

Betonisillan rakentaminen mittaustyönjohdon näkökulmasta

Tuukka Honkaniemi

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2021

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Tuukka Honkaniemi	Vuosi	2021
Ohjaaja(t)	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	Pirkanmaan Mittauspalvelu Oy		
Työn nimi	Betonisillan rakentaminen mittaustyönjohdon näkökulmasta		
Sivu- ja liitesivumäärä	49 + 14		

Opinnäytetyö tehtiin Pirkanmaan Mittauspalvelu Oy:n toimeksiannosta. Pirkanmaan Mittauspalvelu Oy on mittausurakoitsijana Suomen suurimmilla infrahankkeilla, joihin yleensä kuuluvat osana myös taitorakenteet, kuten sillat. Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää betonisillan rakentamisen aikaiset työvaiheet mittaustyönjohdon näkökulmasta, vaaditut toleranssit rakenneosille sekä tuottaa esimerkit tilaajalle toimitettavista mittauspöytäkirjoista.

Suomessa on yli 20 000 siltaa, jotka käyttötarkoituksen ja ympäristön asettamien vaatimusten mukaan jakautuvat eri siltatyyppeihin. Suomen maaston monimuotoisuus luo haasteita väylä- ja rataverkon maaston ylityksiin, joten eri siltatyyppejä joudutaan soveltamaan paikan ja käyttötarkoituksen mukaan mahdollisimman taloudellisten ja käytännönläheisten kokonaisratkaisujen löytämiseksi.

Opinnäytetyössä käytiin läpi kaksi betonista siltatyyppiä, niiden päärakennososat sekä perustamistavat. Työssä käsiteltiin myös mittaustyönjohdon näkökulmasta teräsbetonisen ulokelaattasillan rakentamisen työvaiheita mittauksineen sekä laadunvarmistusprosessia. Opinnäytetyön tarkoitus oli antaa lukijalle yleiskuva betonisiltatyypeistä, sillan päärakennosista sekä muotti- ja telinetöistä, rakentamisen aikaisista työvaiheista niihin liittyvine mittauksineen sekä laadunvarmistusprosesseineen.

Opinnäytetyön materiaali kerättiin vuoden 2020 kesän aikana Klaukkalan kehätien tietyömaalla. Kerättyjen materiaalien, omien kokemusten, rakennusalankirjallisuuden sekä ohjejulkaisujen pohjalta koottiin selkeä kertomus betonisillan rakentamisesta mittaustyönjohdon näkökulmasta.

Avainsanat

Laatuvaatimukset, mittaus, sillat, sillanrakennus, betonisillat

Degree Programme in Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Tuukka Honkaniemi	Year	2021
Supervisor	Timo Karppinen		
Commissioned by	Pirkanmaan mittauspalvelu Oy		
Subject of thesis	Construction of concrete bridge from surveyors perspective		
Number of pages	49 + 14		

This Bachelor's thesis was commissioned by Pirkanmaan Mittauspalvelu Oy. Pirkanmaan Mittauspalvelu operates as a surveyor contractor on the largest infrastructure projects in Finland. The purpose of this thesis was to clarify all stages of building a concrete bridge from the surveyor's perspective, the required tolerances for structural elements and to generate examples of measurement registers.

Material for this thesis was gathered during the summer of 2020 at the Klaukkala's by-pass-road site. Based on the researched material, author's own experiences, literature of construction and construction surveying and instructions, a report of building a concrete bridge from surveyor's perspective was drawn up.

There are almost 20 000 bridges in Finland which are divided into different bridge types by the purpose of use and environmental requirements. The diversity of Finnish nature creates challenges for roads and the railway terrain crossing which means that several different types of bridges are used in order to find as economical and practical solutions as possible. This thesis gives the reader an overall picture of different concrete bridges, the different phases of construction, related measurings and quality assurance processes.

Key words

Quality assurances, surveying, bridges, bridge constructions, concrete bridges

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SILTA – YLI ESTEIDEN	8
2.1	Betoniset siltatyypit.....	9
2.1.1	Kehäsillat.....	10
2.1.2	Laattasillat.....	10
2.2	Sillan pää rakenneosat.....	11
2.3	Perustamistavat.....	13
3	BETONISILLAN MUOTTI JA TELINEET	14
3.1	Yleistä.....	14
3.2	Tukitelineiden perustukset ja osat	14
3.3	Pilarimuotit.....	16
4	SILTAMITTAUKSIIN LIITTYVÄ OHJEISTUS.....	17
4.1	Yleistä.....	17
4.2	Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje (18/2017)	17
4.2.1	Yleistä	17
4.2.2	Mittausperusta.....	18
4.3	InfraRYL 2006 Osa 3, Sillat ja rakennustekniset osat ja Infra 2015 rakennusosa- ja hankenimikkeistö: määrämittausohje	19
4.3.1	Yleistä	19
4.3.2	Työnaikaiset mittaukset.....	20
4.3.3	Muodonmuutos- ja siirtymämittaukset.....	20
5	SILLAN RAKENNEOSIEN SIJAINNIN LAATUVAATIMUKSET	21
5.1	Yleistä.....	21
5.2	Lyönti- ja porapaalujen sallitut sijaintipoikkeamat	21
5.3	Sillan peruslaatan sijainti pysty- ja vaakatasossa	23
5.4	Sillan pääty- ja välitukien sijainti pysty- ja vaakatasossa sekä laakerien asennustarkkuus	24
5.5	Rakenneosien kaltevuudet	25
5.6	Sillan vapaa-aukko ja jännemitta	25
5.7	Sillan päällysrakenteen sijainti pysty- ja vaakatasossa.....	26
5.8	Sillan ja reunapalkin muoto pysty- ja vaakatasossa	26

5.9	Sillan ajoradan leveys, hyödyllinen leveys sekä korotetun kevyenliikenteen väylän leveys	28
5.10	Sillan kulkuaukon vapaa korkeus	28
5.11	Sillan kulkukorkeus	28
6	KLAUKKALAN KEHÄTIE	29
7	SILLAN RAKENTAMISEN AIKAiset MITTAUKSET – SILTA 104.....	30
7.1	Yleistä.....	30
7.2	Käytetyt menetelmät ja ohjelmat	31
7.2.1	Takymetri	31
7.2.2	Ohjelmisto	31
7.3	Mittausperusta sillan rakentamiselle.....	32
7.4	Alusrakenteiden paikalleenmittaukset sekä toteutumamittaukset.....	34
7.5	Päällysrakenteen ja varusteiden paikalleenmittaukset, tarkastusmittaukset sekä toteutumamittaukset.....	38
8	POHDINTA	46
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	49

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
ETRS-GK	Tasokoordinaatisto
Hyödyllinen leveys	Sillan kaiteiden välinen pienin etäisyys
Jännemitta	Sillan keskilinjaa pitkin mitattu kahden peräkkäisen tukilinjan välinen etäisyys
Kontaktitappi	Sillan raudoitukseen kiinnitettävä osa, jonka avulla voidaan arvioida sillan raudoituksen kuntoa
Koolinki	Naulauspuu, johon muottilaudoitus voidaan kiinnittää
L	Pituus
N2000	Korkeusjärjestelmä
Niska	Sillan puutelineen yläosassa vaakatasossa oleva puu, jonka varaan muotti rakennetaan
HW	Ylivesi eli ylin havaittu vedenkorkeus
MW	Keskivesi eli veden korkeus keskimäärin
Pelkka	Sillan telineen pohjapuuna käytettävä massiivinen puutavara
Pintavesiputki	Sillan päällysrakenteen osa, joka johtaa hulevedet pois sillan kannelta
Pulttiryhmä	Sillan reunapalkkiin asennettava neljän pultin ryhmä
Tarkkailutappi	Sillan reunapalkista kartoitettu mittapiste, jonka avulla tarkkaillaan sillan muotoa
Toteutusluokat	Betonirakenteiden toteuttamiselle asetetut vaatimukset niiden vaativuuden mukaan
Tippuputki	Johtaa sillan päällystekerrosten läpi päätyneen veden pois

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana on Pirkanmaan Mittauspalvelu Oy, joka on perustettu vuonna 2008. Se oli vuonna 2020 Suomen toiseksi suurin mittauspalveluita tarjoava yritys. Pirkanmaan Mittauspalvelu Oy:n mittauspalveluihin kuuluvat maanrakennusmittaukset, rakennusmittaukset, määrälaskennat sekä maanrakennusalan työjohto- ja urakkalaskentapalvelut.

Siltojen merkitys Suomen väyläverkoston sujuvuuteen on merkittävä. Siltoja käytetään väyläverkostolla liikenteen välittämiseen erilaisten esteiden, kuten vesistöjen, yli tai parantamaan liikenneturvallisuutta ohjaamalla liikenne yli tai ali toisen väylän. Suomessa on käytössä toistakymmentä erilaista siltatyyppeä, jotka soveltuvat erilaisiin vaatimuksiin ja tarpeisiin.

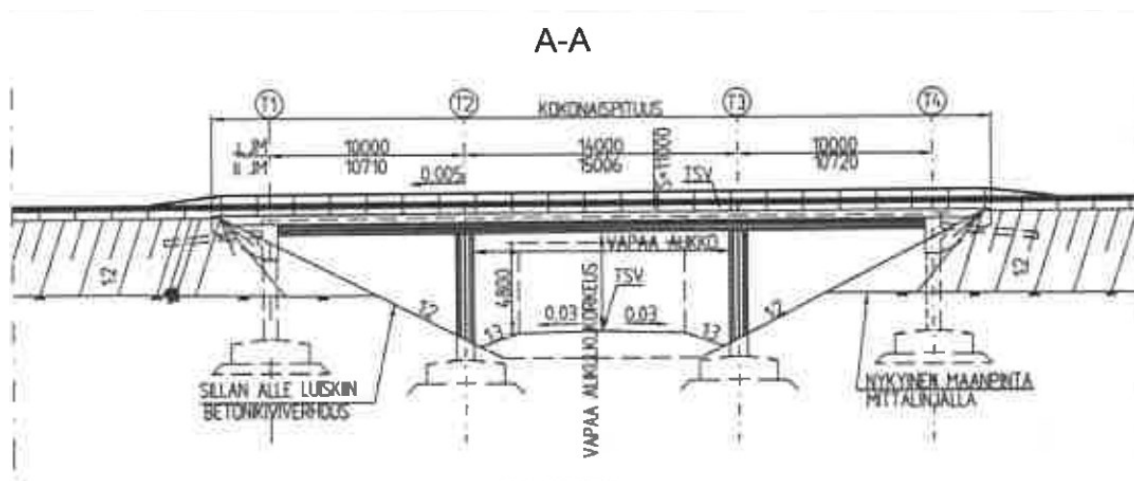
Pirkanmaan Mittauspalvelu Oy toimii Suomen suurimmilla infratyömailla, joihin kuuluvat yleisesti osana myös taitorakenteet, kuten sillat. Idea opinnäytetyön aiheeseen tuli havainnosta, että teräsbetonisen sillan rakentamisesta mittaukstyönjohtajan näkökulmasta on erittäin vähän tietoa saatavilla.

Sillan rakentamisessa mittausurakoitsijan on laadittava jokaisesta rakenneosasta mittauspöytäkirja tilaajalle ja suunnittelijoille mahdollisia arvonvähennyksiä tai rakennelaskelmien tarkastamista varten. Mittauspöytäkirjasta tulee ilmetä rakenneosan toteutuneet sijaintitiedot ja toleranssit.

Opinnäytetyön teoriaosassa käydään läpi kaksi betonista siltatyyppeä Suomessa, siltojen päärakenneosat, perustamistavat sekä muotti- ja telinetyöt ja toleranssit niille sekä ohjeistus, joka ohjaa rakentamisen aikaisia mittauksia. Opinnäytetyön toteutusosassa, joka käsittelee Klaukkalan ohikulkutielle rakennettua siltaa, teoriaosuutta hyödynnetään käytännössä.

2 SILTA – YLI ESTEIDEN

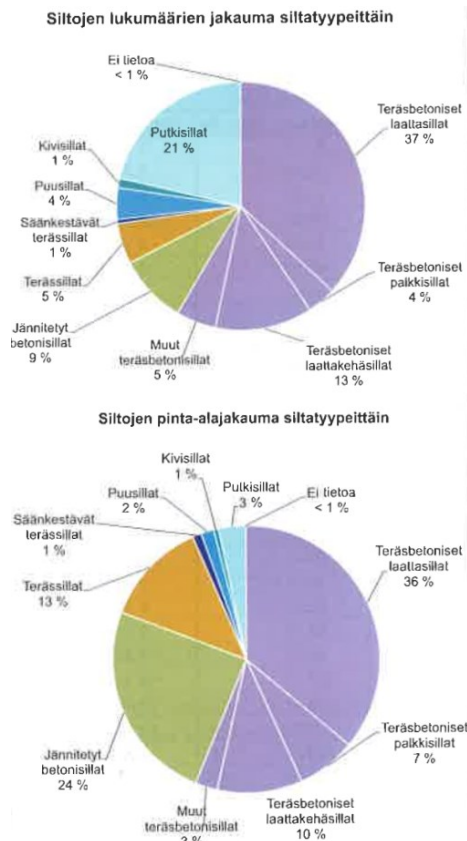
Silta on rakenne, joka on vapaa-aukoltaan vähintään 2,0 metriä ja johtaa ajoneuvo-, juna-, henkilö- tai muun liikenteen esteen yli (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 39). Alle 2,0 metriä vapaa-aukoltaan olevia siltamaisia tai putkimaisia rakenteita kutsutaan rummuiksi (Väylä 2019a, 11). Kuviossa 1 on esitetty sillan määritelmän kannalta eri mittoja.



Kuvio 1. Sillan mittoja. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 41.)

Vapaa-aukolla tarkoitetaan sillan keskilinjan suuntaisten, kahden peräkkäisen tuen pienintä vaaka- ja pystysuoraa etäisyyttä (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 40).

Suomessa oli vuoden 2017 alussa yhteensä 20 677 siltaa, joista väyläviraston omistuksessa oli 15 160 tiesiltaa ja 2 417 rautatiesiltaa. Loput 3 100 siltaa olivat kuntien omistuksessa. Eniten siltoja Suomessa on pääkaupunkiseudun tiheästi asutetulla alueella sekä Pohjois-Savossa ja Pohjois-Pohjanmaalla, missä maasto hallitsevat vesistöt. Tyypillisin silta Suomessa on teräsbetoninen laattasilta, joiden osuus Suomen silloista on 37 prosenttia. Kolmanneksi yleisin on teräsbetoninen laattakehäsilta. Teräsbetoniset sillat ovat Suomessa lukumääräisesti eri siltatyypeistä ylivoimaisesti suosituin 68 prosentin osuudella. Pinta-aloja tarkastellessa on teräsbetonisiltojen osuus 80 prosenttia (Kuvio 2). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 22, 24–25.)



Kuvio 2. Siltojen jakauma (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 24.)

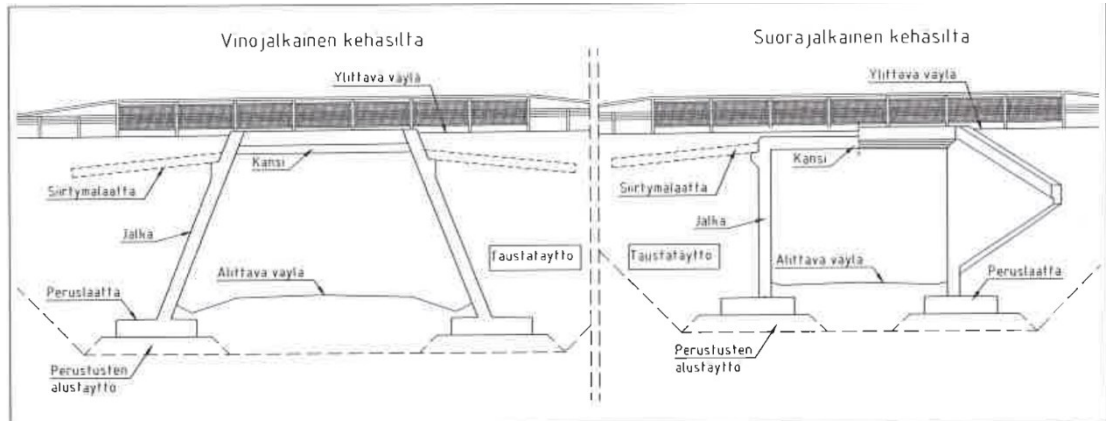
2.1 Betoniset siltatyypit

Siltatyypillä kuvataan sillan pääkannattimen staattista toimintatapaa eli kantavaa rakennetta. Kantavana rakenteena voi olla teräsbetoni, jännitetty teräsbetoni, teräs, kivi tai puu. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 46.)

Siltoja rakennetaan yleensä osana väyläprojekteja, ja sillan osuus projektin kokonaiskustannuksista on monesti merkittävä. Siltatyypin valinnalla pyritään vaikuttamaan väylän ja sillan kokonaiskustannusten optimointiin. Optimointi tehdään vertailemalla eri siltatyypien vaikutusta rakennuskustannuksiin. Vertailussa otetaan myös huomioon sillan ylläpitokustannukset, ulkonäkö ja turvallisuus. Valintakriteereinä voivat olla sillan kaupunkikuvallinen merkitys tai ympäristöön sopeutuminen. Sillan rakennuskustannuksiin vaikuttavat myös perustamisolosuhteet, sillan vaatima poikkeuksellinen geometria sekä rakennustyön aikaiset liikennejärjestelyt. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 46, 65.) Seuraavissa alaluissa esitellään Suomen kaksi yleisintä teräsbetonisiltatyyppiä.

