

IGNACE HAGUMIMANA

# BETONISILLAN LAADUNHALLINTA- JÄRJESTELMÄN UUDISTAMINEN – LÄHTÖTIETOSELVITYS

Betonisillan laaturaportti-laatimisohteen  
päivittäminen

Opinnäytetyö  
Rakennustekniikka

2017



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b> Ignace Hagumimana	<b>Tutkinto</b> Insinööri ( AMK)	<b>Aika</b> Toukokuu 2017
<b>Opinnäytetyön nimi</b> Betonisillan laadunhallintajärjestelmän uudistaminen – lähtötietoselvitys		72 sivua 4 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>  YIT Rakennus Oy		
<b>Ohjaaja</b> Lehtori Juha Karvonen & Sirpa Laakso Laatupäällikkö Jussi Laamanen Silta asiantuntija Markku Äijällä		
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tässä opinnäytetyössä tehtiin esiselvitys betonisillan laaturaportin laatimisohjeen uudistamista varten. Nykyinen sillan laaturaportin laatimisohje on kymmenen vuotta vanha eikä se enää ole täysin ajantasalla laaturaportin laadintaa varten. Opinnäytetyön tilaajana toimi YIT Rakennus Oy ja yhteiskumppanina Liikennevirasto.</p> <p>Opinnäytetyössä tehtiin pohjatutkimus, jossa haasteltiin eri silta-alan asiantuntijoita ja kysyttiin heiltä ehdotuksia siitä, mitä uuteen laatimisohjeeseen kannattaisi sisällyttää. Uuden laatimisohjeen pitäisi palvella entistä paremmin sillan rakentamiseen osallistuvia tahoja; tilaajaa ja erityisesti urakoitsijaa, joka tekee laaturaportin tehdystä rakennustyöstä. Tutkimusmenetelmänä käytettiin haastatteluita ja kirjallisuuskatsausta. Haastattelut tehtiin tammi-maaliskuussa 2017 ja niihin osallistui seitsemän silta-alan asiantuntijaa eri tahoilta, kuten sillan tilaajan ja urakoitsijoiden edustajia.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksina todettiin, että nykyinen laatimisohje on vanhentunut, eikä se myöskään ole yhteensopiva nykyisen tietotekniikan kanssa. Haastateltavien mukaan uuden laaturaportin laatimisohjeen tulisi olla sähköisessä muodossa eikä enää paperiversiona. Sähköisessä muodossa olevalla laaturaportilla voitaisiin laaturaporttien sisältöä hallita entistä paremmin. Laatupoikkeamille voitaisiin myös tehdä luokittelu niistä aiheutuvien riskien merkityksen perusteella. Luokittelua helpottaisi poikkeaman suuruuden ja laajuuden arviointia sekä parantaisi osapuolten välistä yhteistyötä ja työskentelyä. Laaturaportissa pitäisi myös kuvailla poikkeama entistä laajemmin ja löytää juurisyy poikkeaman syntymiselle.</p> <p>Nykyinen sillan laaturaportti koostuu kahdesta kansiosista. Kansio I kertoo sillan tärkeimmistä tietoista, jotka on säilytettävä sillan elinkaaren ajan ja Kansio II urakoitsijan laatimien sillan laatu- ja työvaihesuunnitelmista. Todettiin, että laaturaportti voisi koostua vain yhdestä kansiosista, koska se selkeyttäisi urakoitsijan laaturaportin tekemistä, tietohallintaa ja osapuolien tarkastusta.</p> <p>Tietomallin hyödyntämistä pitäisi tulevaisuudessa kehittää, ja haastatteluissa toivottiin, että rakenteesta laadittua tietomallia ei käytettäisi vain suunnitteluvaiheessa. Se edellyttää, että ohjelman tekijät kehittävät ohjelmistoa palvelemaan myös toteutusvaihetta.</p>		
<b>Asiasanat</b> Silta, betonisilta, laatu, laaturaportti, laatimisohje, raportointi		

Author (authors)	Degree	Time
Ignace Hagumimana	Bachelor of Engineering	May 2017
<b>Thesis Title</b>		
Renewal of quality management system of Concrete bridge-feasibility study		72 pages 4 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
YIT Rakennus Oy		
<b>Supervisor</b>		
Juha Karvonen % Sirpa Laakso, Senior Lecturers Jussi Laamanen, Site quality manager Markku Äijällä, Bridge Expert		
<b>Abstract</b>		
<p>This thesis is a feasibility study about the renewal of the current drafting instructions of the quality report. The objective of this study was to find out proposals about contents, structures and the form, which could be incorporated in the new drafting instructions. The present drafting instructions are ten years old and they no more give updated information to contractors in field on bridge construction. This work was ordered by YIT Rakennus Oy in cooperation with the Finnish Transport Agency.</p>		
<p>To achieve the objective, an interview with seven bridge experts were conducted and a small literary survey was done to support the interview result. The interviews took place in January – March 2017 and all parties such as clients, contractors and consultants were represented.</p>		
<p>The result on this work was mainly the urgent need of implementation of digital report. All interviewees suggested that the use on printed papers in quality reporting could be stopped, and instead an electronic one installed, which would facilitate the management of bridge quality reporting. A larger description on the deviation from the quality requirement could be done than before. Also, the study proposes a use of quality deviation scale, which is based on the deviation risk magnitude. The quality deviation grading can be a solution for the evaluation on quality report and improve cooperation between all parties much better than before.</p>		
<p>This study also found out that there is no more need of using two folders in bridge quality reporting, as current instructions advises. Adopting use of one folder facilitates reporting, data management and verification for all the contracting parties.</p>		
<p>The data model should be developed and taken into use in quality report elaboration. The data model is used more in structures design but their interface is still at a low level at field construction sites and specially in reporting.</p>		
<b>Keywords</b>		
Bridge, concrete bridge, quality, quality report, drawing up instructions, reporting		

## Kiitossanat

### Kiitokset:

- YIT Rakennus Oy:lle työharjoittelusta ja opinnäytetyön aiheen tarjoamisesta
- Liikennevirastolle yhteistyöstä
- Jussi Laamanen, Markku Äijälälle ja Juuso Kuusiselle ohjauksesta, neuvoista, kannustamisesta, haastatteluun osallistumisesta, haastateltavien yhteydenotoista sekä palaverien käytännön järjestelyistä jne.
- Jarmo Tommolalle asiantuntijuuden jakamisesta
- Perheelleni arkipäivien sujuvuudesta ja tuesta
- Ystäväilleni kannustamisesta
- Opiskelutovereille opiskeluelämän jakamisesta
- Kari-Matti Malmivaaralle opinnäytetyön aiheen selvittämisestä
- Haastateltaville haastattelututkimukseen osallistumisesta
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun opettajille ja erityisesti ohjaajille lehtori Juha Karvoselle ja Sirpa Laaksolle
- Sami Markkulalle korvaamattomasta avusta
- koko Suomelle laadukkaasta ja maksuttomasta koulutuksesta.

Tämän opinnäytetyön tekeminen oli hyvä tapa tutustua tarkemmin infrarakenteisiin ja erityisesti taitorakenteisiin, jotka olivat ennen tämän työn aloittamista melko vieraita minulle. Sain opinnäytetyötä tehdessä myös erityisesti laaturaportointia koskevaa tietoa, jota voin hyödyntää myös tulevaisuudessa. Työ antoi minulle myös mahdollisuuden rakentaa ammattiverkostoa. Paikanpäällä tehdyt haastattelut toimivat paitsi tiedonhankinnassa, mutta mahdollistivat myös verkostoitumisen infra-alan asiantuntijoiden kanssa.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin kohtuullisesti ja aikataulun mukaisesti, mikä johtui hyvästä yhteistyöstä YIT Rakennus Oy:n, Liikenneviraston ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulun kanssa. Haastattelututkimuksen kautta ymmärsin, että työelämässäkin tulee arvioida omaa toimintatapaa työn tekemisessä. Töiden suoritustapa muuttuu koko ajan teknologian kehittyessä ja työntekijän tulee sopeutua muutokseen, sillä samat työt voidaan tulevaisuudessa tehdä tehokkaammalla järjestelmällä ja vaikkapa lyhyemmässä ajassa. Sama periaate pätee myös laaturaportin tekemiseen sähköisessä muodossa.

Kotka 10.5.2017

Ignace Hagumimana

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	BETONISILTOJEN RAKENNUSMATERIAALIT .....	9
2.1	Rakennusmateriaalit yleisesti .....	10
2.2	Kiviainekset .....	12
2.3	Vesi.....	12
2.4	Sideaine.....	12
2.5	Betonimassa .....	14
2.5.1	Betonimassan tilaus betonivalmistajalta.....	16
2.5.2	Veden ja lisäaineiden lisäys työmaalla .....	23
2.5.3	Betonin muodonmuutoksien ja lämpötilan seuranta sekä valmis betonipinta.....	23
2.6	Betoniteräokset ja raudoitustyö .....	24
3	SILLAN OSIEN LAATUVAATIMUKSIEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	26
3.1	Sillan rakenneosat .....	26
3.2	Pohja- ja maarakennustyö .....	28
3.3	Muotti ja teline.....	29
3.4	Sillan peruslaatta .....	30
3.5	Sillan tukirakenteet .....	31
3.6	Sillan päällysrakenteet ja sillan kannen pintarakenteet.....	32
3.7	Betonisiltojen jännittäminen .....	34
3.8	Sillan varusteet ja laitteet.....	36
4	BETONISILTOJEN LAATUVARMISTUSMENETELMÄT TOTEUTUSVAIHEESSA...38	
4.1	Betonisiltojen laadunvalvonta .....	38
4.2	Työjohdon rooli laadunvalvonnassa.....	39
4.3	Osapuolten välinen yhteistyö .....	39
4.4	Tekninen työsuunnitelma .....	40
4.5	Työvaiheen laatusuunnitelma .....	41
4.6	Työturvallisuus.....	42
5	BETONISILLAN LAADUNHALLINTAJÄRJESTELMÄ- NYKYTILA.....	44
5.1	Tutkimusten tavoite.....	44
5.2	Tutkimusmenetelmä ja haastateltavien valinta .....	44
5.3	Tutkittavat aiheet .....	46

5.3.1	Laatukäsitteen tarkoitus haastateltavien mukaan.....	46
5.3.2	Urakoitsijan laaturaportti ja sen tarkoitus .....	47
5.3.3	Nykyinen sillan laaturaportin laatimisohjeen ajankohtaisuus.....	49
5.3.4	Laaturaportti suureessa infrahankkeessa .....	51
5.3.5	Poikkeamaraportti .....	53
5.3.6	Tietomallin hyödyntäminen laaturaportissa .....	57
5.4	Haastattelutuloksien analysointi.....	60
6	YHTEENVETO .....	63

## Liitteet

Liite 1. Haastattelukysymykset

Liite 2. Opinnäytetyön haastattelun toteutus

Liite 3: Betonisillan laatukansion rakenne

## Käsitteet ja lyhenteet

By	Betonyhdistys
By 47	Betonirakentamisen laatuohjeet
By 65	Betoninormit 2016
BY 50	Betoninormit 2012
By 201	Betonitekniikan oppikirja 2004
Infra	Infrastruktuuri
InfraRYL	Infrarakenteiden yleiset laatuvaatimukset
Normi (standardi)	Sääntö, ohje, malli tai esikuva
Ratu	Sisältää hyvän rakentamistavan mukaiset tutkimustietoihin perustuvat työmenetelmäkuvaukset
SFS-EN	Standardi, joka on voimassa Euroopassa ja Suomessa
SFS-EN 197-1	Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus
SFS-EN 206	Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus, ja vaatimustenmukaisuus
P-luku	Betonin pakkasenkestävyyttä ilmaiseva luku
NCCI2	Liikenneviraston julkaisema Eurokoodin soveltamisohje: Betonirakenteiden suunnittelu
VTT	Teknologian tutkimuskeskus

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tehdään esiselvitys betonisillan laaturaportti-laatimisohjeen uudistamista varten. Laaturaportti vaaditaan kaikissa Liikenneviraston teettämässä taitorakenteiden rakennusprojekteissa, ja sen avulla urakoitsija osoittaa tilaajalle, että rakenne täyttää sille asetetut laatuvaatimukset. Taitorakenteisiin kuuluvat muun muassa sillat, laiturit, tunnelit, padot, kallioleikkaukset, kanavat sekä tukimuurit.

Laaturaportin laatimisohje on Liikenneviraston julkaisema ohje, jonka mukaan sillan laaturaportti laaditaan. Sillan laaturaportti-laatimisohjeessa on ohjeita, joita sillan rakentajan on noudatettava, kun rakentamisvaiheessa laaditaan laatuun liittyviä raportteja. Raportit voivat olla esimerkiksi sillan toteumamittatietoja, betonointiin liittyviä dokumentteja, laatupoikkeamia ja muita raportteja. Laaturaportti toimitetaan tilaajalla ennen sillan käyttöönottoa sovitussa aikataulussa.

