 1796,5 | 2694,8 | 3593,1 | 4491,3 | 5389,6 | 6287,8 | 7186,1 | 8084,4 | 8982,63 | 9880,89 | 10779,2 | 11677,4 | 12575,7 |
| DDR1 | 0,102 | 2160 | 991,4 | 1982,9 | 2974,3 | 3965,8 | 4957,2 | 5948,6 | 6940,1 | 7931,5 | 8923,0 | 9914,4 | 10905,8 | 11897,3 | 12888,7 | 13880,2 |
| DDR2 | 0,102 | 2363 | 1084,6 | 2169,2 | 3253,9 | 4338,5 | 5423,1 | 6507,7 | 7592,3 | 8676,9 | 9761,6 | 10846,2 | 11930,8 | 13015,4 | 14100 | 15184,6 |