2.1.1 Kehäsillat

Teräsbetoninen, paikalla valettu laattakehäsilta on yleisin kevyen liikenteen alikulkukäytävänä käytetty silta. Kehäsilta on jäykkä kannen ja sivuseinien muodostama kehä. Kehäsillasta on käytössä suorajalkainen (Blk I) ja vinojalkainen silta-tyyppi (Blk II) (Kuvio 3).

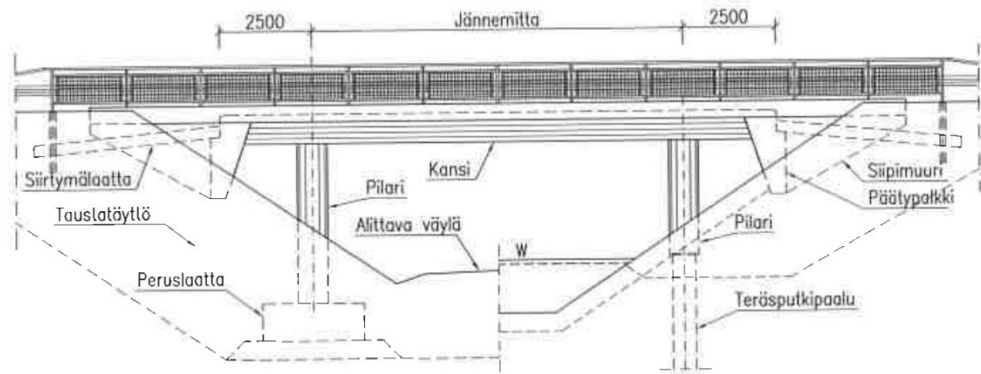


Kuvio 3. Kehäsillan tyypit. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 194.)

Kehäsilta on huoltovapaa, koska siinä ei ole liikuntasaumalaitteita eikä laakereita. Kehäsillan kansilaatan päälle voidaan levittää murskekerros, joka mahdollistaa tien asfalttikerrosten tekemisen yhtenäisenä sillan kohdalla. Tämä ei ole mahdollista muilla betonikansisilla silloilla. Siltatyyppin yleisin vapaa-aukkovaatimus on 6,0 metriä. Laattakehäsilloille laaditut tyyppisuunnitelmat kattavat kuitenkin suorajalkaisella tyyppillä 6,0–8,0 metrin ja vinojalkaisella tyyppillä 4,5–6,0 metrin vapaa-aukot. Kehäsilta voidaan perustaa maanvaraisena, murskearinalle, kalliolle tai paalutetulle perustukselle. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 48–49.)

2.1.2 Laattasiljat

Teräsbetonisia laattasiltoja on Suomen tiesilloista yli kolmannes. Laattasilta on tyyppinen ratkaisu alikulkukäytävänä tai risteyssiltana (Kuvio 4).

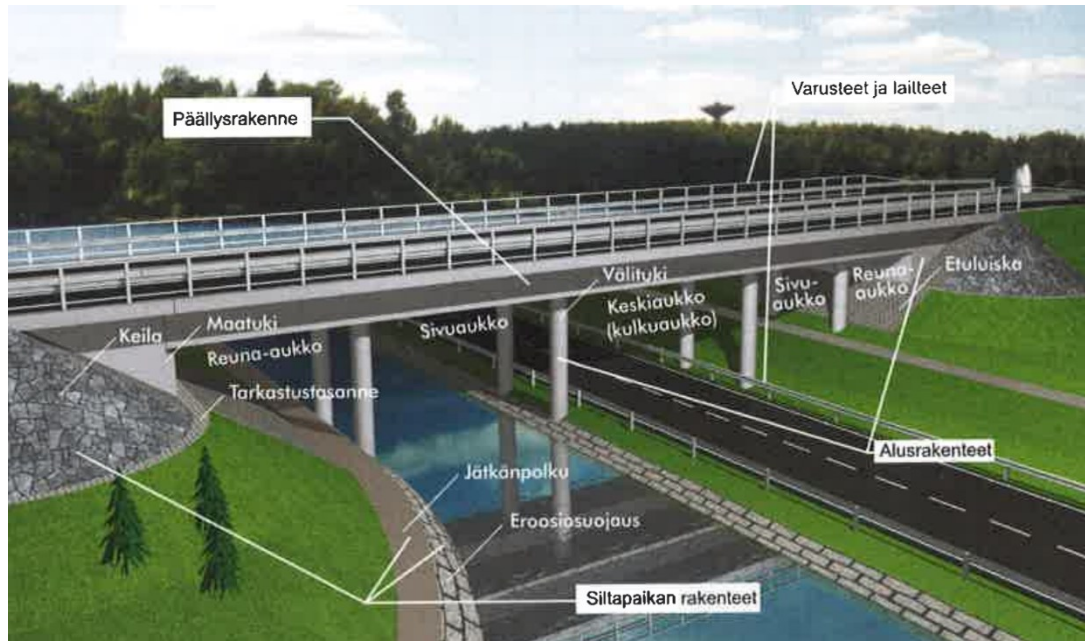


Kuvio 4. Teräsbetoninen ulokelaattasilta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 200.)

Laattasilan suosio perustuu sen yksinkertaiseen rakennekokonaisuuteen ja helppoon rakentamiseen. Laattasilta on edullinen ylläpitää ja rakentaa, koska siinä ei käytetä laakereita eikä liikuntasaumalaitteita. Laattasilan tyypillinen rakenne on teräsbetonilaatta, joka on yhdistetty jäykästi pilareihin, joiden halkaisijan mitta vaihtelee 700–1 100 millimetriä ja poikkisuuntainen etäisyys 4,0–6,0 metriä. Laattasilan optimaalinen jänneväli on 8–20 metriä, ja sillat voivat olla joko yksi- tai moniaukkoisia riippuen aukkovaatimuksista. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 49.)

2.2 Sillan pääraakenneosat

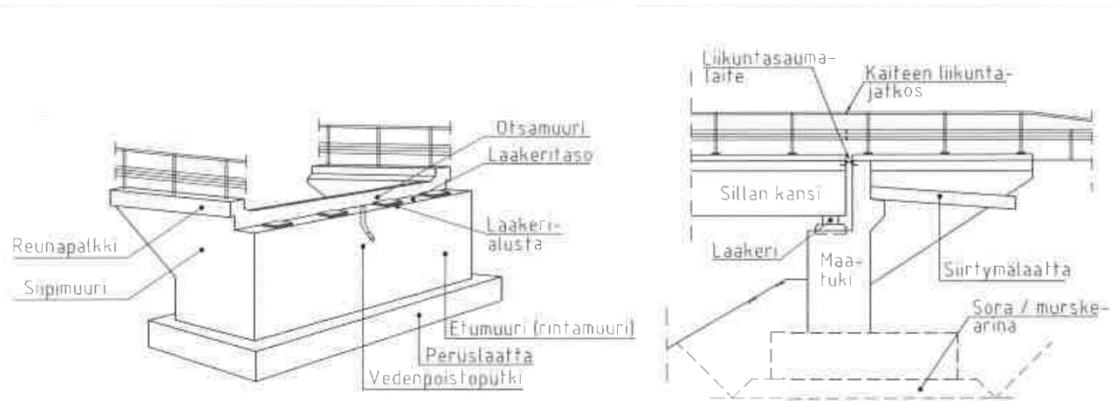
Silta jaotellaan rakenneosiin niiden toiminnan perusteella. Sillan rakenneosiin kuuluvat päällysrakenne, alusrakenne, varusteet ja laitteet sekä siltapaikan rakenteet (Kuvio 5). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 44.)



Kuvio 5. Sillan rakenneosia. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2018, 45.)

Päällysrakenne muodostuu pääkannattimesta ja pintarakenteista, jotka mahdollistavat liikenteen kulun yli esteen. Päällysrakenne siirtää rakenteen omapainon sekä liikenteestä aiheutuvat kuormat alusrakenteelle. Tiesilloilla pintarakenteet muodostuvat vedeneristyksestä sekä päällysteestä ja ratasilloilla kiskot, ratapölyt sekä tukikerros muodostavat pintarakenteen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 44.)

Sillan alusrakenteen tehtävä on siirtää päällysrakenteelta tuleva kuormitus kantaviin maakerrokseen tai kallioon. Sillan alusrakenteeseen kuuluvat seuraavat rakenneosat: paalut, tukiseinät, muurit sekä sillan siirtymälaatat ja päätytukien tukimuurit (Kuvio 6). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 44–45.)



Kuvio 6. Maatuki ja varusteet. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 185)

Sillan varusteet ja laitteet takaavat sillan turvallisuuden, toiminnan sekä tavoitellun käyttöiän. Sillan turvallinen käyttö taataan käyttäjille kaiteiden ja valaisimien avulla. Liikuntasaumalaitteet sekä laakerit mahdollistavat liikenteestä syntyvien voimien vastaanottamisen siten, ettei rakenteisiin synny ei-toivottuja pakkovoimia. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 45, 275.)

Siltapaikan rakenteet sijaitsevat pääosin sillan ulkopuolella mutta ovat välttämättömiä siltapaikan turvallisuuden, pitkäaikaiskestävyyden sekä kuivatuksen takia. Siltapaikan rakenteisiin kuuluvat portaat, luiskat, sadevesikourut sekä pengerkaiheet. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 45.)

2.3 Perustamistavat

Silta voidaan perustaa maan- sekä kallionvaraisesti laatta- tai anturaperustuksille sekä paalujen varaan. Perustettaessa silta kallion tai maan varaan tulee pohjamaan olla riittävän tiivistä sora-, hiekka- tai moreenimaata. Jos pohjamaa ei ole tarpeeksi kantavaa, voidaan sen ominaisuuksia muokata pudotustiivistyksellä tai syvästabiloinnilla. Pohjamaa voidaan myös kokonaan korvata massanvaihdon yhteydessä routimattomalla ja paremmin kantavalla maa-aineksella. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 175–176.)

Paaluperustuksessa yläpuoliset kuormat siirretään huonosti kantavien maakerrosten ohitse riittävän kantavalle maakerrokselle tai kalliolle. Paalut voivat olla materiaaliltaan joko terästä tai teräsbetonia. Paalut asennetaan maahan lyömällä

tai poraamalla. Lyöntipaalut ovat maata syrjäyttäviä ja porapaalut maata syrjäyttämättömiä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 176.)

3 BETONISILLAN MUOTTI JA TELINEET

3.1 Yleistä

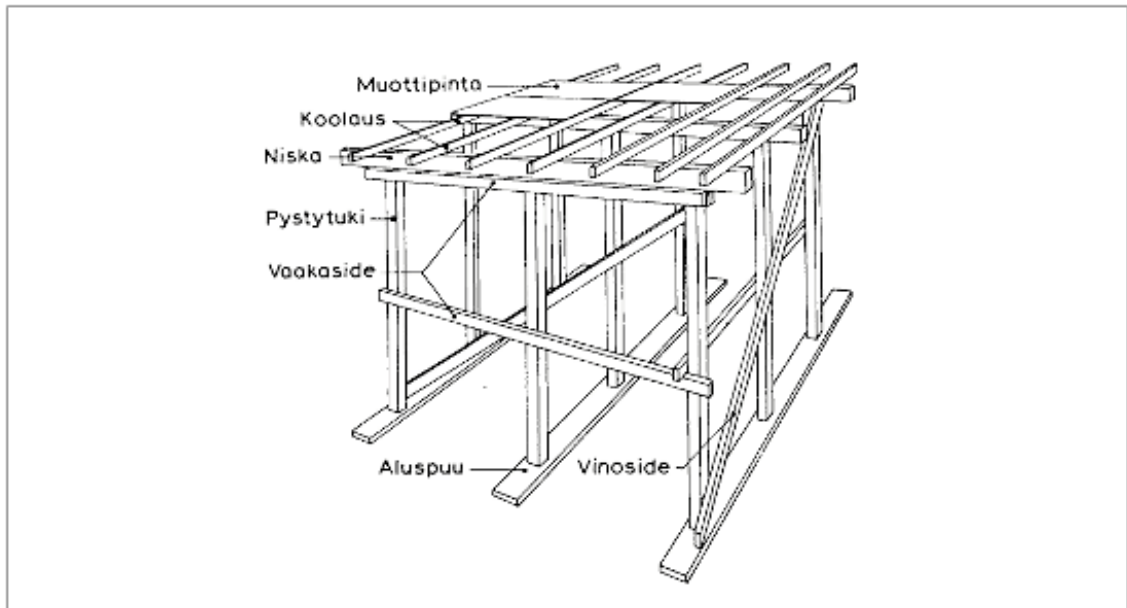
Tukitelineiden ja muottien tarkoitus on tukea työnaikaisesti valmista tai rakenteilla olevaa rakennetta tai rakenneosaa. Tukiteline määritellään väliaikaiseksi rakenteeksi, jonka tehtävä on tukea rakennusvaiheessa olevaa tai jo valmista rakennetta. Muotin tehtävä on tukea betonimassaa haluttuun muotoon betonin lujittumisen ajan, jotta halutulle rakenteelle saavutetaan suunniteltu sijainti ja muoto. Muotit jaetaan käyttötapaansa mukaan pysty- ja vaakamuotteihin. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2019, 3, 9, 69.)

Tukitelineiden mitoituksessa ja suunnittelussa otetaan huomioon telineiden sekä telinepohjien mahdolliset muodonmuutokset sekä se, että ne pystyvät rakennusvaiheittain sekä valmiina siirtämään niihin kohdistuvat kuormat alustalle, jonka päälle ne ovat pystytetty. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2019, 11.) Tukiteline ja -muottisuunnitelmat ovat mittaustyönjohtajan työn kannalta erittäin tärkeitä. Suunnitelmista saadaan selville telineen laskennallinen painuma sekä koo-lauksen ja niskojen mitoitus.

3.2 Tukitelineiden perustukset ja osat

Rakenteilla olevan sillan alla oleva pinta vaikuttaa tukitelineiden perustamistaan ja materiaalivalintoihin. Teline voidaan joutua tukemaan maan, veden tai kallion varaan. Eri perustamistapojen kokonaispainumat, painumaerot ja sivusiirtymät otetaan huomioon tukitelineen mitoituksessa ja materiaalivalinnoissa. Jos sillan alla on hyvin kantavaa maata, voidaan tukitelineet perustaa hiekka-, sorat tai murskearinan varaan eli tehdä niin sanottu pelkkapeti. Kallion päälle perustetta tukiteline vaatii yleensä louhetäytön ja tasauksen murskeella. Veden tai huonosti kantavan maan päälle tukitelineet perustetaan teräsputki-, teräsbetoni- tai puupaalujen varaan. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2019, 37–39, 41, 46–

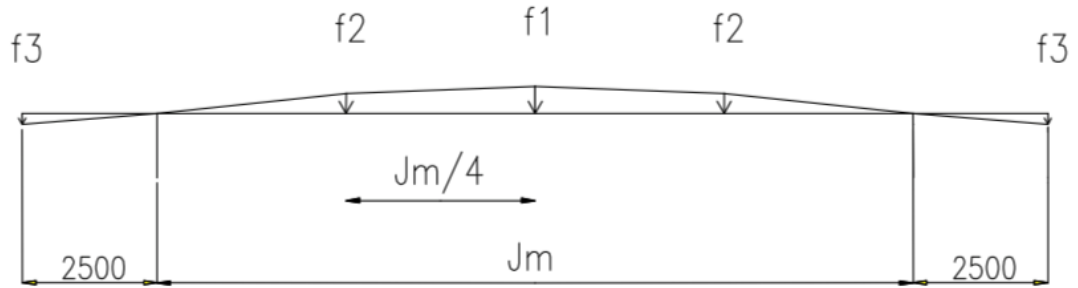
48.) Tukitelineen pääosat ovat telineanturat (pelkka, aluspuu), pystytuet, koolaus, niskat, vino- ja vaakasiteet (Kuvio 7).



Kuvio 7. Tukitelineen pääosat. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2019, 51.)

Telineet pyritään suunnittelemaan siten, ettei niiden sillan kannen valun aikana tapahtuva liitosten painuma ylitä 20 millimetriä. Yleensä siltojen tukitelineiden liitosten painuman ennakkokohotuksen suuruus on noin 10 millimetriä. Ennakkokohotus merkitään teline- ja muottisuunnitelmiin vain, jos sen laskennallinen suuruus on noin 5 millimetriä tai suurempi. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2018, 323.)

Telinepainumien lisäksi on sillan suunnitelmissa mahdollisesti otettava huomioon sillan vaatimat ennakkokohotukset tai pysyvä kohotus, halutun pysyvän sillan taipuman saavuttamiseksi tai rakenteiden pysyvien kuormien taipuman kumoamiseksi (Kuvio 8).

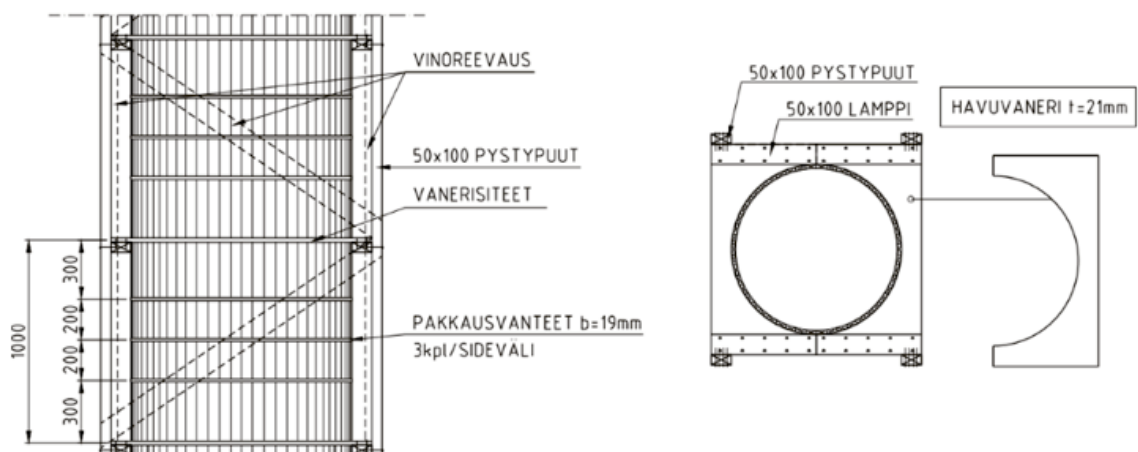


Kuvio 8. Sillan ennakkokohotus. (Väylä 2004, 14.)