Nykyinen sillan laaturaportin laatimisohje on kymmenen vuotta vanha eikä se enää palvele hyvin urakoitsijan ja tilaajan tarpeita. Ohjetta on uudistettava, jotta se tukisi entisestään paremmin urakoitsijoiden ja tilaajan toiveita ja tulevaisuuden tarpeita. Liikenneviraston on tarkoitus julkaista uusi taitorakenteiden laaturaportti-laatimisohje, joka korvaa vanhan ohjeen. Uuden ohjeen sisältöä on tarkoitus päivittää ja kehittää, ja tätä varten opinnäytetyössä tehtiin esiselvitys uudistamistarpeista. Esiselvitys tehtiin haastattelemalla silta-alan asiantuntijoita, joilta kysyttiin laatuun ja laaturaportointiin liittyviä kysymyksiä. Tavoitteena oli haastatteluiden avulla kerätä ehdotuksia uuden ohjeen sisällöstä, rakenteesta ja muodosta, jotka voitaisiin sisällyttää uuteen laatimisohjeeseen. Haastateltujen asiantuntijoiden joukossa oli urakoitsijoiden edustajia, tilaajan edustajia sekä konsulttiyritysten edustajia. Uuden laatimisohjeen pitäisi palvella entistä paremmin sillan rakentamiseen osallistuvia, eli tilaajaa ja erityisesti urakoitsijaa, joka tekee laaturaportin tehostä työstä.

Työn tilaajana toimi YIT Rakennus Oy, jonka palveluksessa tämän opinnäytetyön tekijä oli työharjoittelussa kesällä 2016. Yhteistyökumppanina opinnäytetyön tekemisessä toimi Liikennevirasto.



## 2 BETONISILTOJEN RAKENNUSMATERIAALIT

Siltojen pääasiallisena rakennusmateriaalina käytetään raudoitettua betonia, josta valtaosa Suomessa ja maailmalla rakennettavista silloista tehdään. Sillat tehdään Suomessa pääasiassa paikan päällä rakentaen, jossa sillan perustus-, tuki- ja kansirakenteet valetaan paikan päällä betonista. Rakentamisessa käytetään valmisbetonia, joka toimitetaan valmiina siltatyömaalle betonitehtaalta. Valmisbetonia toimittaa Suomessa esimerkiksi Rudus ja Lakan betoni Oy. Betoni valmistetaan valmisbetoniasemilla, joissa valmistusprosessi on hyvin kontrolloitua ja betonimassasta saadaan tasalaatuista. Betonin lujuus, pak- kaskenkestävyys ja muut ominaisuudet voidaan määrittää tarkasti ja työmaalla on siten käytettävissä korkealuokkaista betonia. Tämä on tärkeää, jotta voidaan varmistua siitä, että betoni on suunnitelmien mukaista ja täyttää sille asetetut lujuusvaatimukset.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään pääasiassa valmisbetonimassan laadunhallintaa, sillä valmisbetoni on pääasiallinen rakennusmateriaali siltakohteissa. Betonin sekoittaminen siltatyömaalla on vähäistä, ja tällöin kyseessä on esimerkiksi vähäiset täyte- tai saumavalut. Betonitehtaan toimittama betonimassa on sekoitettu valmiiksi tehtaalla ja siihen on lisätty tarvittavat seos- ja lisäaineet, kuten notkistimet ja huokostimet. Opinnäytetyössä käsitellään myös betonissa käytettäviä raudoitusteräksiä sekä muottirakenteita.

Yleisimpiä siltoja Suomessa ovat tiesillat, vesistö sillat sekä rautatiesillat. Siltoja rakennetaan tarvittaessa myös ylittämään laaksoja tai laajoja katu- ja kaupunkialueita. Tällöin on kyseessä yleensä rautatie- tai metrosilta ja kyseiset sillat ovat useimmiten hyvin pitkiä. Sillat tehdään paikalla rakentaen betonista. Maailmalla enemmän käytetyt elementtisillat eivät ole yleistyneet Suomessa.

Suurin osa silloista on yksi- tai useampiauukkoisia palkkisilloja tai laattasiltoja. Jännevälit, eli siltojen tukien väliset etäisyydet, ovat yleensä alle 20 m. Betoniset palkkisillat jännitetään ja siten tukiväli voidaan valita suuremmaksi tarvittaessa jopa yli 50 m pitkiksi. Suurille jänneväleille ei kuitenkaan yleensä ole tarvetta Suomessa, sillä maanpinnan korkeuserot ovat vähäisiä ja ylitettävät vesistöt kapeita. Suomesta löytyy kuitenkin myös suurijännemittaisia siltoja ku-

ten esimerkiksi Raippaluodon silta Vaasan lähellä sekä Saimaan silta Puumalassa. Suurista betonisilloista voidaan mainita Tuusulassa sijaitseva Kytömaan rautatiesilta, joka on rakenteeltaan jännitetty teräsbetoninen jatkuva kaukalopalkkisilta.

Toinen päämateriaali siltojen rakentamisessa on teräs, jota käytetään etenkin pitkiä jännevälejä vaativissa siltakohteissa. Esimerkkinä voidaan mainita erilaiset vinoköysi- ja riippusillat sekä ristikkosillat. Silta voidaan toteuttaa myös liit-  
torakenteena, jossa sillan pääkannatinpalkit tehdään teräksestä ja kansirakenne betonista. Tällä rakenteella päästään pitkiin jänneväleihin, mutta samalla säästetään materiaaleissa.

## 2.1 Rakennusmateriaalit yleisesti

Rakennusmateriaalien laadulla ja laadunvalvonnalla on olennainen merkitys korkealuokkaisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Eri rakennusmateriaaleilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia, jotta valmis rakenne täyttää suunnitelman laatuvaatimukset. Tämä edellyttää sitä, että rakennusmateriaalien toimittajat, valmisbetonin toimittajat, työmaa, suunnittelijat ja tilaaja tekevät yhteistyötä koko rakennusprosessin ajan laadun varmistamiseksi. Mikäli tarvittava tieto ei välity osapuolten kesken tai jos tieto on virheellistä, voi laadun kokonaishallinta olla vaikea saavuttaa.

Betoni valmistetaan sekoittamalla kiviaineksesta, sementistä, seosaineista, lisäaineista ja vedestä massa, joka kovettuessaan muodostaa keinokiven kaltaisen lujan ja kestäväen materiaalin. Betonilla on hyvä puristuskestävyys mutta materiaali kestää huonosti taivutusrasitusta, minkä vuoksi käytännössä kaikki betonirakenteet raudoitetaan. Raudoitus ottaa vetorasitukset vastaan ja betoni vastaanottaa puristusrasitukset. Rakenteessa betonimassa liimaa raudoitustangot ja betonin yhteen ja syntyy kestävä ja hyvin kuormaa kantava rakenne. Suurin osa rakentamisessa käytettävästä betonista tehdään valmisbetonitehtaissa ja kuljetetaan betoniautolla työmaalle. Betonitehtailla on omat laadunhallintajärjestelmät, joiden avulla betonimassa laatua tarkkaillaan. Osa laadunhallintaa on myös tiivis yhteistyö betonin osa-ainesten toimittajien kanssa.

Betonin saapuessa työmaalle oletuksena on, että betonimassa täyttää sille asetetut vaatimukset muun muassa lujuuden, pakkasenkestävyyden sekä kloridirasituksen kestävyys suhteen. Myös esimerkiksi betonin notkeudelle sekä reaktionopeudelle on voitu asettaa vaatimuksia riippuen rakennuskohdeesta. Betoni voi olla myös itse tiivistävää IT-betonia.

Betoni tilataan työmaalle suunnitelmadokumenttien perusteella. Myös raudotusteräukset, jänneteräukset ja muut materiaalit, kuten rakenneteräukset, tilataan suunnitelman mukaisesti. Näiden materiaalien on täytettävä niille asetetut vaatimukset, jotta niitä voidaan käyttää rakentamisessa. Urakoitsijan on tarkistettava, että työmaalla käytetään oikeita rakennusmateriaaleja. Ympäristöministeriön mukaan rakennusmateriaali voidaan hyväksyä, jos se on todistettu oikeaksi materiaaliksi yhdellä seuraavista menetelmistä:

- Tyyppihyväksyntä
- Varmennustodistus
- Valmistuksen laadunvalvonta
- Rakennuspaikkakohtainen varmentaminen
- CE-merkintä
- Rakennustuotteita koskeva lainsäädäntö
- Maankäytön ja rakentamisen valmisteilla oleva lainsäädäntö
- Rakennustuotteiden tuotehyväksyntään kansallisia vaihtoehtoja (Ympäristöministeriö 2016)

Lisäksi Voimassa olevat käyttöselosteet on lueteltu vuosittain Betonikäsikirjassa ja Suomen betoniyhdistyksen kotisivulla [www.betoyhdistys.fi](http://www.betoyhdistys.fi) (By 50, 14).

Betonirakenteissa – etenkin silloissa – käytettävillä aineilla, osa-aineilla, tarvikkeilla ja menetelmillä tulee olla voimassa oleva ympäristöministeriön hyväksymä varmentava käyttöseloste, mikäli niiltä puuttuu CE-merkintä tai eurooppalainen tekninen arviointi. Varmentava käyttöseloste vaaditaan betonin lisäaineilta, erikoislaasteilta ja betoneilta, jänneteräksiltä, kuormia siirtäviltä metalliosilta ja nostoankkureilta, elementtien saumausaineilta, betoniterästankojen eritysjatkoksilta sekä betoniterästankojen erityisankkureilta (By 50, 14).

Betonin osa-aineiden tuottajien on valvottava osa-aineiden kelpoisuutta siten, että betonimassalle asetetut laatuvaatimukset täyttyvät.

## 2.2 Kiviainekset

Kiviaineksen osuus betonin osa-aineista on 65–80%. Tämä tarkoittaa siitä, että mikäli kiviaineksen laadusta ei huolehdita, niin suurella todennäköisyydellä myöskään betonimassan hyvää laatua ei saavuteta. Kiviaineksen on oltava neutraali betonin sekoituessa, eli kiviainekset eivät saa kemiallisesti osallistua sementin reaktioihin. Kiviaineksen on oltava lujaa, tiivistä ja sen rakeisuus määriteltyjen ominaisuuksien mukainen. Kiviaineksen muotoa, puhautta, kosteutta, tiheyttä, kulutuskestävyyttä, pakkasenkestävyyttä ja tilavuuden pysyvyyttä pitää seurata ja tutkia, jotta asetetut laatuvaatimukset saavutetaan. Kiviaineksessa ei saa olla haitallisia aineita, jotka voivat huonontaa betonia, kuten humusaineita, jotka voivat hidastaa tai vaikeuttaa betonin kovettumista. Kiviaineksen kosteus ja siihen absorboituneen veden määrä on tutkittava, ettei vesimäärä betonissa nouse liian suureksi. Kiviaineksen rakeisuuden ja raemuodon on myös oltava sallituissa rajoissa. (By 201, 31–37.)

## 2.3 Vesi

Betonissa käytettävän veden on oltava puhdasta. Vesijohtoverkosta otetun veden ja juomakelpoisen luonnonveden käyttö ovat hyväksytyä Suomessa. Veden sokeri-, kloridi- ja savipitoisuudet on kuitenkin testattava ja varmistettava, että niiden määrät eivät ole haitallisia betonille.

## 2.4 Sideaine

Sementti on betonin tärkein raaka-aine ja se toimii betonin sideaineena. Sementti reagoi veden kanssa ja kovettuu lujaksi ja kestäväksi materiaaliksi. Betoninormi B65:n mukaan, *sementti on hienoksi jauhettu epäorgaaninen materiaali, joka veden kanssa sekoitettaessa muodostaa pastan, joka sitoutuu ja kovettuu hydrataatioreaktion kautta ja joka kovettumisen jälkeen säilyttää lujuu- tensa ja pysyvyytensä myös veden alla.* (By 65, 28). Sementin pääraaka-aine on kalkkikivi ja sen valmistus tapahtuu kiertouunissa yli +1400 celsiusasteen lämpötilassa, jossa kalkkikivestä muodostuu sementtiklinkkeriä. Rakennussementit valmistetaan lisäämällä klinkkeriin seosaineita ja kipsiä. Suomessa sementtiä valmistaa Finnsementti, joka on ainoa sementin valmistaja Suomessa.

Sementin koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuuden ehdot määritellään standardissa SFS-EN 197-1. Sementin tulee olla varustettu CE-merkinnällä. Koostumukseltaan sementit jaetaan viiteen päälajiin, jotka ovat CEM I portlandsementti, CEM II portlandseossementti, CEM III masuunikuonasementti, CEM IV pozzolaaniseimentti ja CEM V seossementti. Sementit eroavat toisistaan niiden klinkkerin ja niissä käytettävien seosaineiden perusteella. Seosaineita ovat masuunikuona, silika, lentotuhka, kalkkikivi ja muut (By 201, 42–43.) Useat sementin seosaineista ovat teollisuuden sivutuotteita, jotka saadaan hyötykäyttöön sementin valmistuksessa.

Eri sementtilaatujen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa paljon seosaineiden avulla. Seosaineet vaikuttavat sekä betonimassan että kovettuneen kiven ominaisuuksiin. Sementin ominaisuuksia ovat sementin kemiallinen koostus, reaktio veden kanssa, sitoutuminen, lujuuden kehitys, hienous, kiinto- ja irtotiheys, lämmönkehitys, tilavuuden pysyvyys, kemiallinen kestävyys, väri, lämpötila ja säilyvyys (By 201, 50.) Rakennussementin puristuslujuus voidaan testata 2, 7 tai 28 vuorokauden jälkeen ja tuloksena on normaali varhaislujuus eli N tai korkea varhaislujuus eli R taulukon 1 mukaisesti (Finnsementti s.a).

Lujuusluokka	Puristuslujuus MPa			
	Varhaislujuus		Standardilujuus	
	2 vrk	7 vrk	28 vrk	
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10,0	-		
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20,0	-		
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-
52,5 R	≥ 30,0	-		

Taulukko 1: Standardilujuudelle ja varhaislujuudelle asetetut vaatimukset (Finnsementti s.a)

## 2.5 Betonimassa

Betonitekniikan oppikirjassa By 201 2004 betoni on kuvailtu seuraavalla tavalla: *Betoni on keinotekoinen kivi, jossa kovettunut sementtiliima eli sementtikivi sitoo kiviainesrakeet yhteen. Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja kiviainekset. Näiden lisäksi betonissa käytetään usein lisä- ja seosaine esim. tuoreen betonin työstettävyyden lisäämiseksi tai kovettuneen betonin tiivyyden, lujuuden ja säilyvyysominaisuuksien parantamiseksi.* ( By 201, 69).

Betonin tärkein ominaisuus on sen lujuusluokka, joka ilmaistaan lieriö- ja kuutiopuristuslujuuden suhteen. Betonin lujuus ilmoitetaan 28 vuorokauden ikäiselle betonille. Esimerkiksi betonin C35/45 lieriölujuus on 35 MPa (35MN/m<sup>2</sup>) ja kuutiolujuus 45 MPa (45MN/m<sup>2</sup>). Standardi EN-1992 rajoittaa siltojen suunnittelussa käytettävissä olevat betonin lujuusluokat välille C25/30...C70/85. Betonirakenteiden Eurokoodin mukaisessa mitoituksessa käytetään betonin lieriölujuuksia ( $f_{ck}$ ). (NCCI2, 9-11.)

Sillan suunnitelmapiirustuksissa esitetään betonin lujuusluokan yhteydessä myös rakenteen toteutusluokka, mahdollinen P-luku, rakenneosan tunnus, rasitusluokkaryhmä sekä betonipeitteen nimellispaksuus. Esimerkiksi betonin ”Ro22, R1, C35/45-3, P50, C<sub>nom</sub>=45 mm” rakenneosan tunnus on Ro22, rasitusluokkaryhmä on R1, lieriölujuus on 35 MPa, kuutiolujuus on 45 MPa, toteutusluokka on 3, P-luku on 50 ja betonipeitteen nimellispaksuus on 45 mm. Myös rasitusluokat (esim. XC4, XD3, XF4) esitetään yleensä piirustuksissa. Betonirakenteiden suunnittelu-NCCI2, 9-11.) Toteutusluokka valitaan seuraamusluokkien (CC1, CC2 ja CC3) perusteella. Siltasuunnittelussa käytetään toteutusluokkia 2 tai 3 riippuen rakenteesta. Valittu toteutusluokka vaikuttaa muun muassa betonin ja raudoitusteräksen materiaalivarmuuskertoimiin, joita käytetään rakenteiden mitoituksessa.

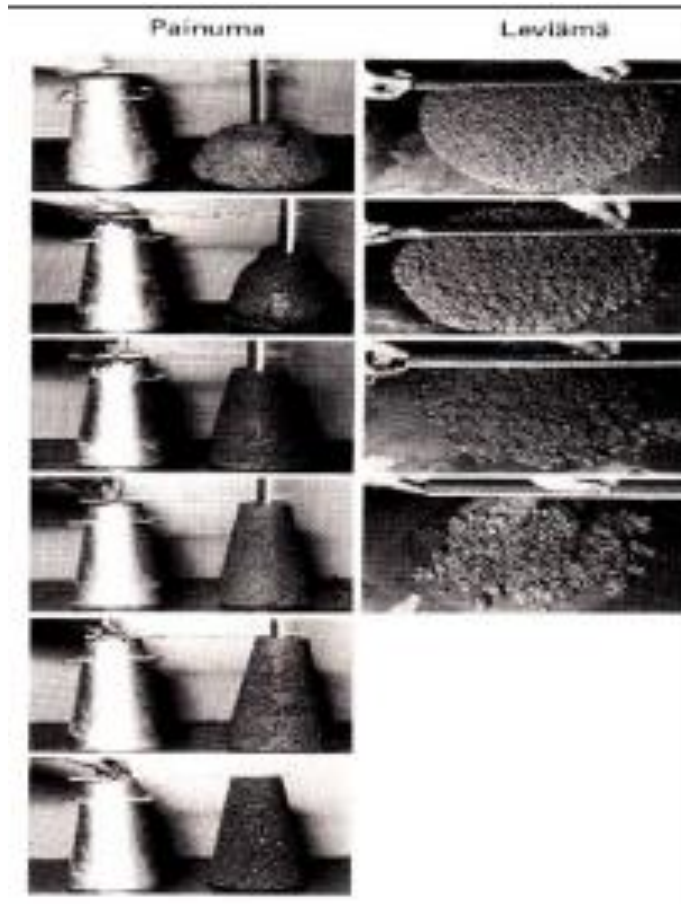
Betonin P-luku ilmaisee betonin pakkasenkestävyyden. Siltarakenteissa käytetään pakkasluokkia P20, P30, P50 ja P70. Betonin pakkasenkestävyys on sitä parempi mitä suurempi P-luku on. Pakkasenkestävää (P-lukubetonia) valmistetaan lisäämällä betonimassaan huokostinta, joka on lisäaine. (Liikennevirasto 2016)

Rasitusluokkaryhmä (R1, R2, R3 tai R4) sekä rasitusluokat (esim. XC4, XD3, XF4) valitaan aina kohdekohtaisesti rakennuspaikalla vallitsevien ympäristöolosuhteiden mukaan. Siltojen betonirakenteissa käytettävät rasitusluokkaryhmät ja rasitusluokat on esitetty Liikenneviraston sovellusohjeessa NCCI2 taulukoissa 4.1 ja 4.2. Rasitusluokat määräävät muun muassa rakenteessa käytettävän betonin vähimmäislujuusluokan sekä suojabetonipeitteen nimellisarvon ( $C_{nim}$  tai  $C_{nom}$ ) paksuuden. Valittu rasitusluokka antaa myös valmisbetonitehtaalle tiedon siitä, mitä lisäaineita betoniin tulee laittaa. Mikäli siltapaikalla on esimerkiksi liikenteen aiheuttamaa suolasumurasitusta, muuta kloridirastitusta tai sulamis-jäätymisrasitusta, tulee betonin lisäaineet valita sen mukaan. NCCI2-ovellusohjeessa taulukoissa 4.1 ja 4.2 on esitetty myös eri siltarakenteiden P-lukuvaatimukset. (NCCI2, 26–30.)

Muilla betonin lisäaineilla, kuten notkistimilla ja hidastimilla voidaan vaikuttaa muun muassa betonimassan valunaikaiseen työstettävyyteen sekä kovettumisreaktion alkamisajankohtaan.

Sekä tuoreelta betonimassalta että kovettuneelta betonilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia, jotta suunnitellun rakenneluokan laatuvaatimukset täytyvät. Tuoreen betonimassan ominaisuuksiin kuuluvat esimerkiksi notkeus, ilmapitoisuus, koossapysyvyys ja työstettävyys. Edellä mainitut ominaisuudet on otettava huomioon betonimassan valmistuksessa, jotta betonointi onnistuisi työmaalla sujuvasti. Kovettuneen betonin ominaisuuksiin kuuluu muun muassa betonin lujuus, pakkasenkestävyys, kulutuskestävyys, vesitiiveys, kutistuminen, korroosionkestävyys ja lämmönkehitys. (Rakennusmestarit ja –insinöörit AMK RKL, 2010.)

Betonimassalla on erilaisia ominaisuuksia. Tärkein ominaisuus on betonimassan työstettävyys, joka määrittää miten helposti betonointityö voidaan suorittaa. Jos betonimassan notkeus ei ole riittävä eli se on liian jäykkää, sen pumpaus, työstettävyys ja tiivistettävyys hankaloituvat. Betonimassan notkeuden tulisikin olla sopiva, jotta betonointityö ei vaikeutuisi. Betonimassa luokitellaan sen notkeuden perusteella. Luokat ovat nestemäinen, vetelä, notkea, plastinen, jäykkä, hyvin jäykkä, maakostea ja puristustärytettävä. Notkeus mitataan esim. painumakokeella tai leviämänä. (By 201, 71.)



Kuva 1: Betonin notkeuden testaamista painumakokeella sekä leviämäkokeella (By 201, 71).

Painumaluokat (EN 206)		Vebe-luokat		Leviämäluokat	
Luokka	Painuma [mm]	Luokka	Vebe-aika [s]	Luokka	Leviämä [mm]
S1	10...40	V0 <sup>1)</sup>	≥ 31	F1 <sup>1)</sup>	≤ 340
S2	50...90	V1	30...21	F2	350...410
S3	100...150	V2	20...11	F3	420...480
S4	160...210	V3	10...6	F4	490...550
S5 <sup>1)</sup>	≥ 220	V4 <sup>1)</sup>	5...3	F5	560...620
				F6 <sup>1)</sup>	≥ 630

<sup>1)</sup> Koska liettyjen notkeusarvojen ulkopuolella testausmenetelmät eivät ole tarkkoja.

Taulukko 2: Tavanomaisten betonimassojen notkeusluokat (Tiehallinto 2007)

### 2.5.1 Betonimassan tilaus betonivalmistajalta

Betonisiltojen rakennusprojekteissa betonimassa tilataan pääasiassa valmisbetonina betonitehtaalta. Tilauksen tekee yleensä siltatyömaan työjohdon henkilö, kuten työmaainsinööri tai rakennusmestari tai joku muu työmaajohdon henkilö. Ennen betonimassan tilausta pitää suunnitelmista tarkistaa betonoita-



vavalta rakenteelta vaaditut ominaisuudet, kuten muun muassa betonin lujuusluokka, maksimiraekoko, rasisluokat, pakkasluokka (P-luku) ja toimitettava ne betonin valmistajalle. Seuraavassa luettelossa on lueteltu ilmoitettavia asioita betonivalmistajalle:

- Betonin lujuusluokka ja muut suunnitelmissa esitetyt ominaisuudet
- Betonimäärä
- Mikä betonointimenetelmä työmaalla on käytössä, mahdolliset kalustot
- Arviointi työmaan toiminnasta betonointityössä sekä ilmoittaa betonointiin osallistuvat henkilömäärä ja betonityöjohtaja
- Työkohteen laajuus, muoto, etäisyydet ja korkeussuhteet
- Aikataulukus, jotta ei tule töiden päällekkäisyyksiä
- Betonointinopeus
- Betonointikaluston (betoniauto ja pumppuauto) sijoituspaikat ja maan kantavuus
- Pumppuautolta vaadittu ulottuvuus betonoitavaan rakenteeseen
- Olosuhteiden seurantatiedot eli säätiedot betonoinnin päivänä

Kun betoni saapuu työmaalle, on työmaan työnjohdon tarkistettava, että betoni on oikeaa. Toimitushetkellä betoni varustetaan kuormakirjalla (rahtikirja), johon on painettu, leimattu tai kirjoitettu betonin tiedot, kuten lujuusluokka, toimituksen määrä, lisäaineet sekä muut tiedot betonierästä. Tämä kuormakirja tarkistetaan betonierän vastaanoton yhteydessä ja siitä tarkistetaan, että betoni on tilauksen mukaista. Tarkistus on osa työmaan laadunvalvontaa. Kuormakirjassa tulee olla merkittynä vähintään seuraavat tiedot:

- Valmisbetoniaseman nimi, kuormakirjan sarjanumero
- Kuormauksen päivämäärä ja kellonaika, joka on ensimmäinen ajankohta, jolloin vesi ja sementti sekoittuivat toisiinsa
- Auton numero tai ajoneuvon tunnistus
- Ostajan nimi
- Työmaan nimi ja sijainti
- Betonin määrä kuutiometreinä
- Yksityiskohtaiset määrittelyt tai viittaukset määrittelyihin, esimerkiksi koodi ja tilausnumero
- Vaatimustenmukaisuus vaikutus, joka sisältää viittauksen määrittelyihin

- Tarvittaessa varmennuselimen nimi tai tunnusmerkki
- Betonin saapumisen, purkamisen aloituksen ja päättymisen kellonaika

Lisäksi kuormakirjan pitää sisältää seuraavat yksityiskohdat (SFS EN-206, 45)

- Lujuusluokka, rasitusluokka, kloridipitoisuusluokka
- Notkeusluokka tai sen tavoitearvo
- Betonin koostumuksen raja-arvot, jos ne sisältyvät betonin määrittelyyn
- Lisäaineen ja seosaineen tyyppi, jos ne sisältyvät betonin määrittelyyn
- Vaadittaessa mahdolliset erityisominaisuudet
- Kiviaineksen ylänimellisraja
- Kevyt- ja raskasbetonille tiheys tai tavoitetiheys

Yllä luetelluista betonimassaan vaikuttavista tekijöistä on keskusteltava ja sovittava betonin valmistajan kanssa, jotta voidaan noudattaa betonisiltaan suunniteltuja materiaaliominaisuuksia. Yhteistyö rakennesuunnittelijan, työmaan ja valmisbetonin toimittajan kesken on oltava selkeää. Sitä kautta voidaan noudattaa betonisillalle asetettuja laatuvaatimuksia ja rakennustyö voidaan toteuttaa yhteisymmärryksellä, mikä vähentää haitallisten riskien mahdollisuutta.

Valmisbetonin toimittaja tarvitsee työmaalta ja rakennesuunnittelijalta tiedot rakenteen ominaisuuksista. Näiden ominaisuuksien ja yhteisten päätösten perusteella valitaan oikea betonityyppi, valettavan kohteen valmistelut, valmisbetonin toimitusaika ja siihen muut liittyvät seikat kuten työmaan valuaika, maan kantavuus, betonin kuljetus ja siirto ja muut betonointiin vaikuttavat seikat. (Betonityypit ja oikean betonin valinta s.a.)