Ennakkokohotuksen tarkoitus on kumota päällysrakenteen valmistusvaiheessa rakenteen pysyvien kuormien aiheuttama taipuma. Pysyvällä kohotuksella tarkoitus on parantaa optista vaikutelmaa, ettei vaakasuora silta näyttäisi roikkuvalta. (Väylä 2019b, 11.)

3.3 Pilarimuotit

Pilarimuotit luetaan pystymuoteiksi, ja ne suunnitellaan samojen periaatteiden mukaan kuin seinämuotit. Pilarimuotissa muottisiteet ja koolaus on yhdistetty pilarisoljeksi ja pilarin solkiväli määräytyy valupaineen perusteella. Pilarisolki tehdään pilarin poikkileikkauksen mukaan, ja ne liitetään toisiinsa siten, että niissä ei tapahdu haitallisia siirtymiä (Kuvio 9). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2019, 75.)



Kuvio 9. Pilarimuotin osat. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2019, 76.)

Pilarimuotit tuetaan kahdella toisiaan vastaan kohtisuorilla vinotuilla kokonaisstaabiilisuuden saavuttamiseksi. Vinotukien tehtävä on vastaanottaa ulkoiset voimat, kuten tuulivoimat, ja varmistaa muotin tukeminen kaikissa rakennusvaiheissa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2019, 72, 76.)

4 SILTAMITTAUKSIIN LIITTYVÄ OHJEISTUS

4.1 Yleistä

Väylävirasto ylläpitää ohjeistuksia, joiden avulla määritellään vaatimukset suunnitelmien sisällölle, suunnittelun lähtötiedoille sekä rakentamisen laadun todentamiselle. Sillan rakennuksessa mukana olevalla mittaustyönjohtajalla tulee olla ymmärrys toimintaa ohjaavista ohjeista ja vaatimuksista. Tie- ja ratahankkeiden mittausperustaa käytetään myös rakennusvaiheen mittauksissa.

Sillan rakentamisessa käytetään myös Rakennustieto Oy:n julkaisemia ohjeistuksia, joiden ylläpito ei ole Väyläviraston vastuulla. Rakennustieto Oy:n InfraRYL-julkaisuissa *Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat ja Infra 2015: Rakennusosa- ja hankenimikkeisto : määrämittausohje* sekä Suomen rakennusinsinöörien Liitto Ry:n julkaisussa *Paalutusohje 2016 osa 1 ja 2* ohjataan rakentamista ja esitellään rakentamisen tekniset laatuvaatimukset sekä rakenteiden sallitut poikkeamat.

4.2 Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje (18/2017)

4.2.1 Yleistä

Väyläviraston ja ELY-keskusten liikenne ja infrastruktuuri -vastualueen maastomittausten tekemisessä noudatetaan Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohjetta. Mittausohjeessa kuvataan tie- ja ratahankkeiden suunnittelussa maastomittaukset, mittausten suorittamisen yksityiskohtaiset ja yleiset ohjeet, laaduntarkastusmenettelyt, laatuvaatimukset sekä dokumentointi. (Väylä 2017, 3.)

4.2.2 Mittausperusta

Mittausperusta koostuu hankkeen alueelle rakennetuista pysyvistä kiintopisteistä sekä niille geodeettisin mittauksin tuotetuista korkeuksista ja tasokoordinaateista. Mittausperustan avulla kaikki hankkeen maastossa suoritettavat mittaukset sidotaan käytettävään tasokoordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään. (Väylä 2017, 8.) Koordinaattijärjestelmänä tie- ja ratahankkeilla käytetään yleiseurooppalaisen ETRS89-järjestelmän suomalaista realisaatiota EUREF-FIN. Projektiona tasokoordinaatistossa käytetään ETRS-GKnn-projektiota, jossa nn on projektion keskimeridiaani. Pituuspiirejä 19–31 käytetään keskimeridiaanina. Hankkeelle valitaan keskimeridiaaniksi lähin tasaluku tai hankkeen kannalta muuten käytännöllisin keskimeridiaani. Korkeusjärjestelmänä käytetään N2000-järjestelmää. (Väylä 2017, 10.)

Mittausperustan lähtöpisteinä käytetään valtakunnallisia E1–E3-luokan kolmiopistietä, joille on mitattu EUREF-FIN-koordinaatit. Koko ajan mittausdataa keräiviä, paikallaan olevia tukiasemia, joilla on valtakunnallinen E1–E2-luokitus, voidaan käyttää myös lähtöpisteinä. Lähtöpisteiden luokitus Maanmittauslaitoksen kiintopisterekeristerissä tulisi olla erinomainen tai hyvä GNSS-sopivuuden osalta. Ellei tällaisia ole sopivasti tarjolla, voidaan käyttää luokan tyydyttävä pistettä. (Väylä 2017, 10.)

Korkeusmittauksien lähtöpisteinä käytetään 1–3 luokan valtakunnallisia korkeuskiintopisteitä. Poikkeustapauksissa voidaan tilaajan suostumuksella käyttää kuntien korkeuskiintopisteitä, ellei mittausalueen läheisyydessä ole valtakunnallisia korkeuskiintopisteitä. (Väylä 2017, 11.)

Mitattavien käyttö- ja peruspisteiden täytyy olla yhdistettyjä taso- ja korkeuskiintopisteitä, ja ne tulee rakentaa Julkisen hallinnon suosituksen 184 (JHS 184, Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä) mukaan. Mittausperusta muodostuu kaksitasoiseksi, jonka ylempi luokka muodostuu 1–1,5 kilometrin välein mitattavista peruspisteistä ja alempi luokka 100–400 metrin välein sijaitsevista käyttöpisteistä. Käyttöpisteiden tulee sijaita ohjeen mukaisesti mahdollisimman keskellä mitattavaa aluetta. Apupisteitä ei rakenneta pysyvästi maastoon, vaan

ne toimivat mittausperustan mittaustyön aikaisia pisteitä. Tukipisteet ovat ilmake-
vausta varten näkyvöitettäviä pisteitä. (Väylä 2017, 11.) Kuviossa 10 on esitetty
vuonna 2017 julkaistun mittausohjeen vaatimukset.

Peruspisteet (vähintään E4)	<ul style="list-style-type: none"> • Pisteväli 1 000–1 500 metriä • Tasotarkkuus 10 ppm • Korkeustarkkuus 10 ppm • Joka viides piste tehdään pistepareiksi
Käyttöpisteet (E5)	<ul style="list-style-type: none"> • Pisteväli 100–400 metriä • Tasotarkkuus 20 ppm • Korkeustarkkuus 10 ppm • Sijaitsevat peruspisteiden välissä • Keskinäinen näkyvyys • Sijainti mahdollisimman keskellä aluetta
Apu- ja tukipisteet (E6)	<ul style="list-style-type: none"> • Apupisteitä ei rakenneta pysyvästi maastoon • Tukipisteet näkyvöitetään • Tasotarkkuus 50 ppm • Korkeustarkkuus 50 ppm

Kuvio 10. Mittausperustan pisteluokat ja rakenne. (Väylä 2017, 11.)

Tuottamisvastuu mittausperustasta on tilaajalla, joka voi sisällyttää sen osaksi
suunnittelutoimeksiantoa, joissakin urakkamuodoissa osaksi urakkaa tai teetät-
tää se erillisenä toimeksiantona. (buildingSMART Finland 2019, 37.)

4.3 InfraRYL 2006 Osa 3, Sillat ja rakennustekniset osat ja Infra 2015 rakennusosa- ja hankenimikkeistö: määrämittaushje

4.3.1 Yleistä

Siltamittauksista vastaavana mittaustyönjohtajana tulee toimia mittausteknikko,
rakennusmestari tai samankaltaisen pätevyyden omaava työsuorittaja, jolla on
kokemusta mittaustöistä. (Rakennustieto Oy 2015, 19.)

Mittauksien toteuttamista varten urakoitsija laatii mittaussuunnitelman, josta tulee
ilmetä

- mittausten vastuhenkilö
- mittauskalusto ja kalibrointitodistukset
- mittauksen lähtöpisteet ja rakennettavat lähtöpisteet
- mittaustulosten tarkkuuden kontrolloinnin periaatteet

- mitattavat kohteet
- mittaustulosten dokumentointi.

(Rakennustieto Oy 2015, 19.)

4.3.2 Työnaikaiset mittaukset

Paikalleenmittauksista rakenteiden ja rakenneosien osalta tulee laatia erilliset mittaussuunnitelmat. Paikalleenmittaussyunnitelma täytyy toimittaa tilaajalle urakan aloituskokouksessa. Rakenneosien paikalleenmittaussyunnitelmat täytyy toimittaa tilaajalle viimeistään kaksi päivää ennen mittaustöiden aloittamista. Rakenteiden ja rakenneosien mittaussyunnitelmat voidaan yhdistää yhdeksi mittaussyunnitelmaksi. Siitä tulee ilmetä, millä mittausmenetelmillä ja -välineillä suunnitelma-asiakirjoissa asetetut tarkkuusvaatimukset saavutetaan. Ellei suunnitelma-asiakirjoissa ole muuten eritelty erikseen noudatettavia tarkkuusvaatimuksia rakenteille, tulee noudattaa InfraRYL:n luvun 42001 tarkkuusvaatimuksia valmiille siltarakenteelle. Mittauspoikkeama saa olla kuitenkin enintään kolmasosa sallitusta rakenneosan tai rakenteen poikkeamasta. Mittaustyönjohdon tulee laskelmin todistaa vaadittavan tarkkuuden saavuttaminen. (Rakennustieto Oy 2013, 21.)

Sillan rakentamisen aikana tehdään tarkistusmittauksia valettavien rakenneosien muoteista. Näin varmistetaan rakenteiden oikea mitta- ja muototarkkuus sekä sijainti. Jos poikkeamia havaitaan, tulee tarkistusmittaus suorittaa myös mahdollisen korjauksen jälkeen. (Rakennustieto Oy 2015, 21.)

4.3.3 Muodonmuutos- ja siirtymämittaukset

Siltaan tulee asentaa sillan ja sen osien muodon, sijainnin ja mahdollisten taipumien ja siirtymien tarkkailua varten pyöreäpäisiä teräksestä tehtyjä tarkkailutappeja. Tarkkailutappeja tulee asentaa sillalle

- siipimuurien päihin maatuilla uloimpiin nurkkapisteisiin reunapalkin yläpintaan (2 kpl/maatuki)
- välitukien (pilarit/paalut) yläosaan sillan molemmille reunoille

- ulokkeiden päihin reunapalkin yläpinnan ulkoreunaan
- maatumien sekä välitukien todellisten tukilinjojen kohdalle ja silta-aukon keskelle siltakannen molemmin puolin reunapalkin yläpinnan ulkoreunaan.

(Rakennustieto Oy 2015, 20–21)

Tarkkailutappi tulee asentaa ylemmän ulkonurkan viisteeseen siten, että tapin pää on reunapalkin ylä- ja sivupinnan leikkauskohdassa. Tarkkailutapin päähän tulee tehdä myös risti, jonka avulla tapin asema vaaka- ja pystytasossa voidaan mitata. Upotussyvyys tarkkailutapilla tulee olla betoniin vähintään 150 millimetriä. Tarkkailutapit eivät saa olla kosketuksessa raudoitukseen. Alusrakenteiden osalta tarkkailutapit asennetaan ja sijainti mitataan heti rakenneosan valmistuttua ja uudelleen koko sillan ollessa valmis. Päällysrakenteen tarkkailutapit asennetaan ja sijainti mitataan koko sillan valmistuttua. Mittausurakoitsija uusii mittauksen takuutarkastuksen yhteydessä silloille, joiden suurin jänneväli on vähintään 30 metriä. Tarkkailutappien sijaintitiedot luovutetaan tilaajalle ja liitetään sillan laaturaporttiin. (Rakennustieto Oy 2015, 20–21)

5 SILLAN RAKENNEOSIEN SIJAINNIN LAATUVAATIMUKSET

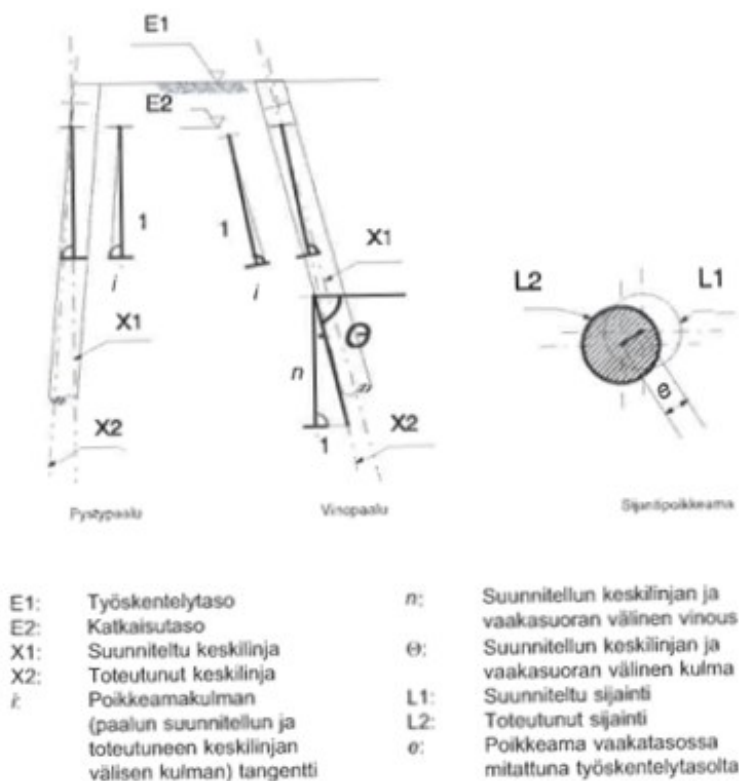
5.1 Yleistä

Rakennettu silta ja sen rakenneosien täytyy olla mitoiltaan, sijainniltaan ja muilta ominaisuuksiltaan suunnitelmien mukainen. Sillan ja rakenneosien on täytettävä jokainen laatuvaatimus erikseen. (Rakennustieto Oy 2013, 4.) Sillan suunnittelun yhteydessä on yleensä laadittu rakentamista ja laadunvarmistusta varten mitausaineisto, jossa on esitetty eri rakenneosien koordinaatit ja pisteiden koodit. (Rakennustieto Oy 2015, 19.)

5.2 Lyönti- ja porapaalujen sallitut sijaintipoikkeamat

Paalut täytyy pyrkiä saamaan suunnitelmissa esitettyihin sijainteihin. Paalutyypin valinnalla on suuri merkitys tuleviin toteutuspaikoihin. Porausmenetelmällä

asennettavilla paaluilla odotetut poikkeamat ovat paljon vähäisempiä kuin lyöntipaaluilla. On suositeltavaa, että porapaaluille käytetään lyöntipaaluja tiukempia sijaintitoleransseja, jos se on rakenteen ja kuormituksen kannalta tarkoituksen mukaista. Paalut täytyy merkitä ennen asennusta ja asennuksen jälkeen mitata 10 millimetrin tarkkuudella. Mittauksia ja mittauspöytäkirjaa tehdessä paalun keskipisteinä täytyy pitää ja kartoittaa pituusraudoituksen keskikohtaa tai raudoittamattomissa paaluissa sen suurimman ympyrän keskikohtaa (Kuvio 11). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2016, 181–182.)



Kuvio 11. Geometrinen rakentamistoleranssin määritelmät. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2016, 182.)

Lyötävien pysty- ja vinopaalujen sekä porattavien pysty- ja vinopaalujen suurimmat sallitut sijaintipoikkeamat on esitetty taulukoissa 1. ja 2.

Taulukko 1. Lyötävien sekä porattavien teräspaalujen sallitus sijaintipoikkeamat. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2016, 183.)

Asentamistapa ja halkaisija (d)	Sallittu sijaintipoikkeama
$d \leq 1,0$ m (Lyönti)	± 100 mm
$1,0$ m < $d \leq 1,5$ m (Lyönti)	0,1 m x d
$d > 1,5$ m (Lyönti)	± 150 mm
Porapaalut	± 25 mm

Taulukko 2. Pysty- ja vinopaalujen sallitut kaltevuuden poikkeamat. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 2016, 183.)

Kaltevuus	Asentamistapa ja sallittu kaltevuuden poikkeama
Pysty- ja vinopaalut, joiden kaltevuus on $\theta \geq 86^\circ$	20 mm/m (Lyönti) 15 mm/m (Pora)
Vinopaalut, joiden kaltevuus on $76^\circ \leq \theta < 86^\circ$	40 mm/m (Lyönti) 25 mm/m (Pora)

5.3 Sillan peruslaatan sijainti pysty- ja vaakatasossa

Peruslaatan sijainti vaaka- ja pystytasossa mitataan laatan nurkkapisteistä. Jos laatan leveys tai pituus on suurempi kuin 10 metriä, mitataan laatan sijainti vaakaja pystytasossa myös laatan sivun keskikohdalta. Peruslaatan sallittu poikkeama vaakatasossa maastoon pysyvästi merkityn mittasuoran tai runkopisteiden suhteen on 100 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa 200 millimetriä. Jos samalla tuella on kaksi tai useampia peruslaattoja, on niiden keskipisteiden välisen etäisyyden sallittu poikkeama ± 50 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa ± 200 millimetriä. Peruslaatan sallitut poikkeamat pystytasossa ovat +100 millimetriä ja –50 millimetriä enimmäispoikkeamien ollessa +200 millimetriä ja –100 millimetriä. Peruslaatan pystytason poikkeamia sovelletaan myös tarkasteltaessa laatan paksuutta, joten paksuuden sallitut poikkeamat ja enimmäispoikkeamat ovat samat

kuin pystytason sallitut poikkeamat. Peruslaatan sallittu poikkeama vaakamittojen suhteen on ± 100 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa ± 200 millimetriä. (Rakennustieto Oy 2015, 218–219.)

5.4 Sillan pääty- ja välitukien sijainti pysty- ja vaakatasossa sekä laakerien asennustarkkuus

Pääty- ja välitukien tulee sijaita siten, että niistä ei aiheudu ylityksiä valmiin sillan rakentamispoikkeamissa. Pääty- ja välitukien sijaintia vaaka- ja pystytasossa tulee tarkastella tarkkailutappien kohdalta. Sallittu poikkeama vaakatasossa pääty- ja välituille runkopisteiden tai maastoon pysyvästi merkityn mittasuoran suhteen on sekä tukilinjan että sitä vastaan kohtisuorassa suunnassa ± 40 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa ± 60 millimetriä. Peruslaattaan nähden pääty- ja välitukien sallittu sijaintipoikkeama suunnitellusta sijainnista tukilinjan suunnassa sekä kohtisuorassa suunnassa sitä vastaan on ± 60 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa ± 90 millimetriä. Samalla tuella olevien välitukien sallittu keskinäinen etäisyys suunnitellusta saa olla ± 30 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa ± 90 millimetriä. Tukien keskinäinen etäisyys sekä etäisyydet peruslaatan reunoista mitataan tukien alareunasta. Tukien pystytason sallittu poikkeama on ± 20 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa ± 40 millimetriä. (Rakennustieto Oy 2015, 9.)

Pääty- ja välitukien poikkileikkausmitoissa sallitaan RakMK-ohjeiden B4-taulukossa esitetyt poikkeamat (Kuvio 12) enimmäispoikkeamien ollessa kaksinkertaiset arvot.

Rakenne- luokka	$\frac{a}{d} \leq 200$ Δ mm	$200 < \frac{a}{d} \leq 500$ Δ mm	$500 < \frac{a}{d} \leq 2000$ Δ mm	$\frac{a}{d} > 2000$ Δ mm
1	5	10	20	30
2	10	20	30	50

a = poikkileikkauksen mitta tarkasteltavassa suunnassa, mm
 Δ = sallittu mittapoikkeama, mm

d = poikkileikkauksen tehollinen korkeus, mm

Kuvio 12. Rakenteen poikkileikkausmittojen sallitut poikkeamat. (Rakennustieto Oy 2009, 47.)

RakMK-ohjeessa B4 olevat rakenneluokat 1 ja 2 vastaavat *Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat* -ohjeen toteutusluokkia 3 ja 2. Tukien poikkileikkausmitat mitataan suorakulmaisten tukien osalta tuen ylä- sekä alareunasta. Pyöreiden tukien halkaisija mitataan tukilinjan suunnassa ja kohtisuorassa suunnassa sitä vastaan. (Rakennustieto Oy 2015, 224.) Sillan pääty- ja välituille asennettavien laakerien asennustoleranssi sillan pituus-suunnassa alusrakenteen suhteen on $\pm 0,05$ prosenttia kerrottuna jännemittalla, enimmäispoikkeaman ollessa ± 50 millimetriä. Sillan poikkisuunnassa alusrakenteen suhteen asennustoleranssi on ± 20 millimetriä. Laakerien ylä- ja alalaatan kaltevuudessa sallittu poikkeama on enintään 0,3 prosenttia suunnitelmien mukaiseen kaltevuuteen verrattuna. (Rakennustieto Oy 2015, 298.)

5.5 Rakenneosien kaltevuudet

Rakenneosien kaltevuus todennetaan seinämäisten tukien ja päätytukien kaikista pinnoista. Pilarien osalta kaltevuuden todentamiseen riittää keskilinjalta toisiaan kohtisuorista suunnista tehtävät mittaukset. Tukien, kuten päätytuen, pilarin tai seinämäisen tuen vino- tai pystypinnan kaltevuuksien sallittu poikkeama suunnitelmien mukaisesta arvosta on $\pm 0,5$ prosenttia. Vaakapoikkeaman erotus saa olla korkeintaan 40 millimetriä pinnan ala- ja yläreunan erotuksena. (Rakennustieto Oy 2015, 9.)

5.6 Sillan vapaa-aukko ja jännemitta

Sillan vapaa-aukon, jännemittan ja ulokkeen pituuden sallitut poikkeamat laskeaan kaavoilla $+L/1000$ ja $-L/2000$, jossa L on vapaa-aukko, jännemitta tai kaksi kertaa ulokkeen pituus millimetreinä. Poikkeama saa kuitenkin olla korkeintaan $+100$ millimetriä ja -50 millimetriä enimmäispoikkeamien ollessa $+L/500$ ja $-L/1000$ sekä $+200$ millimetriä ja -100 millimetriä. Pienimmät arvot, mitä enimmäispoikkeamalle käytetään ovat $+100$ millimetriä ja -50 millimetriä. Jos sillassa on alusrakenteena päällysrakenteeseen asti yltävät suurpaalut, noudatetaan Paalutusohje 2016: PO-2016 annettuja paalujen sijaintivaatimuksia. (Rakennustieto Oy 2015, 8–9.)

Ulokkeiden ja jännemittojen pituudet määritetään tukipintojen tai laakereiden keskikohdalta joko mittaamalla tai laskemalla tukien/laakereiden sijaintimittausten tuloksista. Vapaa-aukko mitataan tukien yläpään korkeudelta, kaari- ja holvisilloissa kaaren tai holvin kannan korkeudelta tai niiltä kohdin, missä ne on suunnitelmapiirustuksissa esitetty. Jännemittaa ja vapaata-aukkoa ei määritetä, ellei niitä ole merkitty suunnitelmapiirustuksiin. (Rakennustieto Oy 2015, 9.)

5.7 Sillan päällysrakenteen sijainti pysty- ja vaakatasossa

Päällysrakenteen sijainti vaaka- ja pystytasossa mitataan ennen raudoitustöiden alkua muotista sekä valun valmistuttua. Mittaukset suoritetaan päällysrakenteen päistä, jänneväliden neljännesosapisteistä, tukien kohdalta sekä aukkojen puolivälistä. Jos sallittujen poikkeamien ylityksiä havaitaan, muotti täytyy korjata vastaamaan niille asetettuja laatuvaatimuksia. (Rakennustieto Oy 2015, 236–237)

Sallittu poikkeama sillan sijainnin pysty- ja vaakatasossa on valtateiden, moottoriliikenneteiden ja moottoriteiden silloilla, kaikilla risteys- ja ylikulkusilloilla sekä rautatiesilloilla ± 20 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa ± 40 millimetriä. Muiden kuin edellä mainittujen teiden siltojen toleranssi on ± 40 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa ± 80 millimetriä. Sillan sijainti pystytasossa tarkastetaan sillan reunapalkin ulkoreunan yläreunasta ja vaakatason sijainti reunapalkin ulkoreunasta. (Rakennustieto Oy 2015, 4–5.) Päällysrakenteen sallittu poikkeama pituus- ja poikkikaltevuuden osalta on $\pm 0,5$ prosenttia enimmäispoikkeaman ollessa $\pm 1,0$ prosenttia. (Rakennustieto Oy 2015, 237.)

5.8 Sillan ja reunapalkin muoto pysty- ja vaakatasossa

Sillan ja reunapalkin muoto pystysuunnassa tarkastetaan vertaamalla toteutunutta reunapalkin yläreunan korkeussijaintia suunniteltuun tukilinjoilla ja niiden välillä, maatuilla sekä siipimuurien ja pääkannattajien ulokkeiden päissä. Sillan reunapalkin jänteen muotoa tarkastellaan jänteen $1/8$ pisteissä, jos jännemitta on ≥ 80 metriä, $1/4$ -pisteissä, jos jännemitta on 40–80 metriä, ja $1/2$ -pisteissä jos jännemitta on ≥ 40 metriä. (Rakennustieto Oy 2015, 6.)

Sallittu muoto poikkeama pystysuunnassa saadaan kaavasta $w_{sall.} = L/N$, jossa L on sillan reuna- tai keskijänne ja N Infra 2015 rakennusosa- ja hankenimikkeisto: määrämittausohje taulukossa 42001:T1 esitetty arvo (Taulukko 3). (Rakennustieto Oy 2015, 6.)

Taulukko 3. Sillan sallitun muoto poikkeaman $w_{sall.}$ laskettaessa käytettävä N:n arvo. (Rakennustieto Oy 2015, 6.)

	1/8	1/4	3/8	1/2
Yksijännteinen silta	2 500	1 400	1 100	1 000
Jatkuvan sillan reunajännteiden alkupää	2 000	1 200	1 000	1 000
Jatkuvan sillan reunajännteiden loppupää	5 000	1 800	1 100	1 000
Jatkuvan sillan keskijänne	6 000	2 000	1 200	1 000

Reunajänne rajoittuu aina sillan maa- tai päätukeen. Kaikki muut jännevälit ovat keskijännteitä. Reunajänne päättyy aina maa- tai päätukeen ja reunajännteiden loppupää välitukeen. (Rakennustieto Oy 2015, 6.)

Sillan ja reunapalkin muoto vaakatasossa tarkastetaan vertaamalla toteutunutta reunapalkin yläreunan vaakatasosijaintia suunniteltuun sillan keskellä ja ¼-pisteissä. Vaakataso muoto poikkeama saa olla sillan keskellä L/1000, mutta korkeintaan ±100 millimetriä ja sillan 1/4-pisteissä L/1500, mutta korkeintaan ±70 millimetriä. (Rakennustieto Oy 2015, 8.)

5.9 Sillan ajoradan leveys, hyödyllinen leveys sekä korotetun kevyenliikenteen väylän leveys

Sillan hyödyllisen, ajoradan ja korotetun jalankulku- ja pyörätien leveydet mitataan siipimuurien uloimmista päistä, sillan kapeimmalta kohdalta, aukkojen keskeltä sekä tukien kohdalta. Sallitut poikkeamat yllä olevissa leveyksissä ovat +60 millimetriä ja –30 millimetriä, enimmäispoikkeaman ollessa +120 millimetriä ja –60 millimetriä. Rautatiesilloilla sallittu poikkeama kaide-etäisyydellä on +40 millimetriä ja –10 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa +80 millimetriä ja –20 millimetriä. (Rakennustieto Oy 2015, 5.)

5.10 Sillan kulkuaukon vapaa korkeus

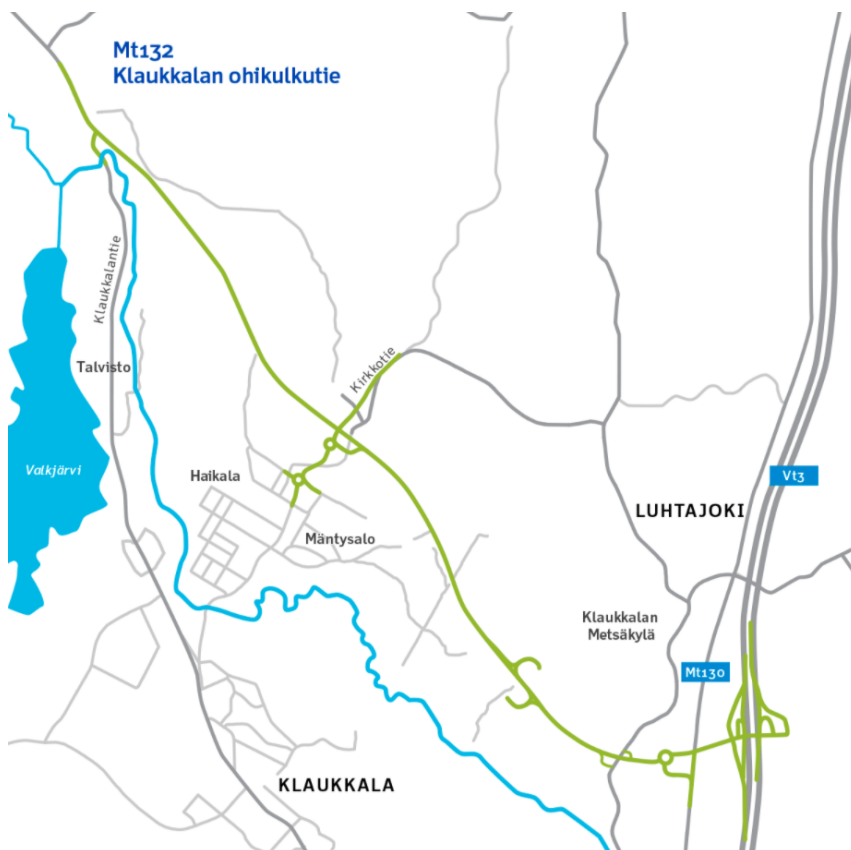
Sillan vapaa kulkukorkeus määritetään suunnitelmiin merkityistä paikoista sekä niiltä kohdin, joissa kulkukorkeus on matalimmillaan. Vapaan korkeuden sallitut poikkeamat ovat +50 millimetriä ja –25 millimetriä enimmäispoikkeaman ollessa +100 millimetriä ja –50 millimetriä. Vesistösiltoilla sallitut enimmäispoikkeamat ovat +200 millimetriä ja –50 millimetriä. Vesistösiltojen osalta kulkuaukon vapaa korkeus määritellään suunnitelmiin merkitystä HW:n ja merellä MW:n perusteella. (Rakennustieto Oy 2013, 76.)

5.11 Sillan kulkukorkeus

Sallitut poikkeamat kulkukorkeudessa ovat +50 millimetriä ja –25 millimetriä enimmäispoikkeamien ollessa +100 millimetriä ja –50 millimetriä. Sillan kulkukorkeuden mitattavat kohdat tarkistetaan suunnitelma-aineiston mukaan sekä niiltä kohdin, miltä kulkukorkeus on matalin. Mittaustulokset kirjataan sillan laaturaporttiin ja jos sillalla on monta kulkukorkeutta rajoittavaa aukkoa, kirjataan laaturaporttiin pienin todettu korkeus kustakin aukosta. (Rakennustieto Oy 2013, 76.)

6 KLAUKKALAN KEHÄTIE

Klaukkalan kehätie on vuonna 2020 valmistunut uusi Klaukkalan keskustan kiertävä yhteys, joka paransi alueen liikenneolosuhteita ja mahdollisti alueen tehokamman maankäytön. (Väylä, Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie). Klaukkalan kehätietä alettiin suunnitella jo 1980-luvun alussa Klaukkalan voimakkaan kasvun vuoksi. Ensimmäinen yleissuunnitelma kehätiestä valmistui jo vuonna 1986. Hanke ei kuitenkaan edennyt suunnitelmia pidemmälle ennen 2010-lukua, joten ruuhkien vähentämiseksi tyydyttiin leventämään Klaukkalantietä. (Nurmijärven uutiset 2020.) Klaukkalantie toimii Klaukkalan taajaman sisääntulotienä ja on merkittävä joukkoliikenteen käyttämä yhteys, koska liikennemäärä on Klaukkalantiellä noin 16 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. (Väylä, Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie). Klaukkalantien ja valtatie 3:n väliin toteutettu, 7,5 kilometriä pitkä tie, joka kiertää Klaukkalan taajaman on yksiajoratainen (Kuvio 13).



Kuvio 13. Klaukkalan kehätien yleiskartta. (Väylä, Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie).

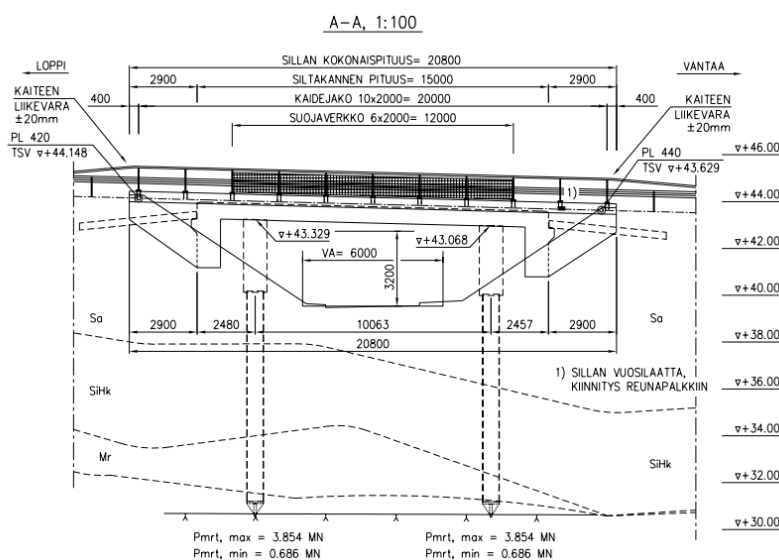
Hanke sisälsi kuusi uutta siltaa, neljä eritasoliittymää, sekä katu- ja tiejärjestelyjä tarpeellisilta osin. Tiesuunnitelma hankkeelle hyväksyttiin joulukuussa 2017, ja tie päästiin ottamaan liikenteelle jo marraskuussa 2020. (Väylä, Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie). Hankkeen kokonaiskustannukseksi tuli 33,2 miljoonaa euroa eli 8,8 miljoonaa euroa vähemmän kuin alunperin oli suunniteltu. (Nurmijärven uutiset 2020.)