Jotta betonisillan asetetut laatuvaatimukset täyttyisivät, valmisbetonin toimittajan on täytettävä oma osuutensa kokonaislaatuun tarjoamalla laadukasta betonia, joka on valmistettu tarkoituksenmukaisen valmistuslaitteiston avulla ja oikeista osa-aineista. Laitteiston, valmistusmenetelmien ja betonien osa-aineiden valvonnan on oltava jatkuvaa. Seuraaviin kahteen taulukoon on koottu betonin valmistuslaitteistojen sekä valmistusmenetelmien ja betonin ominaisuuksien valvonnassa seurattavia asioita. Taulukoista selviää myös tarkastusten/testausten toteutustavat, valvonnan tarkoitus sekä tarkastusten/testausten suorittamisien vähimmäistiheydet.

	Laitteet	Tarkastus/testaus	Tarkoitus	Vähimmäistiheys
1	Varastokasat, säiliöt jne.	Silmämääräinen tarkastus	Varmistaa vaatimustenmukaisuus	Kerran viikossa
2	Punnituslaite	Toiminnan silmämääräinen tarkastus	Varmistaa, että punnituslaite on puhdas ja toimii oikein	Päivittäin
3		Punnitustarkkuuden testaus	Varmistaa kohdan 9.6.2.2 mukainen tarkkuus	Asennettaessa Betonin käyttöpaikalla voimassa olevien sääntöjen mukaisesti määräajoin <sup>a)</sup> Jos on aihetta epäilyyn
4	Lisäaineiden annostelulaite (myös ne, jotka on asennettu kiinteästi autosekoittimeen)	Toiminnan silmämääräinen tarkastus	Varmistaa, että mittauslaite on puhdas ja toimii oikein	Jokaisen lisäaineen ensimmäisenä käyttöpäivänä
5		Mittauslaitteen testaus ja annostelumäärän varmistus	Varmistaa kohdan 9.6.2.2 mukaisten vaatimusten täyttyminen	Asennettaessa Määräajoin <sup>a)</sup> asennuksen jälkeen Jos on aihetta epäilyyn
6	Vesimittari ja autosekoittimeen asennettu veden annostelulaite	Mittauslaitteen testaus	Varmistaa kohdan 9.6.2.2 mukaisten vaatimusten täyttyminen	Asennettaessa Määräajoin <sup>a)</sup> asennuksen jälkeen Jos on aihetta epäilyyn
7	Kiviainesten vesimäärän jatkuvaa mittausta suorittava laite	Todellisen määrän vertaaminen mittarin lukemaan	Varmistaa oikeat arvot	Asennettaessa Määräajoin <sup>a)</sup> asennuksen jälkeen Jos on aihetta epäilyyn
8	Annostelujärjestelmä	Silmämääräinen tarkastus	Varmistaa, että annostelulaitteisto toimii oikein	Päivittäin
9		Annoksen osa-aineiden todellisen määrän vertaaminen tavoitemääriin; jos annostelutiedot tallennetaan atk:lle, vertaaminen tallennettuihin tietoihin. (Vertailu suoritetaan sopivalla tavalla, joka riippuu annostelumenetelmästä)	Varmistaa kohdan 9.7 mukaisten vaatimusten täyttyminen	Asennettaessa Jos on aihetta epäilyyn Määräajoin <sup>a)</sup> asennuksen jälkeen
10	Testauslaitteet	Kalibrointi ao. kansallisen tai EN-standardien mukaisesti	Tarkistaa vaatimustenmukaisuus	Määräajoin <sup>a)</sup> Lujuuden testauslaitteelle vähintään kerran vuodessa
11	Sekoittimet (myös autosekoittimet)	Silmämääräinen tarkastus	Tarkistaa sekoituslaitteen kuluminen	Määräajoin <sup>a)</sup>

<sup>a)</sup> Testaus/tarkastustiheys riippuu laitteen tyypistä ja herkkyydestä sekä tehtaan valmistusolosuhteista.

Taulukko 3: Betonin valmistuslaitteiden valvontataulukko  
(SFS-EN 206, 63)

	Testaus	Tarkastus/testaus	Tarkoitus	Vähimmäistiheys
1	Ominaisuuksien mukaisen betonin ominaisuudet	Alkutesti (ks. liite A)	Saada näyttö siitä, että ehdotetulla koostumuksella saavutetaan määrittelyn mukaiset ominaisuudet riittävällä marginaalilla	Ennen uuden betonin koostumuksen käyttöönottoa
2	Hienojen kiviainesten vesimäärä	Jatkuva mittaus, kuivaustesti tai vastaava	Määrittää kiviaineksen kuivapaino ja lisättävän veden määrä	Jos ei mitata jatkuvasti, testataan päivittäin. Paikallisista olosuhteista ja sääolosuhteista riippuen voidaan vaatia tätä tiheämpää tai harvempaa testausta
3	Karkeiden kiviainesten vesimäärä	Kuivaustesti tai vastaava	Määrittää kiviaineksen kuivapaino ja lisättävän veden määrä	Paikallisista olosuhteista ja sääolosuhteista riippuen
4	Betonimassan vesimäärä	Lisätyn veden määrän tarkistus <sup>b)</sup>	Saada tietoja vesi-sementtisuhteen määrittämistä varten	Jokaisesta annoksesta tai kuormasta
5	Betonin kloridipitoisuus	Alkuteistus laskemalla	Varmistaa, ettei suurinta sallittua kloridipitoisuutta ylitetä	Alkutestauksessa Jos osa-aineiden kloridipitoisuus on lisääntynyt
6	Notkeus	Silmämääräinen tarkastus	Verrata normaaliin ulkonäköön	Jokaisesta annoksesta tai kuormasta
7		Standardin EN 12350-2, EN 12350-4 tai EN 12350-5 mukainen notkeuden määrittäminen	Arvioida, onko määritellyt notkeusarvot saavutettu ja tarkistaa esim. mahdolliset vesimäärän muutokset	Kun notkeus on määritetty, kuten puristuslujuutta koskevassa taulukossa 17 Kun testataan ilmamäärä Jos silmämääräinen tarkastus aiheuttaa epäilyä
8		Standardin EN 12350-8 mukainen notkeuden määrittäminen		Vähintään kerran päivässä Kun testataan puristuslujuus (sama testaustiheys) Kun testataan ilmamäärä Jos silmämääräinen tarkastus aiheuttaa epäilyä
9	Betonin viskositeetti	EN 12350-8 tai EN 12350-9	Arvioida, onko ilmoitetut notkeusarvot saavutettu	Alkutestauksessa
10	Läpäisykyky	EN 12350-10 tai EN 12350-12		Ennen uuden betonin koostumuksen käyttöönottoa
11	Erottumiskestävyys	EN 12350-11		Jos osa-aineissa on muutoksia Jos silmämääräinen tarkastus tai painuma-leviämätesti aiheuttaa epäilyä
12	Betonimassan tiheys	Standardin EN 12350-6 mukainen tiheyden määrittäminen	Kontrolloida kevytbetonin ja raskasbetonin annostelun ja tiheyden määrittämisen valvontaa	Päivittäin
13	Betonimassan sementtimäärä	Annostellun <sup>b)</sup> sementin massan tarkistaminen	Tarkistaa sementtimäärä ja saada tietoja vesi-sementtisuhteen määrittämistä varten	Jokaisesta annoksesta tai kuormasta

(jatkuu)

	Testaus	Tarkastus/testaus	Tarkoitus	Vähimmäistiheys
14	Betonimassan seosainemäärä	Annosteltujen <sup>b)</sup> seosaineiden massan tarkistaminen	Tarkistaa seosainemäärä ja saada tietoja vesi-sementtisuhteen määrittystä varten (ks. kohta 5.4.2)	Jokaisesta annoksesta tai kuormasta
15	Betonimassan lisäainemäärä	Annosteltujen <sup>b)</sup> lisäaineiden massan tai tilavuuden tarkistaminen	Tarkistaa lisäainemäärä	Jokaisesta annoksesta tai kuormasta
16	Betonimassan vesi-sementtisuhte	Laskemalla tai testaamalla, ks. kohta 5.4.2	Arvioida, onko määritelty vesi-sementtisuhte saavutettu	Päivittäin, jos se sisältyy betonin määrittelyyn
17	Betonimassan ilmamäärä, jos se sisältyy betonin määrittelyyn	Standardin EN 12350-7 mukainen testaus normaalipainoiselle betonille ja raskasbetonille  Standardin ASTM C 173 mukainen testaus kevytbetonille	Arvioida, onko määritelty huokosilmamäärä saavutettu	Huokosilmaa sisältävälle betonille jokaisen tuotantopäivän ensimmäisestä annoksesta tai kuormasta, kunnes arvot vakiintuvat
18	Betonimassan lämpötila	Lämpötilan mittaaminen	Arvioida, onko saavutettu alin sallittu lämpötila 5 °C tai määritelty raja-arvo	Jos on aihetta epäilyyn Silloin kun lämpötila on määritelty: — määrääjain tilanteen mukaan — jokaisesta annoksesta tai kuormasta, jos betonin lämpötila on lähellä raja-arvoa
19	Kovettuneen kevytbetonin tai raskasbetonin tiheys	Standardin EN 12390-7 <sup>a)</sup> mukainen testaus	Arvioida, onko määritelty tiheys saavutettu	Silloin kun tiheys on määritelty, yhtä usein kuin puristuslujuuden määrittäminen
20	Puristuslujuuden määrittäminen valetuista koekappaleista	Standardin EN 12390-3 mukainen testaus	Arvioida, onko määritelty lujuus saavutettu	Silloin kun puristuslujuus on määritelty, yhtä usein kuin vaatimustenmukaisuuden valvonnassa, ks. kohdat 8.1 ja 8.2.1
<sup>a)</sup> Voidaan testata myös vedellä kyllästetyssä tilassa, jos tunnetaan luotettavasti tulosten ja uunikuivan tilan tiheyden välinen riippuvuus. <sup>b)</sup> Jos käytössä ei ole automaattista tallennusjärjestelmää ja annoksen tai kuorman annostelun sallitut poikkeamat ylittyvät, valmistustietoihin kirjataan annosteltu määrä.				

Taulukko 4: Betonin valmistusmenetelmien ja betonin osa-aineiden valvontalomake (SFS-EN 206, 63-64)

Betonitehdas tilaa eri materiaalityyppijäliltä betonin valmistuksessa käytettävät osa-ainekset. Betonin osa-aineksia ovat sementti, kiviaines, seosaineet, lisäaineet sekä vesi. Kaikkien materiaalien hyvällä laadulla on merkitystä betonin valmistuksessa, mutta suurin merkitys on sementin, seosaineiden ja lisäaineiden ominaisuuksilla, sillä ne reagoivat keskenään. Sementin, seosaineiden ja lisäaineiden betonikohtainen annostus määrittää betonin ominaisuuksia, kuten betonin lujuuden, pakkasenkestävyyden, kestävyyskloridirasitusta vastaan,

notkeuden ja muut ominaisuudet. Erilaisilla aineiden yhdistelmillä voidaan valmistaa erilaisia ja eri lujuusluokan betonilaatuja. Betonitehtaalla valvotaan näitä ominaisuuksia laadunvalvonnan avulla. Betonitehdas tekee myös tiivistä yhteistyötä materiaalitoimittajiensa kanssa. Tämä yhteistyö on tärkeää, jotta betonin valmistaja voi varmistaa, että betonissa käytettävä seos- tai lisäaine sopii ominaisuuksiltaan betoniin ja että valmis betoni täyttää sille asetetut vaatimukset.

Tätä opinnäytetyötä tehdessä Suomessa eri rakennustyömailla on kohdattu betonin lujuuteen liittyviä ongelmia, jotka ovat johtaneet valmiiden rakenteiden purkamiseen. Kemijärvelle kesällä 2016 valmistunut ratasilta jouduttiin purkamaan betonin riittämättömän lujuuden vuoksi ja alkutalvesta 2016 Turun yliopistollisen keskussairaalan työmaalla jouduttiin purkamaan ja rakentamaan uudelleen valmiita betonikannen tukirakenteita. Myös keskussairaalan rakenteissa havaittiin puutteita betonin lujuudessa. Molemmista rakennuskohteista otetuissa koekappaleissa havaittiin, että betonin puristuslujuus ei ollut riittävä eli se ei vastannut suunniteltua lujuutta. Syyksi betonin heikkoon lujuuteen on epäilty liiallista ilmamäärää betonimassassa, joka on tehnyt kovettuneesta betonista liian huokoista. Betonin huokoisuus on tavoiteltu ominaisuus, kun betonista halutaan pakkasenkestävää, mutta liiallinen huokoisuus vähentää huomattavasti betonin lujuutta. Pakkasenkestävää betonia valmistetaan lisäämällä betonimassaan huokostinta, joka on lisäaine. Annostus on tarkkaa ja se suoritetaan betonitehtaalla. Esimerkiksi lisäaineen liiallinen annostus tai vääränlainen huokostin-lisäaine ovat saattaneet aiheuttaa lujuusongelman. Ongelman syynä on saattanut olla myös jokin betonimassan kuljetukseen tai betonointiin liittyvä asia, häiriö työmaalla tai monen asian yhteisvaikutus. Joka tapauksessa valvonta on jossain toteutuksen vaiheessa kohteessa tai materiaalityömailla ollut puutteellista, mikä on johtanut ilmiön esiintymiseen.

Ongelman korjaamiseksi betonivalmistajien ja lisäaineiden toimittajien sekä muiden tahojen pitäisi lisätä tutkimuksia betonin osa-ainesten reagoimisesta keskenään, jotta betonin laatuongelma voitaisiin ratkaista. Tämän lisäksi olisi tutkittava, onko betonimassan valmistuksessa, kuljetuksessa tai betonoinnissa jokin puutteellinen prosessi joka on vaikuttanut ongelman syntymiseen.

### 2.5.2 Veden ja lisäaineiden lisäys työmaalla

Veden tai lisäaineen lisäys betonimassaan on yleensä kiellettyä betonin toimintushetkellä. Mikäli tähän on tarvetta, niin lisäyksen saa suorittaa vain valmisbetonin toimittaja. Veden tai lisäaineen lisäys tehdään vain erikoistapauksissa, kun halutaan parantaa betonin notkeutta tai saada notkeus määritellyn mukaiseksi. Lisäyksen kokonaismäärä ei kuitenkaan saa ylittää raja-arvoja.

### 2.5.3 Betonin muodonmuutoksien ja lämpötilan seuranta sekä valmis betonipinta

Betonimassan valun ja kovettumisen aikana on seurattava betonin muodonmuutoksia. Monitoroitavia muodonmuutoksia ovat painumaerot, halkeilu, siirtymät, jänteiden jännityksestä aiheutuvat kutistumat sekä vaaka, että pysty-assennoissa, saumaus sekä viruminen. Muodonmuutoksien pitää olla suunnitelman mukaisissa sallituissa rajoissa. Jos betonin muodonmuutokset eivät pysy sallituissa rajoissa, on työmaan ilmoitettava sekä tilaajalle että rakennesuunnittelijoille poikkeavuudesta laadunvaatimuksista. Poikkeavuus käsitellään aina erikseen ja selvitetään onko poikkeaman suuruusluokka sellainen, että se vaatii toimenpiteitä. (By 47,90.)

Betonimassan lämpötilan seuranta on tärkeää koko valun ajan. Betonimassan maksimilämpötilan mittaaminen on tärkeää kaikkina vuodenaikoina, sillä etenkin paksuissa betoniseinissä lämpötila saattaa nousta yli sallitun lämpötilarajan, kun valu tehdään lämpimällä tai kuumalla ilmalla. Betoni itsessään kehittää lämpöä kovettumisreaktion aikana ja lämpötila voi nousta hyvinkin korkeaksi. Talvella betonoitaessa lämpötilamittauksen päätarkoitus on varmistaa, että betonimassan lämpötila on riittävän korkea koko betonin kovettumisreaktion ajan, jotta betonin lujuus saavutetaan. Talvibetonoinnissa käytetään betoniin asetettavia lämmityskaapeleita sekä lämmitettäviä muotteja. Tärkeää on mitata myös betonivaluun liittyvien kylmien pintojen lämpötiloja.

Paikallavaletun betonipinnan ulkonäköön vaikuttavat muun muassa betonimassan koostumus, muotin materiaali, kunto, betonin kosteus, käytetty muottitekniikka, muotin irrotusaineet, valutekniikka, tärytystekniikka, kovettumislämpötila, jälkihoito sekä pinnan kuivuminen. (By 47, 96).

## 2.6 Betoniteräkset ja raudoitustyö

Betonirakenteissa käytetään betoniteräksiä vastaanottamaan vetojännityksiä, mutta ottamaan vastaan myös puristusrasituksia. Betonilla on korkea puristuslujuus mutta se kestää vain heikosti taivutuksesta aiheutuvaa vetorasitusta. Betoniteräksiä (raudoitusteräksiä, harjateräksiä) käytetään vastaanottamaan nämä vetorasitukset, jolloin rakenteesta tulee kestävä ja hyvin kuormaa kantava. Betoniteräksillä on suuri veto- ja puristuslujuus, jonka ansiosta betonirakenteiden kokoa voidaan optimoida hyvinkin pitkälle. Betoniteräksen laatu merkitään aina suunnitelmapiirustuksiin. Yleisimmin käytetyt teräslaadut ovat A500HW sekä B500B. Teräslaatu merkitään aina suunnitelmapiirustuksiin sekä mahdollisiin raudoitusluetteluihin. Urakoitsijan tulee aina tilata suunnitelmissa merkittyä harjateräslaata työmaalle, joiden valmistuksessa noudatetaan SFS-standarttien ja tyyppihyväksynnän ohjeita ja määräyksiä. Betoniteräksien ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä on paljon mutta niistä tärkeimmät ovat niiden koostumus ja rakenne. Betoniteräksien laadunvalvonnassa valmistajan on suoritettava betoniteräksille erilaisia kokeita kuten vetokoe, taivutus-koe, kemiallinen analyysi, koon ja painon määrittäminen sekä harjojen ja kuvioiden mittaaminen. (By 201, 266.)

Työmaalta voidaan vaatia lisävarmistusta terästen kelpoisuudesta, mikäli niissä havaitaan puutteita, vikoja ja muita haitallisia seikkoja kuten esimerkiksi hilseilevää ruostetta, pinnan epäpuhtauksia, tavallista pienempiä harjoja tai kuvioita, mutkia ja taitteita. (By 201, 267.)

Raudoitustyössä on noudatettava raudoitussuunnitelmassa esitettyjä tankojen halkaisijoita, lukumääriä, pituuksia, taivutussäteitä ja taivutuksien mittoja, sijoituspaikokkoja rakenteessa, betonipeitteen paksuuksia, jatkospituuksia ja niiden sijainteja, ankkurointipituuksia ja muita suunnitelmissa esitettyjä tietoja. (By 201, 268).

Raudoitustyö voidaan luokitella vaaralliseksi työksi, joten työntekijöiden pätevyys ja kokemus on arvioitava ennen työn aloittamista ja uusien työntekijöiden perehdytys tulee olla suoritettuna. Raudoitusterästen katkaisua, hitsausta ja taivutusta varten työntekijöille on hankittava tarvittavat työkoneet sekä suojavaatteet ja suojavarusteet. Betoniterästen asennuksessa tapaturmia tai loukkaantumisia voivat aiheuttaa seuraavat tekijät:



- Esiinpistävät sidelangat ja pystytartuntatangot
- Telineiden tai muottien ylikuormitus
- Kumartelu raudoituksen asennuksessa
- Liian raskaiden taakkojen kantaminen
- Raudoitusterästen nostoon liittyvät riskitekijät
- Putoaminen ja liukastuminen

Ennen betonoinnin aloittamista tehdään raudoitustarkastus rakenteelle, joka on valmiiksi raudoitettu. Siltatyömailla raudoitustarkastus tehdään poikkeuksesta aina kaikille rakenteille kuten perustuksille, väli- ja tukirakenteille sekä kansirakenteelle. Raudoitustarkastuksen voi tehdä esimerkiksi rakennesuunnittelija tai kunnan rakennusvalvontaviranomainen, riippuen siitä mitä on sovittu. Tarkastuksessa on yleensä läsnä tarkastajan lisäksi yksi tai useampi seuraavista henkilöistä: työmaapäällikkö, betonityönjohtaja sekä raudoitus-työnjohtaja. Tarkastuksessa käydään läpi rakenteen raudoitus ja varmistetaan, että raudoitus vastaa kaikilta osiltaan suunnitelmaa. Myös raudoituksen tuenta, sidonta ja kokonaistukevuus tarkastetaan, jotta raudoitus kestää valusta aiheuttavat kuormitukset. Tarkastuksessa käytetään apuna suunnitelma-piirustuksia sekä tarkastuslistaa, johon kuitataan tarkastetut asiat. Tarkastuksesta tehdään tarkastuspöytäkirja, jonka allekirjoittavat sekä tarkastaja että työmaapäällikkö. Mikäli raudoituksessa havaitaan puutteita, niistä pitää tehdä merkintä pöytäkirjaan ja sopia ajankohta uudelle tarkastukselle. Helposti korjattavat virheet voidaan korjata myös tarkastuksen yhteydessä. Raudoitustarkastus on välttämätöntä suorittaa, sillä raudoituksessa tehdyt virheet eivät näy päällepäin valmiissa rakenteessa eikä niitä siten voi korjata jälkeenpäin. (By 201, 284).

Jotta betonirakenteen suunniteltu käyttöikä voidaan saavuttaa, betonipeitteen paksuus ei saa missään kohdassa alittaa suunnitelmissa esitettyä betonipeitteen paksuutta, koska liian ohut betonipeite altistaa raudoitusteräkselle korroosiolle. Betonipeitteen paksuus antaa betoniteräksille fysikaalisen ja kemiallisen suojauksen. (By 201, 97.)

Fysikaalinen suojaus perustuu siihen, että hapen ja veden tunkeutuminen betoniin ja betoniteräksiin asti vie sitä pidemmän aikaa, mitä kauempana betonin ulkopinnasta mitattuna raudoitustangot sijaitsevat. Betonin tiiveydellä on myös suuri merkitys betonin suojaavaan ominaisuuteen. Kun betonin vesi-sideaine

suhde on oikea, betoni on tiivistä ja jälkihoito on tehty kunnolla, niin vesi ja happi eivät pääse helposti betoniin. Betonissa olevat raudoitusteräket ovat siten suojassa ilmastorasitukselta ja rakenteen suunniteltu käyttöikä voidaan saavuttaa. (By 201, 97.)

Kemiallinen suojaus perustuu puolestaan betonin emäksisyyteen. Betonin pH-arvo (potential of hydrogen) on noin 13–14 ja se muodostaa betoniteräksien ympärille oksidikalvon, joka estää terästen korroosion. Kun joissain betonisilloissa betonipeitteen paksuus on liian ohut eli sitä ei ole toteutettu betonipeitteen sallituissa raja-arvoissa, voi betoniterästen korroosio tapahtua ennenaikaisesti, kun betonin emäksisyys pienenee eli betoni karbonisoituu. Karbonisoituminen etenee pinnalta sisäänpäin ja voi aiheuttaa sillan raudoitusterästen ruostumisen. Kun betoniteräket ruostuvat, niiden tilantarve nelinkertaistuu, minkä seurauksena on betonin halkeilua, sisäisiä säröjä ja betonipeitteen lohkeilua. Ruostumisen edetessä myös terästen poikkipinta-ala pienenee mikä johtaa rakenteen kestävyuden heikkenemiseen. (By 201, 103.)

### 3 SILLAN OSIEN LAATUVAATIMUKSIEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

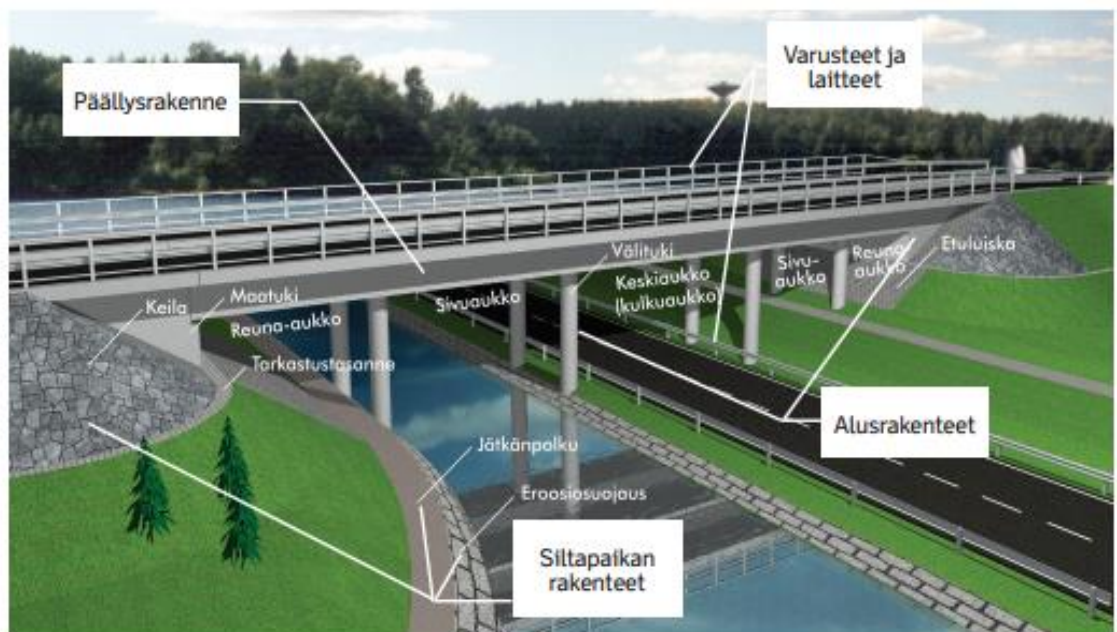
#### 3.1 Sillan rakenneosat

Silta on taitorakenne, joka rakennetaan, kun on tarpeellista kulkea yli jostain luonnollisesta esteestä tai ihmisen tekemästä rakenteesta. Luonnollisia esteitä ovat esimerkiksi joet, laaksot ja merialueet. Ihmisen tekemiä rakenteita ovat esimerkiksi tiet, rautatiet ja kaupunkialueet, joiden ylittämistä varten silta rakennetaan. Sillan tehtävänä on tehdä ihmisen liikkumisesta paikasta toiseen helppoa, nopeaa ja turvallista. Siltoja rakennetaan ajoneuvoliikennettä, rautatieliikennettä ja kevyttä liikennettä (jalankulkijoita) varten. (Liikennevirasto 2017b, 54.) Erikoisempia siltoja ovat vihersillat eli eläinkulkusillat, joita rakennetaan moottoriteiden yli eläinten kulkua varten. Esimerkiksi uudelle E18 moottoritielelle on rakennettu useita vihersiltoja.

Siltojen mitoituksen peruslähtökohtana on, että siltaa rasittavien kuormien tulee olla pienempiä kuin sillan kuormankantokapasiteetti. Mikäli kuorma on

merkittävästi suurempi kuin sillan kapasiteetti, voi silta romahtaa. Jos sillan rakenteessa on suunnitteluvirhe, voi silta pahimmassa tapauksessa romahtaa myös normaalista kuormituksesta.