Seuraavissa luvuissa käydään läpi Klaukkalan kehätielle rakennetun teräsbetonisen ulokelaattasilan (S104) rakentamisen aikaiset mittaukset sekä toteutuneista rakenteista tehdyt mittauspöytäkirjat.

7 SILLAN RAKENTAMISEN AIKAISET MITTAUKSET – SILTA 104

7.1 Yleistä

Silta 104 sijaitsee Klaukkalan pohjoispuolella. Sillan ylittää uusi Klaukkalan kehätie (Mt 132), ja sillan alta kulkee kevyenliikenteenväylä. Sillan suunnitelmat ovat koordinaattijärjestelmä ETRS-GK24:ssä sekä korkeusjärjestelmä N2000:ssa. Silta on teräsbetoninen ulokelaattasilta, jonka jännemitat ovat 2,5 metriä + 10 metriä + 2,5 metriä, kokonaispituus 20,8 metriä ja hyötyleveys 10,5 metriä (Kuvio 14).



Kuvio 14. S104 pituusleikkaus. (Insinööritoimisto Suunnittelukide, 2020.)

Silta rakennetaan paikallavaluna ja päällysrakenteena toimii teräsbetoninen laatta. Sillan kannella on yksipuolinen 3,0 prosentin kallistus. Alusrakenteina sillassa ovat teräsbetoniset pilarit, jotka ovat yläpäistään jäykästi kiinni kansirakenteessa sekä tukeutuvat alapäistään teräspaaluihin. Teräsputkipaalut lyödään kalliioon saakka. Silta kuuluu toteutusluokkaan 3.

Sillan rakentamisessa noudatetaan yleisiä laatuvaatimuksia, jotka perustuvat InfraRYL:in yleisiin laatuvaatimuksiin:

- infraRYL maa-, pohja- ja kalliorakenteet
- infraRYL päälly- ja pintarakenteet
- osa 3 sillat ja rakennustekniset osat
- PO-2016.

7.2 Käytetyt menetelmät ja ohjelmat

7.2.1 Takymetri

Takymetri on kulman- ja etäisyydenmittauskoje, jolla mitataan pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä. Näistä havainnoista voidaan laskea koordinaatteja, korkeuksia ja muita suureita. (Laurila 2012, 238.) Takymetrillä tehtävien mittausten aloittamiseksi tulee koje pystyttää, tasata sekä mitata tunnetut pisteet, joiden avulla koje orientoidaan koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään. (Laurila 2012, 252.) Orientointi tarkoittaa mittauspaikan koordinaatiston ja korkeustason määrittelyä, ja tämä on edellytys koordinaattimuotoisten mittausten tekemiselle. (Laurila 2012, 257.)

7.2.2 Ohjelmisto

3D-win on kotimainen Novatron Oy:n omistama mittaus- ja suunnitelmätiedon tuottamiseen ja käsittelyyn tarkoitettu ohjelma. Ohjelmalla voidaan käsitellä yhtäaikaista useita eri vektori- ja rasterikuvaelementtejä. Tiedostojen näkymä ruudulla määräytyy käyttäjän käytössä olevan koodauksen tai symboliikan mukaan eri kohteita korostamalla tai yksinkertaistamalla. Tiedostoja voidaan lukea sekä kirjoittaa useissa eri formaateissa. Tuettuja tiedostoformaatteja ovat yleisimmät

maastomittausformaatit, CAD- ja paikkatietojärjestelmienformaatit sekä käyttäjän vapaasti määrittelemät riviformaatit. Aineistoa editoidaan graafisesti, ja sen voi kohdistaa joko viivoihin tai pisteisiin, eri hakutavoilla valittuihin kohteisiin tai kokonaiseen tiedostoelementteihin. Ohjelmisto on modulaarinen, mikä mahdollistaa helpon käyttöliittymän laajentamisen tarpeen mukaan. (Novatron Oy 2021, 3.)

AutoCAD on Autodeskin suunnittelema yleissuunnitteluohjelma, joka hyödyntää vektorigrafiikkaa. AutoCad-ohjelmasta julkaistiin ensimmäinen versio vuonna 1982, ja nykyään siitä julkaistaan uusi versio vuosittain. AutoCAD-ohjelman tiedon käsittely perustuu teksteihin, kaariin, viivoihin, ympyröihin ja murtoviivoihin. AutoCAD-ohjelman siirtoformaatti DXF ja tiedostotyyppi DWG ovat käytössä ympäri maailman ja ovat standardin asemassa 2D-suunnittelussa. (Mörsäri 2012, 30.)

7.3 Mittausperusta sillan rakentamiselle

Mittausperustan Klaukkalan kehätien hankkeelle suunnittelua ja rakentamista varten loi Blom Kartta Oy. Mittausperustan lähtöpisteinä käytettiin Maanmittauslaitoksen kiintopisteitä. Uusia peruspisteitä hankkeen alueelle luotiin yhteensä 32 kappaletta sekä käyttöpisteitä 57 kappaletta. Näihin pisteisiin sidottiin myös S104:n rakentamisen aikana käytettävä pisteverkko. Takymetri orientoitiin käytämällä kolmea peruspistettä (201430, 201431 ja 201432) ja mittaamalla jokainen peruspiste kahdella kojeasennolla (Kuvio 15).



Kuvio 15. Mittausperustan peruspisteet (punaisella) siltapaikan lähellä.

Orientoinnin jälkeen suunniteltiin rakentamisen aikainen apupisteverkko siten, että sillan rakennuspaikka pysyi apupisteverkon sisällä. Pisteitä rakennettiin sillan pituus- sekä poikkisuuntaan (Kuvio 16) sillan rakentamisen aikaisia mittauksia varten. Apupisteet kiinnitettiin tarrojen avulla joko puuhun, olemassa oleviin rakenteisiin tai kallioon.

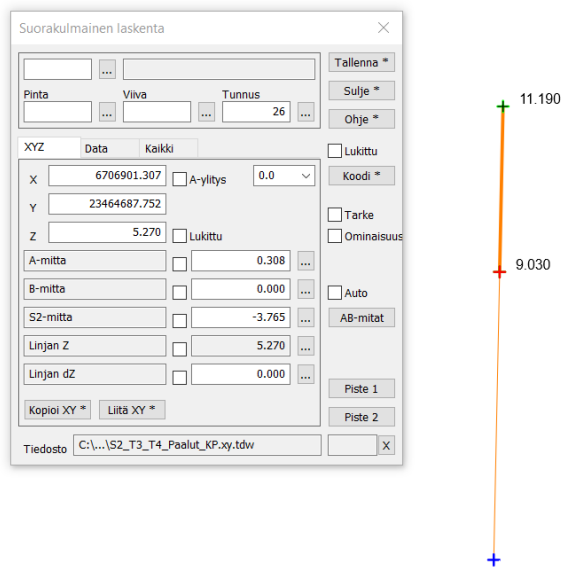


Kuvio 16. Apupisteet (punaisella)

7.4 Alusrakenteiden paikalleenmittaukset sekä toteutumamittaukset

Kun siltapaikka saatiin kaivettua tavoitetasoon, voitiin aloittaa teräspaalujen merkitseminen niille suunnitelluille paikoille. Siltakaivanto kaivettiin alemmalle tasolle kuin paalujen katkaisukorko, tässä tapauksessa alle +39,50. Teräspaalujen sekä pilareiden koordinaatit ja korkeudet saatiin alusrakenteiden mittapiirustuksesta (Kuvio 17).

Jos paalujen katkaisutaso ei ole näkyvässä tai on vaikeasti kartoitettavissa, voidaan paalujen sijainti katkaisutasossa laskea 3D-win-ohjelman suorakulmaisen laskentatoiminnon avulla. Tätä varten täytyy kartoittaa kolme pistettä paalusta kahdelta eri korkeustasolta. Tämän avulla saadaan mahdollisimman tarkka suunta lasketun paalun sijainnille. Tämän jälkeen 3D-win-ohjelman viivaeditorilla saadaan piirrettyä paalun sijainti ympyrämuotoon. Nyt voidaan laskea ympyröiden keskipisteet käyttämällä CAD-tulkkaustoimintoa. Kun keskipisteet ovat laskettu niin suoritetaan suorakulmainen laskenta käyttämällä joko S- tai S2-mittaa (Kuvio 18).



Kuvio 18. 3D-win suorakulmainen laskenta kolmiulotteisesti.

Kahden paalun osalta toteutunut sijainti sekä yhden paalun kaltevuus ylittivät vaaditut toleranssit, joten suunnittelijat laskivat ennen paalujen katkaisua, pitääkö siltaan tehdä muutoksia. Vasta tämän tarkistuksen jälkeen voitiin paalut katkaista halutulta tasolta, raudoittaa sekä valaa betonilla (Kuvio 19).



Kuvio 19. Paalut katkaisun, teräskehikon asentamisen sekä valun jälkeen. (Väylä, Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie.)

Paalujen raudoituksen ja valun jälkeen asennetaan pilarimuotit. Koska paalujen sijainnissa oli poikkeamia ja niiden vaikutus sillan toimivuuteen oli mitätön, päättivät suunnittelijat, että pilarit perustetaan toteutuneiden paalujen sijaintien mukaan.

Pilarien asennus aloitetaan merkitsemällä pilarimuotin soljen paikka työvaluun. Toteutuneen paalun keskipisteen avulla tehdään viiva-aineisto pilarin halkaisijan mukaan. Tässä tapauksessa pilarien halkaisija on 1 000 millimetriä. Soljen reunan paikka merkitään tulevan pilarin betonipinnan mukaan työvalun neljään kohtaan, jolloin solki on helppo kohdistaa oikealle paikalle ja pultata se tukevasti kiinni työvaluun. Tämän jälkeen pilarimuotti nostetaan paikalleen ja samaa pilarin viiva-aineisto hyödyntämällä kohdistetaan pilarin yläpää myös oikeaan asentoon. Pilarimuottia ohjataan sivu- ja pituussuunnassa elementtitukien avulla, jotka myös tukevat muottia valun aikana (Kuvio 20). Samalla merkitään myös valukorkeus pilareille suunnitelman mukaan.

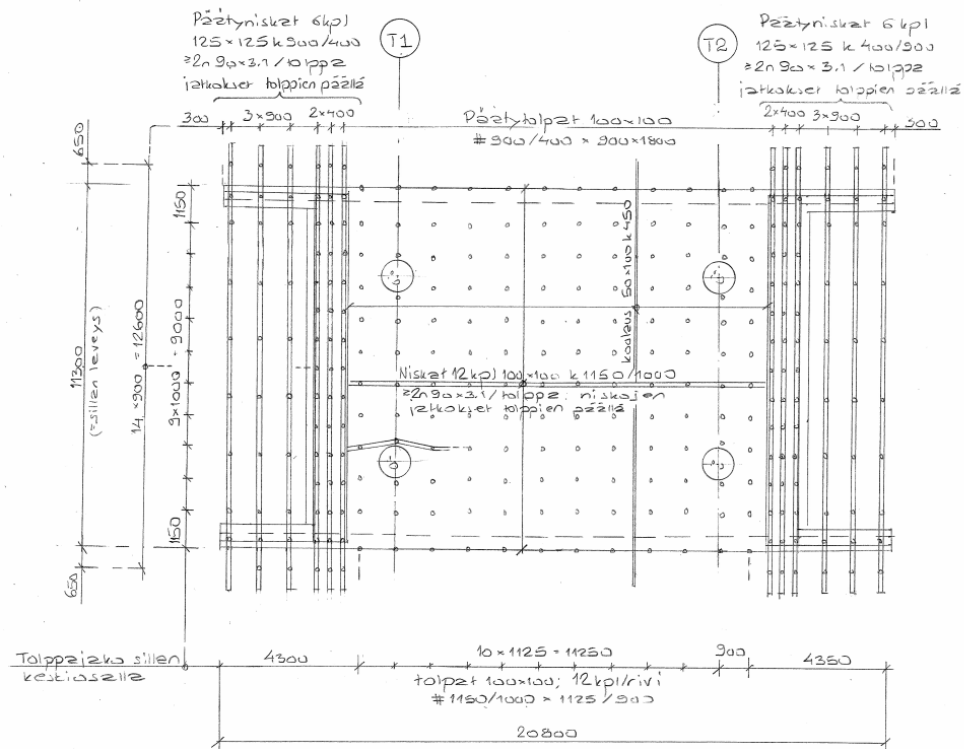


Kuvio 20. Pilarimuotit asennettuina sekä tuettuina vinotuilla. (Väylä, Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie.)

Pilareiden valun jälkeen kartoitetaan pilarien ylä- ja alareuna sekä mitataan pilarien kaltevuudet pituus- ja poikkisuunnassa. Mittauspöytäkirjasta tulee ilmetä pilarin toteutunut korkeusero suunniteltuun, kaltevuudet, toteutunut halkaisija, jännemitat sekä vapaa-aukko ja vapaa alikulkukorkeus (LIITE 3 ja 4).

7.5 Päälysrakenteen ja varusteiden paikalleenmittaukset, tarkastusmittaukset sekä toteutumamittaukset

Päälysrakenteen mittaukset aloitetaan merkitsemällä telinetolppien sijainnit murskepedille. Telineolppien sijaintien avulla timpurit voivat asentaa aluspuut oikeille paikoille, jolla varmistetaan sillan päälysrakenteen oikeanlainen tuenta valun aikana (Kuvio 21).



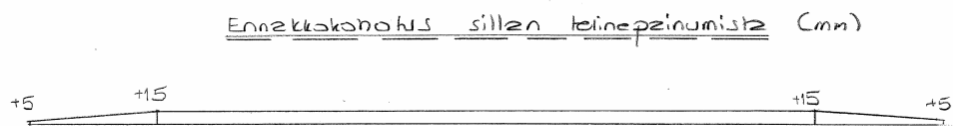
Kuvio 21. S104 telinesuunnitelma. (Insinööritoimisto TAK-Plan Oy, 2020.)

Vaikka telinesuunnitelmia ei toimitettu sähköisessä muodossa, pystyi telinetolppien sijainnin laskentaan käyttämään yhteistä tunnettua mitta sähköisten suunnitelmien avulla (sillan leveys). Aluspuiden asennuksen jälkeen merkittiin vielä kerran telinetolppien sijainnit tolppien asennusta varten. Telinetolpat kiinnitetään alareunan lisäksi vaaka- ja vinositein (Kuvio 22).



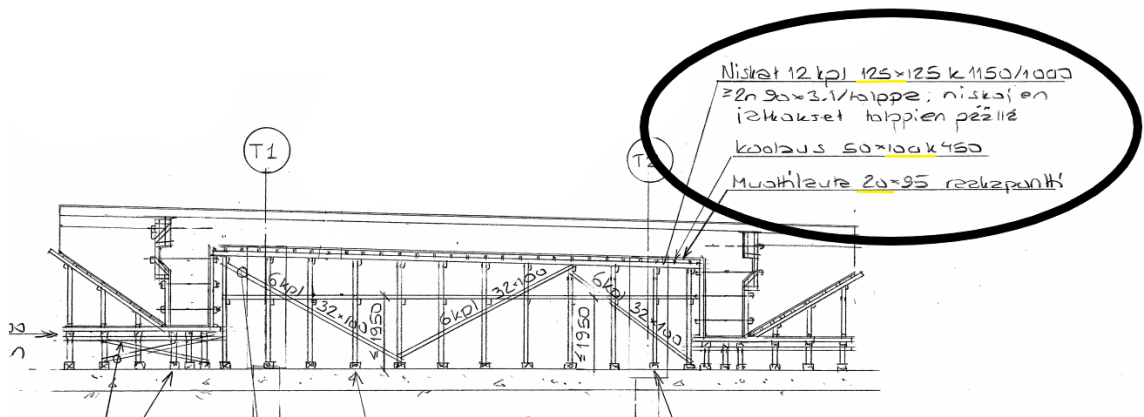
Kuvio 22. Telineolpukset sekä vaaka- ja vinositeet asennettuina. (Väylä, Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie.)

Telineolpituksen jälkeen tulee mittaustyönjohdon merkitä katkot telineolppiin. Katkoja varten tehtyyn aineistoon tulee laskea mukaan telinekohotukset ja esikohotukset. Klaukkalan sillassa ei ollut ennakkokohotusta tai pysyvää kohotusta ollenkaan, joten suunnitelmista saatuihin kansilaatan alapinnan korkoihin lisättiin vain telinekohotus (Kuvio 23).



Kuvio 23. Sillan telinelinepainuman ennakkokohotus. (Insinööritoimisto TAK-Plan Oy, 2020)

Katkoja varten tulee telinesuunnitelmista huomioida myös muotin niskojen, koolauksen sekä muottilaudan mitat, koska katkoja ei tehdä sillan kannen alapinnan korkeuden mukaan vaan kannen alapinnan ja niskojen, koolauksen sekä muottilaudan summan erotuksen mukaan.



Kuvio 24. Niskojen, koolauksen sekä muottilaudan mitat telinesuunnitelmista (keltaisella alleviivattu). (Insinööritoimisto TAK-Plan Oy, 2020)

Kuviossa 24 on alleviivattu mitat katkojen merkkausta varten. Tässä tapauksessa katkot tehtiin 245 millimetriä alle kannen alapinnan. Katkot merkitään siltaan sillan suunnitellusta muodosta riippuen joko vain reunoille ja keskelle telinetolppiin tai, jos sillassa on paljon esikohotusta, niin silloin jokaiseen telinetolppaan. Katkojen merkkauksen jälkeen timpurit voivat alkaa asentaa niskoja, koolauksia sekä muottilautoja (Kuvio 25).