Silta koostuu päällysrakenteesta (kansi), alusrakenteista (väli- ja päätytuot) sekä pohjarakenteista (peruslaatat ja paalut). Sillan peruslaatta voidaan lukea mukaan myös alusrakenteisiin. Siltaa rasittavat kuormitukset siirtyvät päällysrakenteelta alusrakenteille ja niiden kautta maaperään.



Kuva 7. Risteyssillan rakenneosat

Kuva 3: Sillan rakenneosia havainnollistava kuva (Liikennevirasto 2013)

Jotta sillarakenne kestää sille suunnitellut kuormitukset, pitää silta rakentaa suunnitelmien ja laatuvaatimusten mukaisesti. Laatuvaatimukset koskettavat sillan rakennusmateriaaleja, kantavuutta, sillan sisäisiä rakenteita, ulkonäköä, mittauksia ja sijaintia ja monia muita asioita. Sillan laatu alkaa jo suunnitteluvaiheessa ja toteutuu lopullisesti rakentamisvaiheessa. Urakoitsijan on laadittava tilaajalle laaturaportti, joka osoittaa, että rakennettu silta kaikkine rakenneosineen täyttää sille määritellyt määräykset. Laaturaportti tulee laatia laaturaportti-laatimisohteen mukaisesti.

### 3.2 Pohja- ja maarakennustyö

Liikennekuorma ja siltarakenteen omasta painosta johtuvat kuormat johdetaan sillan yläpuolisilta rakenteilta alusrakenteiden kautta maaperään. Maaperän kantavuuden tulee siksi olla riittävä ja maaperän ominaisuuksien oltava soveliaita, jotta maaperä kykenee vastaanottamaan kuormituksen. Maaperän kantavuus riippuu muun muassa maalajeista ja maaperän tiiveydestä. Maaperän ominaisuudet ja maalajikerrokset selviävät pohjatutkimuksen avulla. Maaperän kantavuus lasketaan pohjatutkimuksien perusteella. Jos maaperän kantavuus on heikko, voidaan maaperä vahvistaa geosuunnittelijan päätöksen mukaan. Silta voidaan myös perustaa paalujen varaan tai suoraan kallion päälle.

Pohjanvahvistusmenetelmät ovat seuraavat: massanvaihto, syvätiivistys, stabilointi, suihkupaalutus, esikonsolidointi, maainjektointi, maan lujittaminen, kallionvahvistus, paalutus ja maan työnaikainen jäädytys. Rakennuspohjan vahvistuksella vaikutetaan maaperän kerroksien huokostilaan. Kun pohjavahvistusmenetelmän avulla huokostilan määrää saadaan vähennettyä suunnitelman mukaisesti, maapohja tiiveys ja lujuus lisääntyvät ja rakennuspohjan kantavuus paranee ja myös jälkipainuma pienenee. (Pohjarakennus RIL 95. 1974, 332–351.)

Sillan maa- ja pohjarakennustyöt ovat vaativia töitä, jotka on tehtävä suunnitelman mukaisesti ja huolellisesti. Tekniset työsuunnitelmat on laadittava ja esitettävä tilaajalle sovittuina ajankohtina ennen työn aloittamista. Erilliset tekniset työsuunnitelmat pitää laatia, jos työt tehdään vaativissa ja haasteellisissa työolosuhteissa. Työsuunnitelma pitää laatia seuraavissa työvaiheissa tai rakenteissa: yli 2 m syvät kaivannot, räjäytys- ja louhintatyöt, yli 0,6 m täytöt perustuksen alla, työnaikaiset maapadot, paalutustyöt, paalutustyön työtelineet ja uivan kaluston käyttö. (InfraRYL 2006a, 85.) Kun tehdään esimerkiksi kaivantoja ja muita pohjatöitä, työsuunnitelma tulee olla tarkasti suunniteltu, jotta työturvallisuus on kunnossa ja itse työ tulee sujumaan ilma ongelmia. Kaivutyössä on huolehdittava siitä, että kaivannon tukeminen toteutetaan suunnitelmallisesti ja turvallisesti. Maan häiriintyminen on otettava huomioon erityisesti, jos maaperä on häiriintymisherkkää, esimerkiksi runsaiden sateiden takia. Tärkeintä on välttää maan häiriintymistä kaivutyön takia. (InfraRYL 2006a,

89). Kaivannon pohjan toleranssien, mittojen, sijaintipoikkeamien ja tasaisuuden on oltava suunnitelmassa esitetyissä sallituissa raja-arvoissa.

Täyttötyössä käytetyn maa-aineksen on täytettävä sille asetetut laatuvaatimukset ja maa tulee tiivistää annettuun tiiviyteen. Jos täytön paksuus on yli 0,6 m tai jos täytöt tehdään ahtaassa paikassa tai liittyvät rautatiesiltojen pohjarakenteisiin, on laadittava tekninen työsuunnitelma. Tekninen työsuunnitelma sisältää ainakin täyttömateriaalin laadun, tiivistyskaluston, tiivistysohjeen, tiivistysvaatimukset ja laaduntarkkailumittaukset. (InfraRYL 2006a, 93).

### 3.3 Muotti ja teline

Muotit ovat tilapäisiä ja joskus pysyviä rakenteita, jotka tukevat betonimassaa valutyön ajan ja antavat kovettuneelle betonille muodon. Muotti on suoraan kosketuksessa betonimassaan, joten se vaikuttaa merkittävästä betonipintaan. Betonimassa on notkeaa, joten muottien tulee olla tiiviit. Jos muotti ei ole tiivis, se vuottaa lävitseen betonin hieno-aineita ja vettä ja jonka seurauksena voi olla esimerkiksi halkeilujen syntymistä. Muottien pitää myös kestää niihin kohdistuvat valunaikaiset kuormat, kuten betonimassan painon, valukaluston kuormat ja itse työn suorittajista aiheutuvat kuormat.



kuva 4: Havainnollinen kuva muottien tukirakenteista(Liikennevirasto, E18 Hamina-Vaalimaa).

Muottimateriaali voi olla puuta, puulevyä, terästä, alumiinia, muovia tai lasikuitua. Näiden lisäksi on olemassa muottimateriaaleja, joita ei valun jälkeen pureta vaan ne jäävät osaksi rakennetta. Näitä ovat esimerkiksi poimulevyt, pahlaviputket ja peltiputket. Muottien pintaa voidaan myös kiinnittää polyeteenikalvo tai muottikangas, jotka tekevät valmiista betonipinnasta sileämmän. (By 201, 212.)

Ennen valua on tarkistettava, että muottien mittatarkkuus, tiiveys ja pintaluokka ovat laatuvaatimuksien mukaisia. (Infra RYL 2006, osa 3, 17). Muottien tukirakenteet saa purkaa vasta kun betoni on kovettunut riittävästi, jotta haitallisia muodonmuutoksia ei pääse syntymään. Betonin lujuuden on oltava vähintään 60 % nimellislujudesta ennen muottien purkamisen aloittamista. (By 65, 57- 58). Muotit rakennetaan paikan päällä siltatyömaalla. Muotitettavia rakenteita ovat sillan peruslaatat, väli- ja päätytuot sekä kansirakenne. Elementeistä koostuvassa kansirakenteessa pitää yleensä muotittaa vain saumavalut.

### 3.4 Sillan peruslaatta

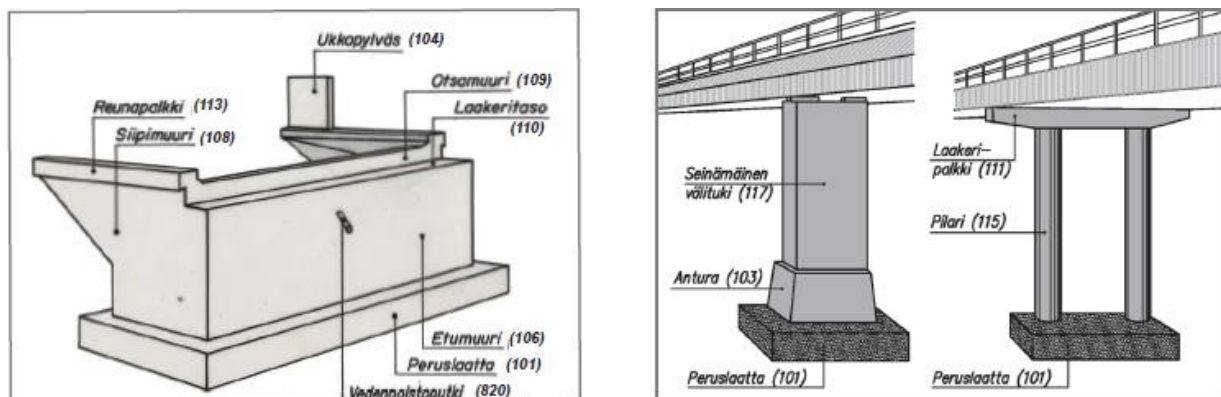
Sillan peruslaatta on rakenneosana, joka rakennetaan suoraan maanvaraisesti tai kallion päälle (kallionvaraisesti). Kallion päälle perustettaessa pitää kallionlaatu tarkistaa pohjatutkimuksen avulla, jotta varmistetaan että kallio on riittävän kestävä perustamista varten. Kallio ei saa murtua eikä siitä saa irrota kappaleita esimerkiksi leikkautumalla. Sekä maanvaraisessa että kallionvaraisessa perustamistavassa peruslaatta vie kuormat tukirakenteilta maapohjalle. Peruslaatan rakentamisesta täytetään tiedot laaturaporttiin. Raporttiin täytetään tiedot toteutuneesta rakenteesta. Laaturaportissa on seuraavat ehdot peruslaattaa koskien, jotka valmiin rakenteen tulee täyttää:

- Peruslaatan mitat eli leveys, pituus ja paksuus tehdään suunnitelman mukaisesti ja sallituissa mittapoikkeamassa
- Peruslaatan betonipeitteen paksuuden tulee olla suunnitelman mukainen (toleransseissa)
- Pintaluokan on oltava suunnitelman mukainen

- havaitut halkeilut imeytetään kiinni injektoimalla, jos niiden koko ylittää toleranssit. Injektoinnissa käytetään hyväksyttyä injektointiainetta ja injektointimenetelmää (infra RYL 2016a, 183).

### 3.5 Sillan tukirakenteet

Sillan tukirakenteita ovat välituet, päätytuet, maatuet ja kehäsiltojen jalat. Kuvassa 5 on esitetty sillan tukirakenteet, josta näkyy miten tukirakenteet liittyvät sillan muihin rakenneseisiin. Betonisillan tukirakenteet siirtävät kansilaatalta tulevat kuormat peruslaattaan (anturaan) tai paaluille.



Kuva 5: Betonirakenteisen sillan tukirakenteita havainnollistava kuva (Liikennevirasto 2013, 109)

Tuen muoto voi olla neliömäinen, suorakaide tai pyöreä. Tuen muoto voi olla myös suorakaide, jonka kulmat on pyöristetty. Urakoitsijan on rakentamisessa noudatettava suunnitelmapiirustuksissa esitettyjä rakennusmateriaaleja ja muottimateriaalia. Myös kaluston ja työmenetelmien tulee soveltua tukien rakentamiseen, sillä esimerkiksi pilarien painevalujen tekniikka eroaa normaalista valutekniikasta. Infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa osassa 3 käsitellään sillan rakennusteknisiä osia, ja julkaisussa on esitetty tukien sijaintiin, mittatarkkuuteen, betonipeitteeseen, betonipintaan, verhoukseen ja eristykseen liittyviä raja-arvoja ja ohjeita jokaisen rakenneseosan toteutukseen. (infra RYL 2006a, 185–188).

Urakoitsijan on todistettava laaturaportissa, että rakenteet on toteutettu suunnitelman mukaisesti ja että materiaalit, ja mittatoleranssit ja työn suoritus täyttävät laatuvaatimukset.

Betonisillan estetiikkaa voidaan parantaa esimerkiksi verhoilemalla sillan tukirakenteet kuvioidulla kuorirakenteella. Esimerkiksi parhaillaan rakenteilla olevan E18 Hamina-Vaalimaa moottoritien ylittävään tiesiltaan on asennettu kuorielementit, joissa on kuvattu Haminan kaupungin asemakaavaa. Muita keinoja sillan estetiikan parantamiseen ovat esimerkiksi erikoisvalmisteiset kaiheet tai reunapalkit, erikoismuotoiset pilarit tai vaikka koko sillan maalaaminen.



Kuva 6: Sillan välitukien kuorirakenne (E18 Vaalimaa-Hamina, Venla Ristolan postitus 20.1.2017)

### 3.6 Sillan päällysrakenteet ja sillan kannen pintarakenteet

*Betonirakenteet päällysrakenteessa ovat sillan laatta-, palkki-, kehä-, kaari-, ristikko- tai holvirakenteiden betonirakenteita. (INFRA 2006b, 185).*

Sillan päällysrakenteella tarkoitetaan sillan kanta, joka tehdään yleensä paikallavaluna betonista. Myös terässiltojen kannet tehdään betonista. Teräspalkkisilloissa ja myös betonipalkkisilloissa on mahdollista käyttää elementeistä koostuvia kansia, mutta ne eivät ole yleisiä Suomessa. Sillan päällysrakenne on alusta sillan kannen vedeneristykselle ja sen takia sen tulee olla riittävän laadukas ja mittatarkka. Vedeneristyksen ja muiden kannen pintarakenteiden tehtävänä on suojata kantta fyysiseltä rasitukselta sekä estää veden imeytymi-



nen kansirakenteeseen. Pintarakenteisiin kuuluu alustan käsittely epoksitiivisyyksellä tai kumibitumisivelyllä, vedeneristysmateriaali, suojakerros joka on yleensä betonista sekä asfalttikerrokset.

Siltakannen mitat, sijaintikoordinaatit ja korkotiedot esitetään suunnitelmapiirustuksissa. Sillan poikkileikkauksessa esitetään mitat, jotka antavat kannelle sen muodon. Poikkileikkaus voi olla vakiomuotoinen läpi koko sillan, mutta se voi olla myös muuttuva. Poikkileikkauksessa esitetään myös reunapalkkien mitat, kannen poikkikallistus sekä mahdolliset vedenjohdatus laitteet kuten tipputket ja pintavesiputket. Silloissa on yleensä myös pituussuuntaista kaltevuutta tai kaarevuutta, mikä esitetään yleensä korkolukemien avulla sillan taso-kuvassa tai vaikka Excel-taulukossa.

Silta rakennetaan piirustuksien mukaan ja valmiille kansirakenteelle tehdään tarkastus, jossa tarkastetaan, onko silta suunnitelmien mukainen. Valmiista siltakannesta tarkastetaan kannen poikkileikkausmitat, kannen yläpinnan poikki- ja pituuskaltevuudet, sillan reunapalkkien muodot, kannen käyryys, betonipinnan laatuluokka sekä betonipeitteen paksuus. (InfraRYL 2006a, 192.)

Jokaiselle betonisillan osalle on määritetty betonin vähimmäisvaatimukset, kuten taulukossa 5 on esitetty. Suunnittelijan on pyrittävä valitsemaan samaa betonilaatua rakenteeseen, jonka valu suoritetaan yhdellä kerralla. (NCCI2, 26.)

Kannen vedeneristyksen tulee olla vesitiivis. Silloissa käytetään yleensä vesieristeenä kumibitumikermin kerroksia, joista alimmainen kermi liimataan alustaan ja päälle tulevat kermi hitsataan. Urakoitsijan on valittava rakennussuunnitelmien mukainen eristysmateriaali ja eristystyö on tehtävä ohjeiden mukaisesti sääsuojan alla. Materiaalin on kestävä siihen kohdistuvat rasitukset, kuten esimerkiksi lämpötilan vaihtelusta, vedenpaineesta ja liikenteestä syntyvät rasitukset. (InfraRYL 2006a, 196). Eristysmateriaalin tulee täyttää suunnitelmissa esitettyjen standardien vaatimukset.

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset				Suunnittelukäyttöikä	Betoniportoien suojaus
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Betoni peitteen nimellisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 1)		
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat 2)	R020	R1	XC3,XC4,XF2	C30/37	P30	40 50	tr Jr	100	
		R2	XC3,XC4,XF2	C30/37	P20	40 50	tr Jr	100	
		R4	XC3,XC4,XF2	C30/37	P20	40 50	tr Jr	100	
	R021	R1	XC3,XC4,XF2,XD1	C30/37	P30	45 55	tr Jr	100	(3)
		R2	XC3,XC4,XF2,XD1	C30/37	P20	40 50	tr Jr	100	(3)
		R3	XC3,XC4,XS1,XD1, XF2	C30/37	P30	40 50	tr Jr	100	(3)
Päällysrakenteen ja maatumien reunapalkit	R022	R1	XC4,XD3,XF4	C35/45	P50	45 55	tr Jr	50	(4)
		R2	XC4,XD2,XF4	C30/37	P50	40 50	tr Jr	50	(4)
		R3	XC4,XS1,XD3,XF2	C35/45	P30	45 55	tr Jr	50	(4)
		R4	XC4,XF2	C30/37	P30	40 50	tr Jr	70	
	R023	R1	XC2,XD1,XF4	C30/37	P50	40 (5)	tr	50	
		R2				50	Jr		
R3		XC2, XD1,XF2	C30/37	P30	40 (5)	tr	50		
R4					55	Jr			
		XC2,XF2	C30/37	P30	40 (5)	tr	70		
					50	Jr			

Taulukko 5: Betonirakenteiden betonilaadun vähimmäisvaatimukset: päällysrakenne ja reunapalkit (NCCI 2, 27)

### 3.7 Betonisillojen jännittäminen

Betonirakenteita jännittämällä rakenteiden kokoa voidaan pienentää jännittämättömiä rakenteisiin verrattuna, jolloin betonia kuluu vähemmän ja rakennuskustannukset pienenevät. Betonisissa palkkisilloissa jännitetään kannen palkit, joissakin tapauksissa myös sillan pilarit jännitetään. Jännitettyjä palkkeja käyttämällä sillan kansirakenteesta saadaan matalampi, ja sillan tukiväleistä voi-

daan tehdä pidempiä. Matalasta kansirakenteesta on hyötyä myös tiesuunnitelman laadinnassa, koska sillan rakenteille ei tällöin tarvitse varata korkeaa tilaa. Myös laattasilta voidaan jännittää, mutta se on harvinaisempaa

Betonirakenteiden jännittäminen vähentää rakenteen halkeilua ja sitä myötä parantaa rakenteen vesitiiveyttä ja säilyvyysominaisuuksia. (jännitystyö, Lemminkäinen). Jännitys antaa betonirakenteelle lisää kantavuutta ja vähentää raudoitusterästen määrää.

Jännitystyöt ovat vaativia töitä ja ne edellyttävät erikoisosaamista, jotta rakenne onnistuu. Työ vaatii kattavaa laatujärjestelmää, jolla vakuutetaan, että jännitystyöt suoritetaan rakennussuunnitelman mukaisesti. Jännitystyötä tekevän yrityksen henkilökunnan pitää olla ammattitaitoista ja yrityksen laadunvalvonnan ja kaluston pitää olla moitteetonta, jotta jännitystyö voidaan toteuttaa aikataulun ja laatuvaatimusten mukaisesti. Jännitystyö vaatii huolellisuutta ja tarkkaa ohjausta työnjohdolta. Urakoitsijan on tarkistettava, että käytettävät materiaalit ja kalusto täyttävät niille asetetut vaatimukset. Tämän voi osoittaa kansallisella tuote hyväksynnällä tai eurooppalaisella teknisellä arvioinnilla tai muulla hyväksytyllä standardilla. Kuvassa 6 on esitetty silloissa käytettävien jänneterästen ominaisuudet NCCI 2-soveltamisohjeen mukaan.

*Taulukko 3.6 Jänneteräspunosten nimellishalkaisijat ( $D_n$ ), nimellispoikkipinta-alat ( $A_p$ ), lujuusluokat ( $f_{p0,1k}/f_{pk}$ ) ja kimmomoduuli ( $E_p$ ) joillekin prEN10138 mukaisille punostyypeille.*

Punostyyppi	$D_n$ mm	$A_p$ mm <sup>2</sup>	Lujuusluokka $f_{p0,1k}/f_{pk}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_p$ N/mm <sup>2</sup>
Y1860S7 tai Y1770S7	15,7	150	1600/1860 tai 1520/1770	195 000
	15,3	140		

Taulukko 6: Silloissa käytettävien jänneterästen ominaisuudet (NCCI2, 24)

Taulukon merkkien selitykset:

Y 1860 S 7: punostyyppi, jossa Y tarkoittaa jänneteräs, 1860 vetolujuus megapascalina, S punos ja 7 lukumäärä

Jännitystyöstä on laadittava jännitystyösuunnitelma ennen jännitystyön aloittamista. Jännitystyösuunnitelmassa on esitettävä kuvaus jännitysmenetelmästä,

piirustukset asennuksesta, työn järjestely, jännitysvoimat ja -venymät, ankkurointiliukumat ja niiden toleranssit, vaikutus muotteihin, vaikutus betonilujuuteen jännitystyön aikana ja muut tärkeät tiedot. Jännitystyön aikana ja työn jälkeen laaditaan jännitystyön pöytäkirja, johon merkitään toteumatiedot kuten esimerkiksi jänneterästen tyyppi ja koko, jännitysvoimat, toteutuneet venymät jne. (By 65, 81–82.)

Jänneterästen suojausputket ja injektointilaasti on tarkastettava ennen niiden käyttöä. Valmislaastina toimitettavalle laastille tehdään vastaanottotarkastus. Suojausputkien asennuksessa ja laastin injektoinnissa on noudatettava standardissa esitettyjä ohjeita ja määräyksiä. Injektoinnissa on varmistettava, että laasti täyttää suojausputken kokonaan. (By 65, 82.)

### 3.8 Sillan varusteet ja laitteet

Yleisimmät siltojen varusteet ovat siltojen kaiteet ja niihin kuuluvat osat. Tiesilloissa käytetään pääsääntöisesti H2-törmäysluokan kaiteita. Kaiteisiin voidaan liittää myös kosketussuojaseiniä ja muita suojavaarusteita. Kaiteet ja suojaseinät asennetaan siltoihin, jotta niiden käyttö on turvallista käyttäjille kuten jalankulkijoille ja liikenteelle. Muita siltojen varusteita ovat esimerkiksi tippuputket ja pintavesiputket, salaojat, kontaktitapit, kaapelihyllyt, siirtymälaatat ja reunatuet. Siltojen laitteisiin kuuluvat muun muassa laakerit, liikuntasaumalaitteet, nivelet, mahdolliset nostokoneistot ja niiden ohjaamot. (InfraRYL 2006a). Elastisesta massasta tehdyt liikuntasaumot sekä esimerkiksi valaisinpylväiden kiinnitysjalustat voidaan lukea sillan varusteisiin. Mikäli varuste tai laite on valmistettu ulkomailla, on tarkistettava niiden laatuvaatimuksien mukainen kelpoisuus. Toimittaja ja valmistaja ovat usein eri tahot, joten on syytä tarkastaa sekä valmistajan että toimittajan tiedot, jotta tuote soveltuu käytettäväksi. Liikennevirasto ylläpitää listoja siltoihin hyväksytyistä materiaaleista, kemikaaleista, varusteista sekä laitteista. Ennen tuotteen tilausta pitää tarkistaa, että Liikennevirasto on hyväksynyt tuotteen käyttämisen silloissa. Esimerkiksi Lujitustekniikka Oy ja insinööritoimisto Tensicon Oy toimittavat liikuntasaumalaitteita ja laakereita, jotka valmistetaan Saksassa ja Sveitsissä (Lujitustekniikka 2017).

Sillan laitteiden ja varusteiden asennuksesta on laadittava tekniset työsuunnitelmat ja laatusuunnitelmat, jotka antavat suuntaa sekä sillan laatuvaatimusten että valmistajan ohjeiden ja määräyksien täyttämiseen. Laitteiden ja varusteiden on täytettävä niille asetetut laatuvaatimukset. Laitteiden ja varusteiden on myös kestettävä niihin kohdistuvat rasitukset kuten esimerkiksi liikennekuormat, pitkäaikaiset kuormitukset sekä lämpötilan vaihtelusta tai liikkeistä aiheutuvat kuormat. Sopivan laitteen valitseminen ja oikea asennustapa varmistavat pitkäikäisyyden. Erityistä huolellisuutta on noudatettava siltakannen vesieristeen kanssa yhteydessä olevien varusteiden ja laitteiden asennuksessa, jotta siltakansi pysyy vedenpitävänä ja pintavedet kulkeutuvat vedenjohtolaitteita pitkin pois kannelta. (InfraRYL 2006a, 219.). Näitä ovat esimerkiksi liikuntasaumalaitteet, tippuputket ja pintavesiputket.

Sillat varustetaan usein laakereilla, jotka mahdollistavat sillan kannen liikkeet. Sillan kanteen kohdistuu suuria lämpötilaeroja, mistä johtuen sillan pituus muuttuu lämpötilan mukaan (silta venyy tai kutistuu). Jos sillan kannen liike estetään, voi rakenteeseen syntyä pakkovoimia, joiden seurauksena rakenne voi hajota suurten jännitysten takia. Tämän estämiseksi siltaan asennetaan laakerit, jotka sallivat kannen liikkeen ja samalla välittävät kannelta tulevat kuormat alusrakenteille. Sillan molempiin päihin, tai ainoastaan toiseen päähän, asennetaan liikuntasaumalaitteet, jotka sallivat kannen pituuden lyhenemisen tai pitenemisen lämpötilan mukaan ilman, että siltakannella oleva liikenne häiriintyy (Keskus kirjasto 2016).

Liikuntasaumalaitteita on useita erilaisia, yksi yleisimmin käytetyistä on teräsrunkoinen laite, jossa on yksi tai useampi kumikaista, joka sallii liikkeen. Lyhemmissä silloissa voidaan käyttää myös massaliikuntasaumaa tai elastista saumamassaa, mikäli kannen lämpötilaliike ei ole kovin suurta. Laakereita on useita erilaisia, ja laakeri valitaan siltakohtaisesti tai sillan tukikohtaisesti laakeriin kohdistuvien rasitusten perusteella. Käytössä olevia laakerityyppejä ovat kumilevy-, teräs-, kalotti-, kumipesä- ja rullalaakerit.