Kuvio 25. Niskojen, koolauksen sekä muottilaudan asennusta telineeseen. (Väylä, Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie.)

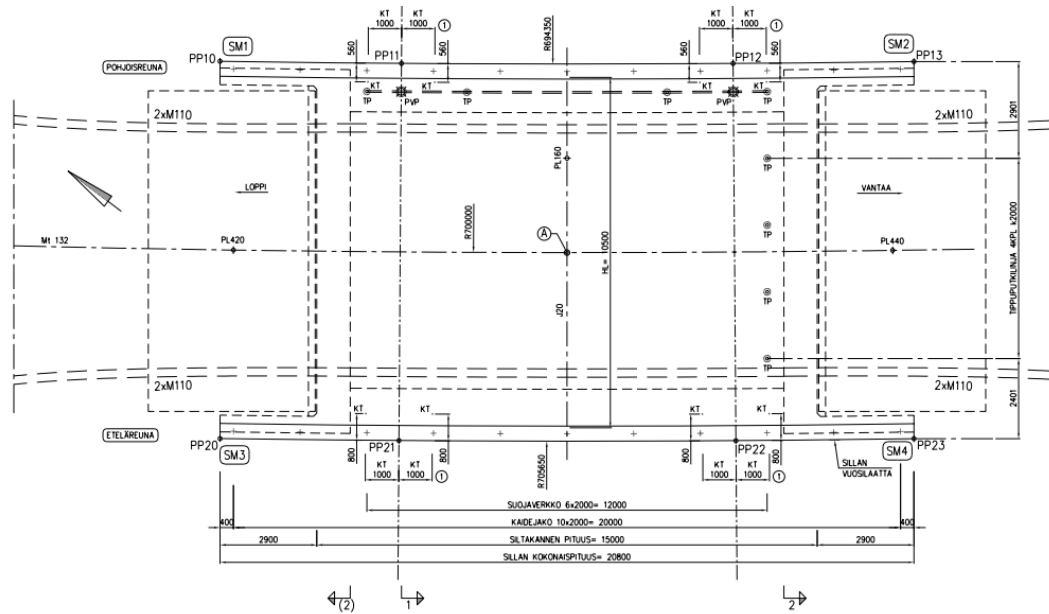
Kun timpurit ovat saaneet asennettua niskat ja koolauksen telinetolppien päälle, merkitään koolaukseen kannen pohjan taitetta ja reunapalkin linjaa sekä korkeutta reunapalkin yläreunaan. Koordinaatit kannen pohjan taitteelle sekä reunapalkin linjalle ja korkeudelle saatiin suunnitelmien koordinaattiluettelosta (Kuvio 26).

▼K2	REUNAPALKKI ETELÄREUNA								
	nro	pisteen etäisyys edellisestä [m]	X	Y	TSV	Z	rev	huom.	
			reunapalkin ulkopinta			ulko-yläpinta TSV+0.289			
reunapalkin pää	PP20	1	0,0	6701654.715	24540108.188	44,152	44,441		
		2	1,1	6701653.829	24540108.839	44,124	44,413		
		3	2,2	6701652.943	24540109.492	44,095	44,384		
		4	3,3	6701652.059	24540110.145	44,067	44,356		
		5	4,4	6701651.175	24540110.801	44,038	44,327		
tukilinja T1	PP21	6	5,4	6701650.403	24540111.375	44,013	44,302		
		7	5,5	6701650.292	24540111.457	41,009	41,298		
		8	6,6	6701649.411	24540112.115	43,981	44,270		
		9	7,7	6701648.530	24540112.774	43,952	44,241		
		10	8,8	6701647.651	24540113.435	43,924	44,213		
		11	9,9	6701646.772	24540114.097	43,895	44,184		
		12	11,0	6701645.895	24540114.761	43,866	44,155		
		13	12,1	6701645.019	24540115.425	43,839	44,128		
		14	13,2	6701644.143	24540116.092	43,810	44,099		
		15	14,3	6701643.269	24540116.759	43,782	44,071		
		16	15,4	6701642.396	24540117.428	43,753	44,042		
tukilinja T2	PP22	17	15,5	6701642.345	24540117.467	43,751	44,040		
		18	16,5	6701641.523	24540118.098	43,727	44,016		
		19	17,6	6701640.652	24540118.770	43,696	43,985		
		20	18,7	6701639.782	24540119.443	43,667	43,956		
		21	19,8	6701638.913	24540120.117	43,639	43,928		
reunapalkin pää	PP23	22	20,8	6701638.124	24540120.732	43,613	43,902		

Kuvio 26. S104 reunapalkin koordinaatti sekä korkeusluettelo. (Insinööritoimisto Suunnittelukide, 2020.)

Mittausaineistoa tehdessä tulee ottaa huomioon, ettei koordinaattiluettelossa ole viiin sillan reunapalkin korkeusasemiin ole lisätty telinekohotusta vaan ne tulee mittausyönjohdon lisätä mittausaineistoon.

Kannen pohjan taitteen sekä reunapalkin merkinnöillä timpurit pystyivät tekemään muotin reunapalkille. Kuviossa 27 on esitetty kohdat, jotka merkittiin koolaukseen.



Kuvio 28. S104 mittapiirustus. (Insinööritoimisto Suunnittelukide, 2020.)

Siltaan asennettiin tippuputkia kahdeksan kappaletta, pintavesiputkia kaksi kappaletta ja kontaktitappeja 20 kappaletta. Nämä merkattiin sillan muotin laudoitukseen, jolloin timplit pystyivät asentamaan varusteet muottiin ennen raudoitusta (kuvio 28). Valaisimien paikat poimittiin sillan valaistussuunnitelmasta. Pulttiryhmien paikat laskettiin kaidejaon perusteella käyttäen suunnitelmista saatua reunapalkin linjaa. Pulttiryhmien jaotus lähti siipimuurin päästä 400 millimetriä, jonka jälkeen pulttiryhmien jaotus oli 2 000 millimetriä. Reunapalkin muottiin merkataan pulttiryhmän keskikohta, jonka avulla raudoittajat voivat asentaa sen. Raudoituksen ja varusteiden asentamisen jälkeen muotti tuplattiin päätypalkin ja siipimuurien osalta eli rakennettiin toinen muottipinta. Muotti myös valmisteltiin valukuntoon.

Sillan kannen valun ja muotin purkamisen jälkeen tuli sillasta kartoittaa pisteet kannesta sekä reunapalkista siipimuurien päistä, jänneväljen neljännespisteistä, välituilta sekä silta-aukon keskeltä ja verrata niitä teoreettisiin sijaintitietoihin (Kuvio 29).



Kuvio 29. Silta valun ja muotin purkamisen jälkeen. (Väylä, Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie.)

Näiden tietojen pohjalta mittaustyönjohtaja osoittaa toteutuneen rakennusosan sijainnin teoreettiseen sijaintiin. Liitteissä 7 ja 8 on esitetty S104:n toteutuneet sijaintitiedot ja verrattuna niitä teoreettisiin. Samasta asiakirjasta ilmenee myös vaadittavat toleranssit rakenneosalle. Sillan kannesta tuli myös tehdä tarkekuva kannen toteutuneen kallistuksen osoittamiseksi (LIITE 9). Samalla kartoitettiin myös sillan kaide hyödyllisen ajoleveyden todentamiseksi (LIITE 10). Koska reunapalkissa oli toleranssien ylityksiä, tehtiin reunapalkeista pituusleikkaus sillan arvonlennusta varten. Pituusleikkauksista tulee ilmetä reunapalkin teoreettinen ja toteutunut korkeusasema sekä toleranssi. Pituusleikkaukset ovat esitetty liitteissä 11 ja 12. Sillan tulevia muodonmuutoksia varten siltaan porattiin tarkkailutapit pilareihin sekä reunapalkkiin. Kaikki tarkkailutapit kartoitettiin ja mitauspöytäkirja toimitettiin tilaajalle (LIITE 13 ja 14).

8 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön aiheena oli laatia yleiskuva betonisen sillan rakentamisesta mittaustyönjohdon näkökulmasta, jota tulevat siltamittaajat voivat hyödyntää aloitellessaan uraa siltamittausten parissa. Aiheeseen päädyin siitä syystä, että kun itse mittasin ensimmäistä siltaani, oli aiheesta todella vaikea löytää tietoa. Tärkeää aiheen valinnassa oli, että opinnäytetyöllä olisi merkitystä alan opiskelijoille ja josta olin kiinnostunut.

Valittuani opinnäytetyön aiheen, tietämykseni sillan rakentamisesta oli melko vähäinen. Ensimmäisenä minun piti tutustua aiheeseen rakennusalan kirjallisuuden avulla ja selvittää paljon asioita. Huomasin, että sillan rakentamiseen liittyy todella paljon muuttujia, jotka täytyy ottaa huomioon. Aihe oli todella laaja, joten rajasin sen koskemaan vain yleisimpiä Suomessa rakennettavia betonisia siltoja. Opinnäytetyön tekeminen oli minulle todella opettavainen, sillä selvitettäviä asioita oli paljon. Mittauspöytäkirjoja tehdessäni minun täytyi tutustua huolellisesti InfraRYL:n ja muihin noudatettaviin määräyksiin ja ohjeisiin.

Mittausalan tekninen kehitys ei ole vielä yltänyt mittauspöytäkirjoihin, vaan edelleen ne tehdään PDF-muodossa. Nykyään isoimmilla infrahankkeilla sillat ja muut taitorakenteen ovat mallinnettu IFC-tietomalleiksi, jonka avulla rakennetta pystyy tutkimaan 3D-maailmassa. IFC-tietomallien käyttö on tehostanut mittaustyönjohdon ajankäyttöä, kun mallista pystyy poimimaan mittausaineistoa varten tietyn rakenteen koordinaatit sekä korkeustiedot. Siksi on syytä olettaa, että rakennetun rakenteen toteutuneet tiedot tullaan tulevaisuudessa lisäämään esimerkiksi Trimble Connect-sovellukseen. Sovelluksen avulla pystyisi vertailemaan rakenteen teoreettista sijaintia toteutuneeseen ja tällä tavoin todeta rakenteen oikeanmukaisuus. Silti tähän päivään asti PDF-muotoiset mittakuvat sekä mittauspöytäkirjat ovat pitäneet pintansa. Tulevaisuudessa voisi myös olettaa, että 3D-win-ohjelmalla pystyy käsitellä IFC-malleja paremmin kuin se tällä hetkellä onnistuu.

LÄHTEET

buildingSMART Finland 2019. Yleiset inframalli vaatimukset 2019. Viitattu 10.12.2020 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/03/YIV_päivitystiedosto_FINAL-hyväksytyyversio_20190502.pdf

Insinööritoimisto Suunnittelukide. 2020. S104 Numlahden AKK Siltasuunnitelmat.

Insinööritoimisto TAK-Plan Oy. 2020. S104 Numlahden AKK Tukiteline- ja muottipiirustukset.

Laurila P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. painos. Rovaniemi: RAMK University of Applied Sciences.

Mörsäri S. 2012. AutoCAD P&ID PI-Kaavioiden tuottamisen apuvälineenä. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Energiatekniikka. Opinnäytetyö.

Novatron Oy. 3D-win Perusohje 6.7. Viitattu 7.2.2021 <https://3d-system.fi/download/155>

Nurmijärven uutiset 2020. Klaukkalan kehätie avautui noin 40 vuoden odotuksen jälkeen – hankkeen varrella nähty monet vaiheet. Viitattu 6.2.2021 <https://www.nurmijarvenuutiset.fi/paikalliset/3172244>

Rakennustieto Oy 2009. Betonirakenteet: Ohjeet 2005. Helsinki: Rakennustieto.

Rakennustieto Oy 2013. InfraRYL 2006: Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 3, Sillat ja rakennustekniset osat : sillat ja erittelemättömät betoni-, teräs- ja puurakenteet. Helsinki: Rakennustieto.

Rakennustieto Oy. 2015. Infra 2015: Rakennusosa- ja hankenimikkeisto : määrittämissuositukset. Helsinki: Rakennustieto.

Suomen rakennusinsinöörien liitto. 2016. Paalutusohje 2016: PO-2016. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto: Suomen geoteknillinen yhdistys.

Suomen rakennusinsinöörien liitto. 2018. Sillat – Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.

Suomen rakennusinsinöörien liitto. 2019. Tukitelineet ja muotit. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.

Väylä. Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie. Viitattu 6.2.2021 <https://vayla.fi/klaukkalanohikulkutie>

Väylä 2004. Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul) Viitattu 15.1.2021 <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/bul2004.pdf>

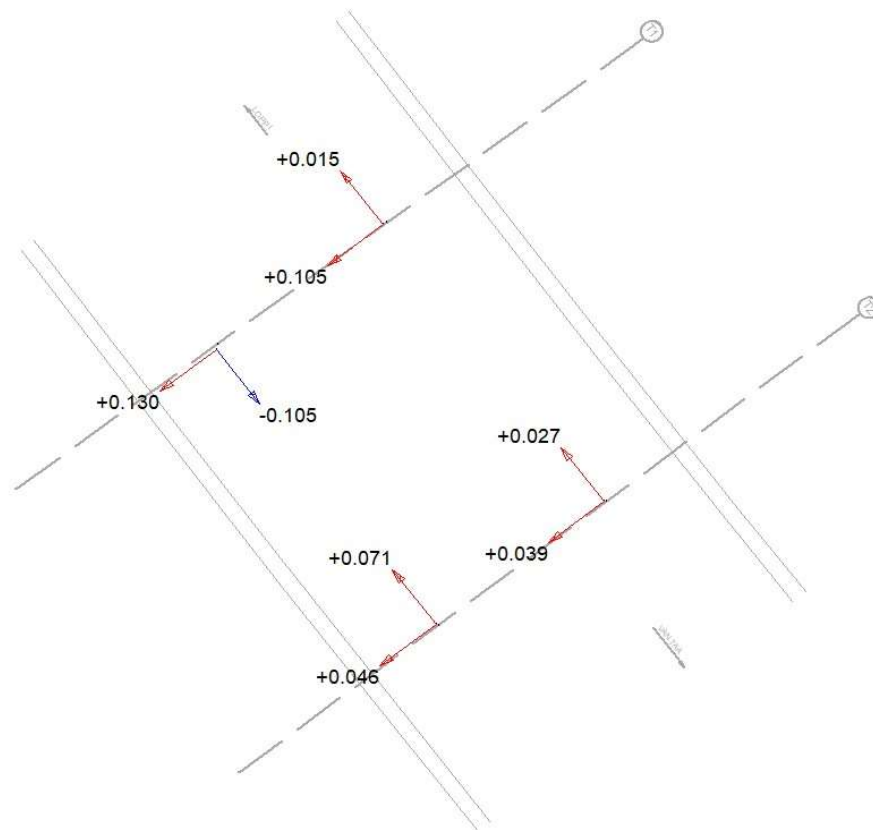
Väylä 2017. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje 18/2017. Viitattu 30.12.2020 https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf

Väylä 2019a. Väyläviraston sillat. Viitattu 3.1.2021 https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vti_2019-01_vaylaviraston_sillat_web.pdf

Väylä 2019b. Täydentäviä ohjeita siltojen suunniteluun. Viitattu 18.2.2021 https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2019-04_toss_web.pdf

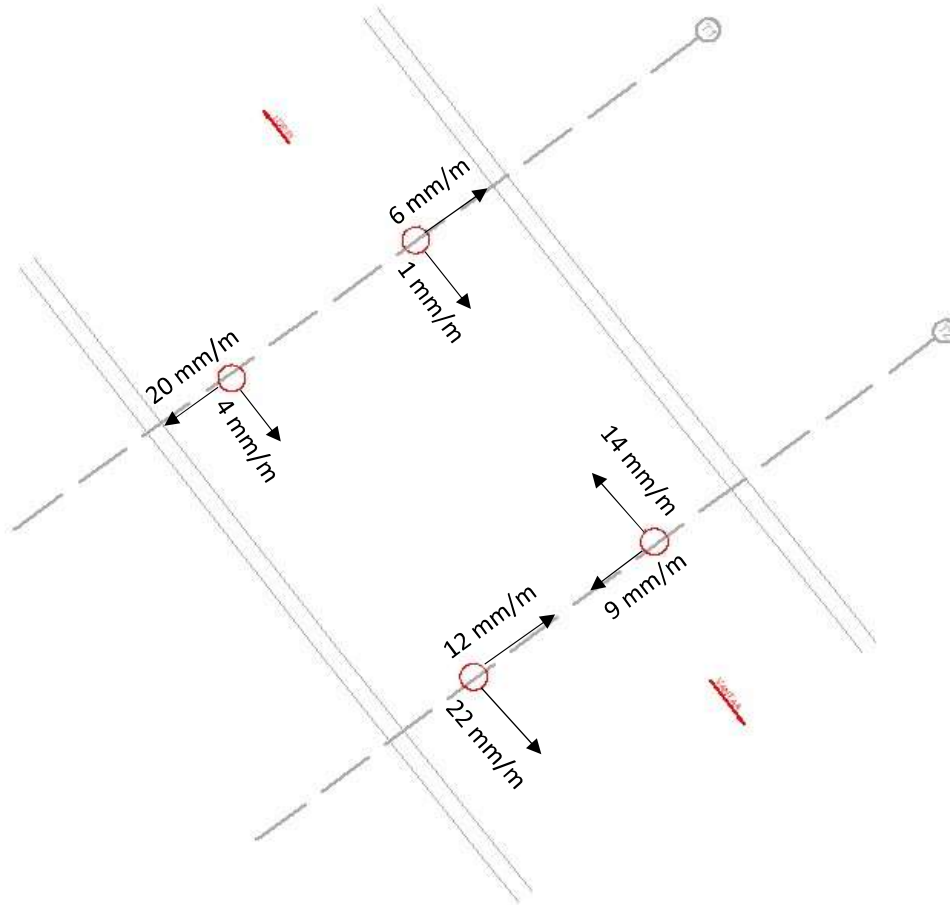
LIITTEET

- Liite 1. S104 lyöntipaalujen sijaintitarkkeet
- Liite 2. S104 lyöntipaalujen kaltevuudet
- Liite 3. S104 pilarit tarkekuva
- Liite 4. S104 pilarit mittauspöytäkirja
- Liite 5. S104 muotin tarkekuva (dXY)
- Liite 6. S104 muotin tarkekuva (dZ)
- Liite 7. S104 kannen tarkekuva
- Liite 8. S104 kannen mittauspöytäkirja
- Liite 9. S104 kannen kallistus tarkekuva
- Liite 10. S104 hyödyllinen leveys tarkekuva
- Liite 11. S104 pituusleikkaus pohjoinen reunapalkki
- Liite 12. S104 pituusleikkaus eteläinen reunapalkki
- Liite 13. S104 tarkkailutapit kartta
- Liite 14. S104 tarkkailutapit pöytäkirja



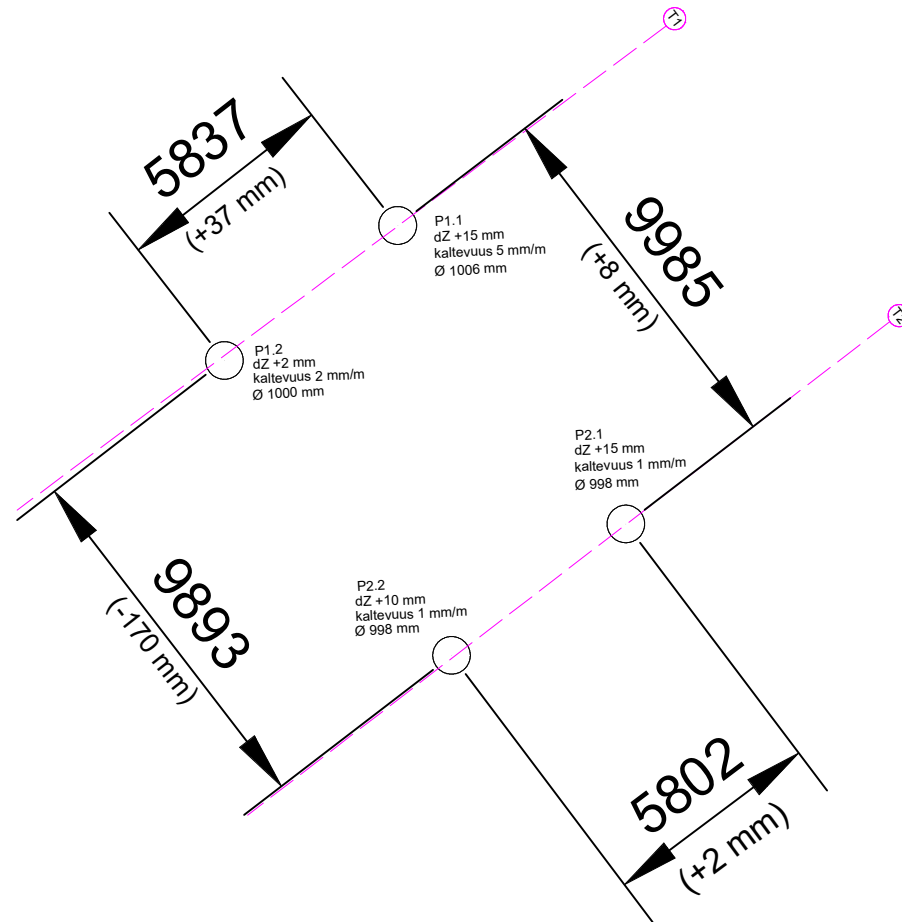
S104 lyöntipaalujen sijaintipoikkeamat								Tuukka Honkaniemi Pirkanmaan mittauspalvelu Oy
Paalu nro	Toteutunut		Teoreettinen		Poikkeama			ETRS-GK24 N2000
	X	Y	X	Y	dX	dY	dXY	
1.3	6701655,463	24540118,136	6701655,515	24540118,228	0,052	0,092	0,106	
1.4	6701651,885	24540113,540	6701652,048	24540113,579	0,163	0,039	0,168	
2.3	6701647,552	24540124,198	6701647,554	24540124,246	0,002	0,048	0,048	
2.4	6701644,049	24540119,569	6701644,021	24540119,648	-0,028	0,079	0,084	
S104 lyöntipaalujen korkotarkkeet								
	P1.3	P1.4	P2.3	P2.4				
Yläpään korko	42,533	42,206	43,540	41,424				
Lyödyn paalun pituus (m)	10,75	10,75	10,75	10,75				
Alapään korko	31,783	31,456	32,790	30,674				
Arvioitu alapään korko	32,300	31,200	31,957	31,180				
Katkaisukorko	40,006	40,179	39,747	39,918				
Paalun pituus katkaisukorkoon	8,223	8,723	6,957	9,24				

S104 Numlahden AKK Lyöntipaalujen kaltevuudet



Sisältö: Yläpään kallistuksen suunta

Tuukka Honkaniemi
Pirkanmaan mittauspalvelu Oy



Hanke: Klaukkalan ohikulkutie	Urakoitsija: Kreate Oy
Tekijä: Tuukka Honkaniemi	Sisältö: S104 pilareiden tarkekuva
Puh:	
Email:	
	
Tiedosto: S104_Pilarit_250620.xy.tdw	Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK24
Pvm: 26.6.2020	Mittakaava: 1:200
	Korkeusjärjestelmä: N2000

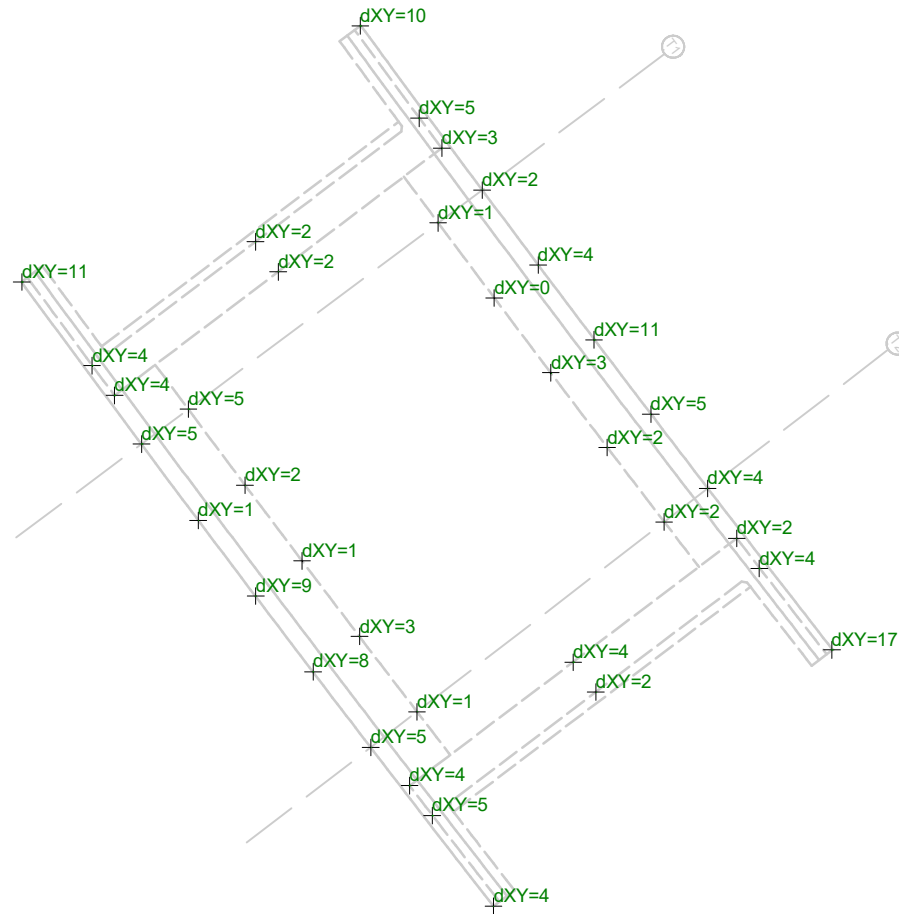
S104 pilarien mittausraportti



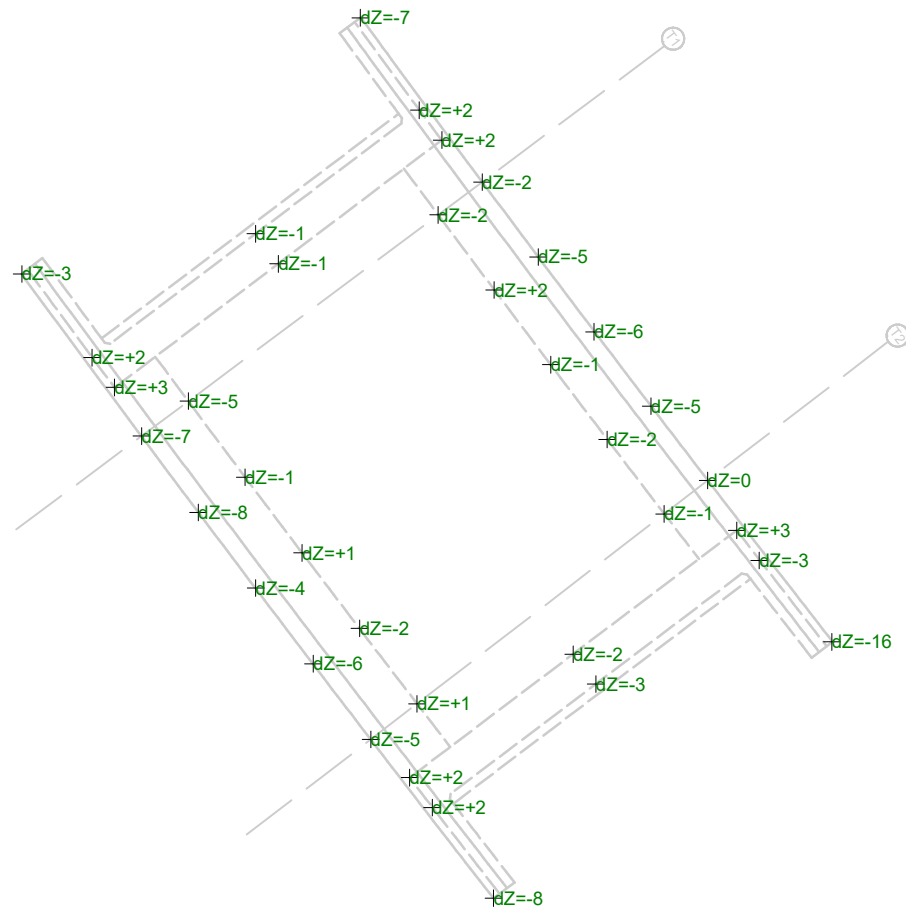
Sijainti (ETRS-GK24, N2000)		Teoreettinen						Vertailu (m)				
Pno	Toteutunut	x	y	z	Pno	x	y	z	dx	dy	dxy	dz
1.1	6701655,473	24540118,144	43,162	1.1	6701655,515	24540118,228	43,156	-0,042	-0,084	0,093	0,006	
1.2	6701651,886	24540113,540	43,331	1.2	6701652,048	24540113,579	43,329	-0,162	-0,039	0,167	0,002	
2.1	6701647,541	24540124,209	42,912	2.1	6701647,554	24540124,246	42,897	-0,013	-0,037	0,039	0,015	
2.2	6701644,048	24540119,576	43,078	2.2	6701644,021	24540119,648	43,068	0,027	-0,072	0,077	0,010	
										Toleranssi ±0,040	Toleranssi ±0,020	


Keskinäinen etäisyys ja jännemitta (m)				
Pisteväli	Toteutunut	Teoreettinen	Ero	Toleranssi (m)
P1.1-P1.2	5,837	5,800	0,037	±0,030
P2.1-P2.2	5,802	5,800	0,002	±0,030
P1.1-P2.1	9,985	9,980	0,005	+0,100...-0,050
P1.2-P2.2	9,893	10,063	-0,170	+0,100...-0,050

Kaltevuus ja poikkileikkausmitta				
Pno	Kaltevuus	Toleranssi	Poikkileikkausmitta (mm)	Toleranssi (mm)
1.1	0,5 %	0,5 %	1006	±10
1.2	0,1 %	0,5 %	1000	±10
2.1	0,1 %	0,5 %	998	±10
2.2	0,1 %	0,5 %	998	±10



Hanke:	Klaukkalan ohikulkutie	Urakoitsija:	Kreate Oy
Tekijä:	Tuukka Honkaniemi	Sisältö:	S104 päällysrakenteen muotin sijainnin tarkepiirustus Toleranssi dXY: ±20 mm Ei toleranssien ylityksiä.
Puh:			
Email:			
			
Tiedosto:	S104_Muotti_Kartoitettu.xy.tdw	Koordinaattijärjestelmä:	ETRS-GK24
Pvm:	1.7.2020	Mittakaava:	1:200
		Korkeusjärjestelmä:	N2000



Hanke: Klaukkalan ohikulkutie		Urakoitsija: Kreate Oy
Tekijä: Tuukka Honkaniemi		Sisältö: S104 päällysrakenteen muotin korkeusaseman tarkepiirustus. Toleranssi dZ: ±20 mm Ei toleranssien ylityksiä.
Puh:		
Email:		
		
Tiedosto: S104_Muotti_Kartoitettu.xy.tdw		Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK24
Pvm: 1.7.2020	Mittakaava: 1:200	Korkeusjärjestelmä: N2000

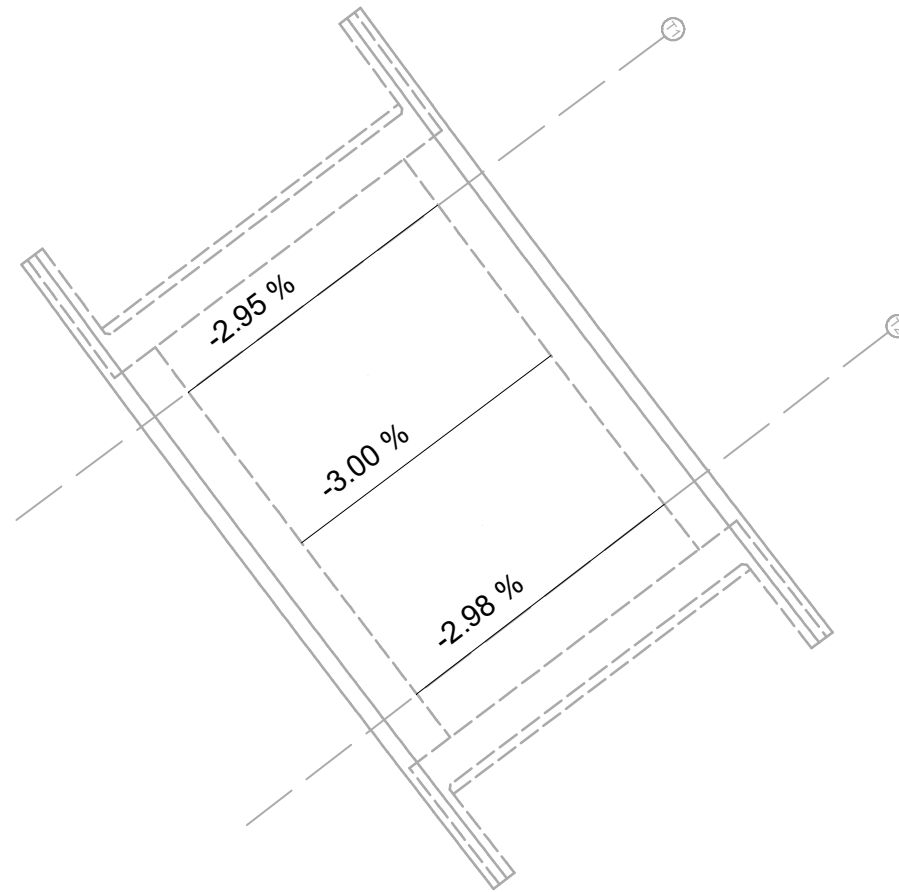
S104 kannen mittausraportti		 PIRKANMAAN MITTAUSPALVELU
Sijainti (ETRS-GK24, N2000)		

Pohjoinen reunapalkki	
-----------------------	--

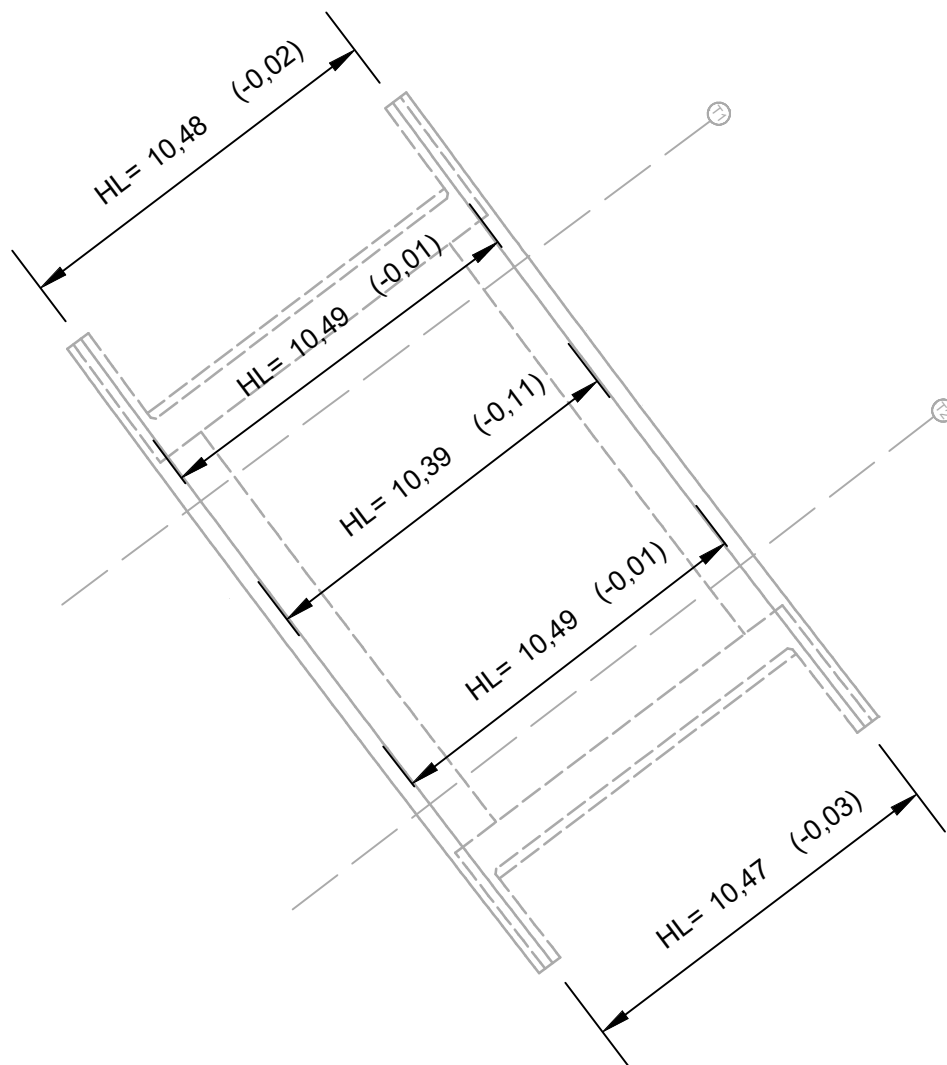
	Pno	Toteutunut			Teoreettinen				Vertailu (m)			
		x	y	z	Pno	x	y	z	dx	dy	dxy	dz
Reunapalkin pää	PP10	6701661,523	24540117,185	44,134	PP10	6701661,533	24540117,201	44,161	-0,010	-0,016	0,019	-0,027
T1	PP11	6701657,163	24540120,439	44,018	PP11	6701657,16	24540120,432	44,020	0,003	0,007	0,008	-0,002
T1-T2	1/4	6701655,171	24540121,921	43,959	1/4	6701655,17	24540121,920	43,955	0,001	0,001	0,002	0,004
T1-T2	1/2	6701653,181	24540123,409	43,895	1/2	6701653,185	24540123,415	43,891	-0,004	-0,006	0,007	0,004
T1-T2	3/4	6701651,201	24540124,916	43,828	3/4	6701651,205	24540124,918	43,827	-0,004	-0,002	0,004	0,001
T2	PP12	6701649,229	24540126,423	43,769	PP12	6701649,23	24540126,427	43,763	-0,001	-0,004	0,004	0,006
Reunapalkin pää	PP13	6701644,938	24540129,74	43,593	PP13	6701644,941	24540129,75	43,622	-0,003	-0,006	0,007	-0,029
										Toleranssi ±0,020 m	Toleranssi ±0,020 m	
										Toleranssien ylitykset punaisella		

Etelä reunapalkki	
-------------------	--

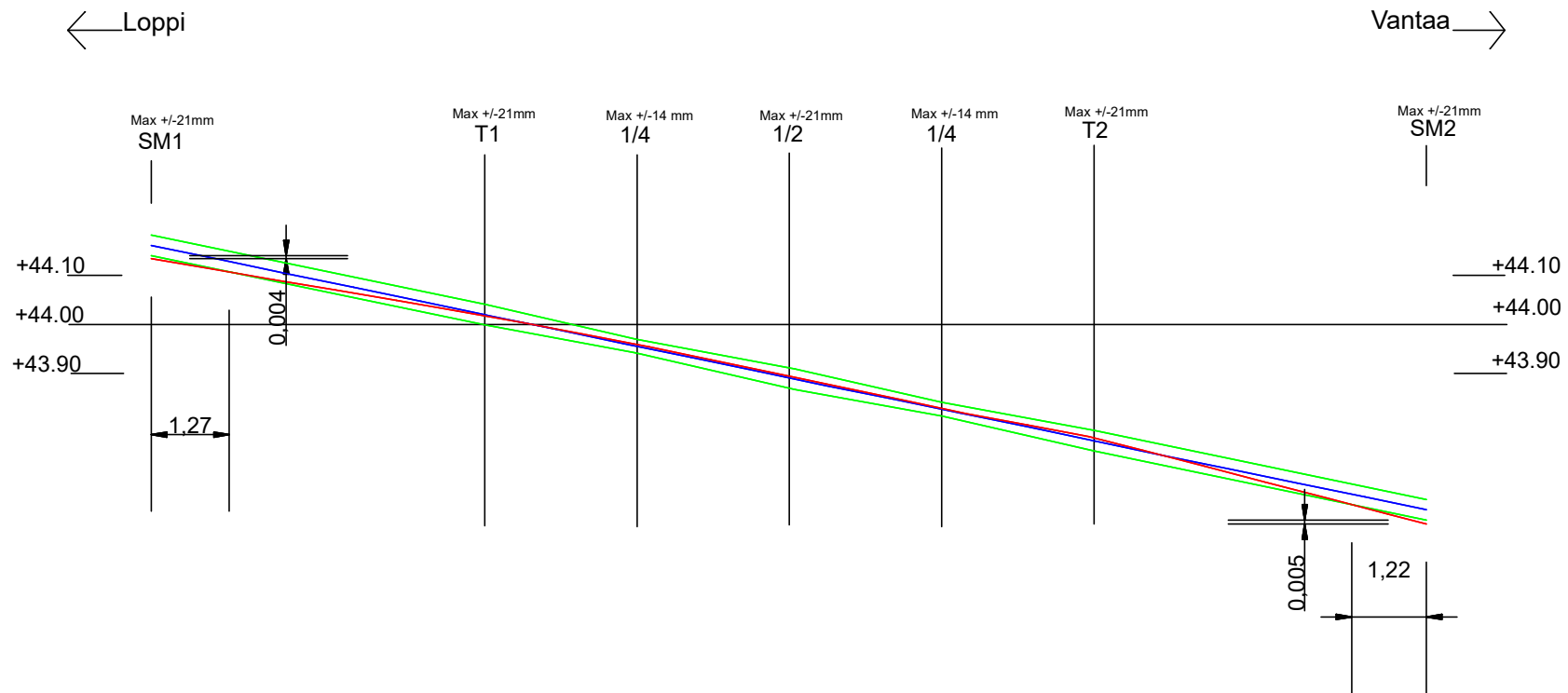
	Pno	Toteutunut			Teoreettinen				Vertailu (m)			
		x	y	z	Pno	x	y	z	dx	dy	dxy	dz
Reunapalkin pää	PP20	6701654,727	24540108,199	44,413	PP20	6701654,715	24540108,188	44,441	0,012	0,011	0,016	-0,028
T1	PP21	6701650,404	24540111,380	44,300	PP21	6701650,403	24540111,375	44,302	0,001	0,005	0,005	-0,002
T1-T2	1/4	6701648,382	24540112,890	44,239	1/4	6701648,380	24540112,887	44,236	0,002	0,003	0,004	0,003
T1-T2	1/2	6701646,369	24540114,414	44,177	1/2	6701646,363	24540114,406	44,170	0,006	0,008	0,009	0,007
T1-T2	3/4	6701644,352	24540115,936	44,110	3/4	6701644,352	24540115,933	44,106	0,000	0,003	0,003	0,004
T2	PP22	6701642,345	24540117,467	44,045	PP22	6701642,345	24540117,467	44,040	0,000	0,000	0,000	0,005
Reunapalkin pää	PP23	6701638,139	24540120,737	43,876	PP23	6701638,124	24540120,732	43,902	0,015	0,005	0,007	-0,026
										Toleranssi ±0,020 m	Toleranssi ±0,020 m	
										Toleranssien ylitykset punaisella		



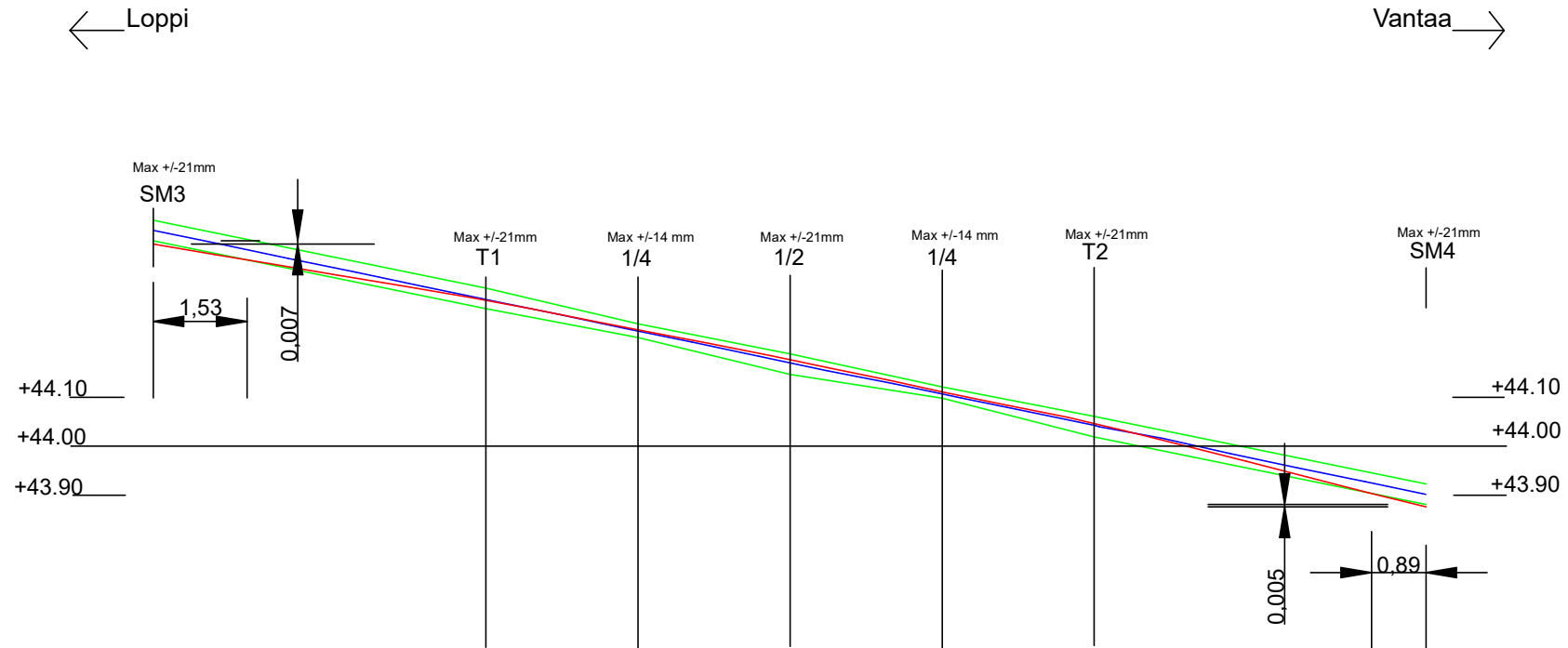
Hanke: Klaukkalan ohikulkutie		Urakoitsija: Kreate Oy
Tekijä: Tuukka Honkaniemi		Sisältö: S104 kannen kallistuksen tarkekuva. Toleranssi kannen toteutuneelle kallistukselle ±0,5 %. Ei toleranssin ylityksiä.
Puh:		
Email:		
		
Tiedosto: S104_Kansi_Kaltevuus.xy.tdw		Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK24
Pvm: 1.7.2020	Mittakaava: 1:200	Korkeusjärjestelmä: N2000



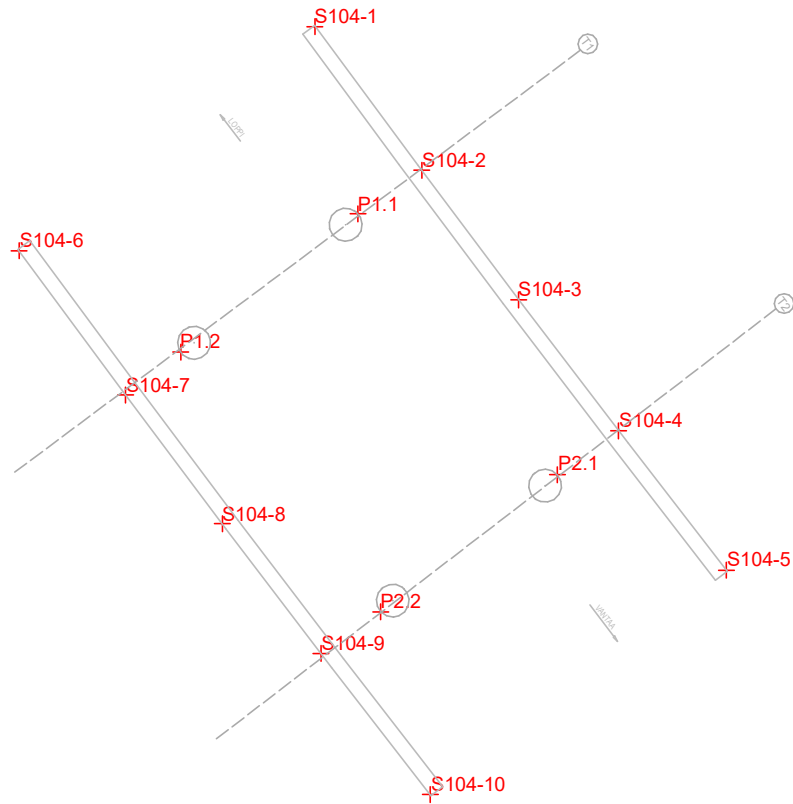
Hanke: Klaukkalan ohikulkutie		Urakoitsija: Kreate Oy	
Tekijä: Tuukka Honkaniemi		Sisältö: S104 Hyötylevyden tarkepiirustus. (m)	
Puh:		Suunniteltu hyötyleveys 10,50 m.	
Email:		Hyötylevyden toleranssit: +0,06 m ja -0,03 m.	
			
Tiedosto: S104_Kaide.dwg		Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK24	
Pvm: 2.7.2020	Mittakaava: 1:200	Korkeusjärjestelmä: N2000	



Hanke: Klaukkalan kehätie		Urakoitsija: Kreate Oy	
Tekijä: Tuukka Honkaniemi		Sisältö: Pohjoinen reunapalkki Punainen=Toteutunut reunapalkki Sininen=Suunniteltu reunapalkki Vihreä=Toleranssi	
Puh:		Toleranssin ylitys SM1 1,27 m matkalla max 4 mm. Toleranssin ylitys SM 1,22 m matkalla max 5 mm.	
Email:		Koordinaattijärjestelmä:	
		Korkeusjärjestelmä: N2000	
Tiedosto: SIIta_Pituusleikkauspohja_S104.dwg			
Pvm: 1.12.2020	Mittakaava:		



Hanke: Klaukkalan kehätie		Urakoitsija: Kreate Oy	
Tekijä: Tuukka Honkaniemi		Sisältö: S104 Eteläinen reunapalkki	
Puh:		Punainen=Toteutunut reunapalkki	
Email:		Sininen=Suunniteltu reunapalkki	
		Vihreä=Toleranssi	
		Toleranssin ylitys SM3 1,53 m matkalla max 7 mm. Toleranssin ylitys SM4 0,89 m matkalla max 5 mm.	
Tiedosto: S1lta_Pituusleikkauspohja_S104.dwg		Koordinaattijärjestelmä:	
Pvm: 1.12.2020	Mittakaava:	Korkeusjärjestelmä: N2000	



Hanke: Klaukkalan ohikulkutie	Urakoitsija: Kreate Oy
Tekijä: Tuukka Honkaniemi	Sisältö: Tarkkailutappien sijainti S104.
Puh:	
Email:	
	
Tiedosto: S104_Tarkkailutapit.xy.tdw	Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK24
Pvm: 14.10.2020	Mittakaava: 1:200
	Korkeusjärjestelmä: N2000

Tarkkailutapit S104		ETRS-GK24	N2000
Reunapalkin yläpinnassa			
Piste	X	Y	Z
S104-2	6701657.130	24540120.459	44.013
S104-3	6701653.187	24540123.405	43.893
S104-4	6701649.208	24540126.436	43.763
S104-7	6701650.299	24540111.458	44.296
S104-8	6701646.388	24540114.399	44.174
S104-9	6701642.441	24540117.398	44.046

Siipimuurien päät			
S104-1	6701661.492	24540117.210	44.130
S104-5	6701644.974	24540129.718	43.594
S104-6	6701654.684	24540108.223	44.413
S104-10	6701638.156	24540120.718	43.871

Pilarit			
P1.1	6701655.806	24540118.518	43.051
P1.2	6701651.602	24540113.136	43.277
P2.1	6701647.877	24540124.582	42.771
P2.2	6701643.707	24540119.210	42.984