## 4 BETONISILTOJEN LAATUVARMISTUSMENETELMÄT TOTEUTUSVAIHEESSA

### 4.1 Betonisiltojen laadunvalvonta

Laadunvalvonnalla tarkoitetaan laadun vaikutustekijöiden huomioimista, jotta betonirakenteelle määritellyt laatuvaatimukset täyttyvät. Urakoitsijalla on velvollisuus suorittaa työt sovitusti ja sopimusten mukaisesti, noudattaen suunnitelmia ja standardeja, noudattaen viranomaisten ohjeita ja määräyksiä sekä suorittaa työt hyvän rakentamistavan mukaisesti. By 65 betoninormien (2016) mukaan betonirakenteita rakentaessa tulee eri työvaiheissa tehdä tarkastuksia, joiden avulla valvotaan laadun ja edellä mainittujen asioiden toteutumista rakennustyössä. Tarkastuksia tulee tehdä muun muassa seuraaville työvaiheille ja rakenneosille:

- Muotti- ja tukirakenteet
- Raudoitus ja jännitystyöt
- Betonin ominaisuuksien tarkastus
- Betonointityö ja betonin tiivistäminen
- Betonipinnan laatuluokka
- Jälkihoito ja mahdollinen lämpökäsittely
- Elementtien ja muiden rakennusmateriaalien vastaanottotarkastukset

Tarkastustoiminta riippuu toteuttajasta ja rakenteen toteutusluokasta. Tarkastukset voidaan toteuttaa silmämääräisesti tai mittauksilla. Toteutusasiakirjoissa voidaan vaatia, että määritetyn tarkastuksen suorittaa ulkopuolinen tarkastaja. Tarkastuksen tekijän on dokumentoitava tekemänsä tarkastukset ja tarkastuksesta laadittu tarkastusraportti tulee arkistoida. Raportit ovat todisteita siitä, että tarkastukset on suoritettu ja niitä voi myös tulevaisuudessa olla tarpeen tarkastella. (BY 65, 95.) Tarkastuksessa arvioidaan rakenteen tai rakenneosan asetettujen laatuvaatimuksien täyttymistä.

Betonisillan rakentamiseen sitoutuva urakoitsijan pitääkin tehdä työsuorituksen laadunvalvontaa. Ennen kaikkea urakoitsijan on tarkastettava että rakennusmateriaalien laatu on suunnitelma-asiakirjojen mukaista. Lisäksi työnsuorituksessa betonityöjohtajan on valvottava että kaikki betonisillan työvaiheet vastaavat niille asetettuja vaatimuksia.

## 4.2 Työjohtoon rooli laadunvalvonnassa

Betonisillan rakennustyössä työnjohtajan seuraa, valvoo ja ohjaa työtä. Hänen tehtävänsä kuuluu myös työntekijöiden hyvinvoinnin seuraaminen, työhön motivointi, aikataulun ja taloudellisen tilanteen seuranta, työturvallisuuden ohjeiden toteuttaminen, resurssien hankkiminen ja muut työjohtoon tehtävät.

Työjohtoon henkilön tulee olla ammattitaitoinen ja ylpeä ammattiosaaja sekä myös johtamistyöhön pätevä. Hyvät työjohtoon sosiaaliset taidot ovat avainroolissa, sillä niiden kautta ohjeet menevät sujuvasti perille työntekijöille.

Työjohtoon on myös järjestettävä sovitulla tavalla palaveriteita, joissa keskustellaan erilaisia työmaa-asioista kuten aikataulusta, työturvallisuudesta, laatuvaatimuksista ja niin edelleen. Palaveriteissa myös varmistetaan, että rakentaja ymmärtää rakenteen laatuvaatimukset ja niiden toteutustavat. Tätä edesauttaa selkeä työnkuvaus, motivointi ja tehokas laadunvalvonta. Työjohtoon lähestyminen työntekijöiden kanssa rakentaa heidän keskinäistä hyvää luottamusta, parantaa yhteistyötä ja ilmapiiriä ja lisäksi työ hoituu paremmin, jos työtä johdetaan työmaalla eikä aina sähköpostin tai puhelimen kautta. Laatu ei voi tehdä yksin vaan yhteistyöllä työporukan kanssa, eikä kiireellä voi saada hyvää laatua vaan päinvastoin laatu heikkenee. Työjohtoon tulee määritellä selkeästi, tarkasti ja huolellisesti tehtävät ja niiden vastuuhenkilöt sekä työvaiheiden porrastuksen, jotta työ sujuu turvallisesti ja laadunmukaisesti. Työt sujuvat paremmin, jos asioista puhutaan, sillä asioista vaikeneminen ei edesauta asioiden sujumista. Työjohtoon tulee korostaa ammattitaitoa ja ammattiylpeyttä. (Laatukilpailu 2016.)

## 4.3 Osapuolten välinen yhteistyö

Jokaiselle uudelle sillan rakennusprojektille määritellään aikataulu, jonka mukaisesti silta tulisi rakentaa. Ennen sillan rakentamiseen ryhtymistä suunniteluasiakirjojen pitäisi olla valmiiksi tarkastettuna. Joissain projekteissa suunnittelua tehdään samanaikaisesti rakennustyön kanssa, mikä voi aiheuttaa laatuongelmien syntymistä, etenkin jos suunnittelua joudutaan tekemään kiireessä. Mikäli urakoitsijalle ei kelpaa ehdotettu suunnitelma ja urakoitsija toivoo suunnitelmiin muutoksia, voi uusien suunnitelmien laadinta vaikuttaa aikatauluun ja aiheuttaa kiirettä. Suunnittelutyöhön tarvitaan riittävästi aikaa, jotta

laatu ja rakenteen toteutuskelpoisuus olisivat huolella pohdittuja. Suunnittelijan olisi hyvä omata työmaakokemusta, jotta tämä pystyisi laatimaan suunnitelmat paremmin toteuttamiskelpoisiksi. Myös työmaalla työmaa-aikataulua laadittaessa ei saisi olla liian optimistinen vaan käydä läpi kaikki betonisillan rakentamista koskevat työvaiheet, sillä usein esimerkiksi rakenteiden kuivatusajat suunnitellaan liian lyhyiksi tai ei kiinnitetä huomiota säävaraukseen. Oikea ratkaisu syntyy, kun tehdään parempia sopimuksia, moitteetonta suunnittelutyötä ja yhteistyötä kaikkien osapuolten välillä. (Verkkohaastattelun tulokset s.a., 3.)

Taitorakenteen tilaajan tulee antaa tarvittaessa tukea urakoitsijalle, jos esimerkiksi on epäselvyyksiä suunnitelmissa tai muualla toteutusvaiheessa. Epäselvyyksiä voi olla esimerkiksi jonkun suunnitelman toteutuskelpoisuus. Talloin tarvitaan ehkä työmaa katselmus ja tapaaminen eri osapuolien kanssa. Jokaisen osapuolen tulisi ymmärtää toista osapuolta, jos halutaan että lopputuloksesta tulee hyvä, suunnitelmien, kustannusarvion ja aikataulun mukaisesti toteutettuna.

#### 4.4 Tekninen työsuunnitelma

Tekninen työsuunnitelma on ennakkosuunnitelma, joka tehdään ennen työn aloittamista ja se on rakennekohtainen. Teknisessä työsuunnitelmassa selvitetään käytettävät resurssit ja niiden työkapasiteetti, työmenetelmä joka sisältää yksityiskohtaisesti työvaiheet ja työjärjestyksen sekä aikataulun. (InfraRYL 2006a, 78.)

Tekninen työsuunnitelma vaikuttaa huomattavasti laatuvaatimusten toteutumiseen toteutusvaiheessa, sillä jos työ suunnitellaan epätarkasti, niin laatu kärsii. Urakoitsijan työjohdon pitää varmistaa, että työntekijät ymmärtävät vaaditun laadun kriteerit ja toteutuksen.

Alla on lueteltu muutamia työesimerkkejä betonisillan rakentamisessa, joissa vaaditaan tekninen työsuunnitelma, ellei muuta ole sovittu:

- Teline- ja muottisuunnitelmat
- Raudoitustyösuunnitelmat
- Betonityösuunnitelmat

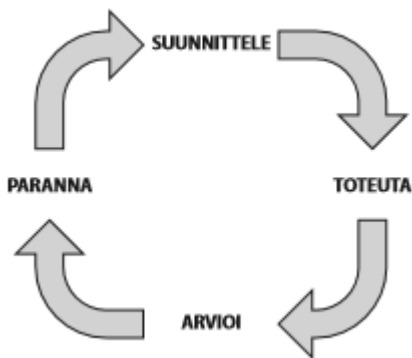


- Jännittämistöiden suunnitelmat
- Elementtien valmistussuunnitelma (tarvittaessa)
- Elementtien käsittely- ja kuljetussuunnitelma
- Elementtien asennussuunnitelma
- Betonipinnan suoja-ainekäsittelyn suunnitelma

Jos urakoitsija ja tilaaja eivät olleet sopineet mitään erikseen, urakoitsijan on hyväksyttävä tekninen työsuunnitelma tilaajalla viimeistään viikkoa ennen työn aloittamista. Työsuunnitelman yhteydessä urakoitsijan on toimitettava liitteenä työmaalla kyseiseen työhön käytettävien vaarallisten aineiden suomenkieliset käyttöohjeet, tuoteselosteet ja käyttöturvallisuustiedotteet. (Infra 2006a, 78.)

#### 4.5 Työvaiheen laatusuunnitelma

Työvaiheen laatusuunnitelma on apuväline, jossa kuvataan tehtävä ja työmenetelmä, laatuvaatimukset, työnaikainen laadunvarmistus, toleranssit ja dokumentointi rakennekelpoisuuden osoittamisesta. (InfraRYL 2006a, 78). Kuvassa 2 osoitetaan yleisesti rakentamisvaiheiden laatureurannan prosessi.



Kuva 2: laatuympyrä (rakennustöiden laatu 2017, 8.)

Laatusuunnitelma on edellytys laatuvaatimusten saavuttamiselle. Se on tehokas ja laadukas toimintatapa toteuttaa suunnitelmissa vaaditut laatuvaatimukset, sillä sen avulla laatuvaatimukset selitetään selkeästi ja rakenneosakohtaisesti. Laatusuunnitelman kautta työ sujuu hyvin, virheet vähentyvät, kustannuksia voidaan hallita, tiedonkulku paranee ja vastuualueet ja vastuuhenkilöt ovat selvillä, kun ne kirjataan laatusuunnitelmaan

## 4.6 Työturvallisuus

Betonisillan rakentamisessa työturvallisuudella tarkoitetaan huomion kiinnittämistä toimenpiteisiin, joilla voidaan varmistaa, että ne sujuvat suunnitelmallisesti ja turvallisesti. Työturvallisuus menee käsi kädessä laadun kanssa. Työturvallisuuden ennalta suunnittelulla varmistetaan se, että työntekijät tekevät työt turvallisesti, eivätkä haitalliset tekijät pääse vaikuttamaan työskentelyyn ja työskentelyolosuhteisiin. Haitallinen tekijä voi olla esimerkiksi epäkuntonen työkalu tai työkone, suojarahusteiden puute, kiire tai työnjohdosta johtuva haitta, kuten puutteellinen työsuunnittelu tai väärä työjärjestys. Työntekijä on aina perehdytettävä uuteen työmaahan ja uuteen työhön ja varmistettava, että tämä osaa ja tuntee työmaan ja sen säännöt. Turvallisuus on laaja käsite ja se vaatii paljon suunnitelmia sillan eri rakentamisvaiheissa. Jotta työturvallisuussuunnitelma palvelisi työmaata, sen tulee olla selkeä, yksikertainen ja ajantasalla. Turvallisuussuunnitelma ei ole pysyvä ohje vaan sitä päivitetään tarvittaessa.

Siltatyyppin ja rakennuspaikan mukaan työt vaativat usein materiaali- ja työntekijäsiirtoja, nostoja, putoamisesteitä, vaarallisten aineiden käsittelyä ja muita työvaiheita, jotka voivat olla vaarallisia. Työmaalla seurataan reaaliaikaisesti työkoneiden kuntoa, melu- ja värinähaittoja ja niiden ehkäisyä, pölynehkäisyä ja muita turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Vaikka perehdytyksessä käydään läpi yllä mainitut seikat, työmaalla tapahtuu valitettavasti vielä tapaturmia. Usein työntekijät olettavat, että he voivat tehdä työt aina samalla tavalla vaikka työmaa vaihtuisi. Tapaturmia aiheuttaviin syihin kuuluu kiire, olettamus, viestinnänpuute, työturvallisuuden laiminlyönti, tehokkaan valvonnan puute ja niin edelleen. Usein myös oletetaan, että jokin asia on kerrottu työntekijöille tai työjohdolle jo monta kertaa. Tällöin jonkin asian tärkeän asian kertominen ja painottaminen voi jäädä tekemättä, mistä voi syntyä tapaturmia.

Tapaturmien ehkäisyä varten on tehtävä riskiarviointi kaikista työvaiheista ja työvaihe pitää käydä yhdessä läpi kaikkien työhön osallistuvien työntekijöiden kanssa. Työnjohdon on varmistettava, että työturvallisuusohjeen sisältö on helposti ymmärrettävissä ja noudatettavissa. Ohjeistuksen tulee olla työmaa-kohtaista ja tarvittaessa useammalla ei kielellä, mikäli työmaalla on useampaa

kansallisuutta. On hyvä muistaa, että juuri rakennusmiehet tekevät työmaalla itse fyysisen rakennustyön, joten on tärkeää, että heillä on hyvä työmaatuntemus ja turvallisuusosaaminen. Riskitekijät on myös tunnistettava ajoissa ja tehtävä ennakkoturvallisuussuunnitelma riskin suuruuden ja merkityksen perusteella. Riskitekijöiden tunnistamisen jälkeen mietitään toimenpiteet näiden riskien poistamiseksi tai pienentämiseksi. (VTT 2016)

Työmaalla on laadittava työmaan turvallisuussuunnitelma, jossa on nimetty työturvallisuudesta vastaavat henkilöt ja heidän vastuunsa. Tämän opinnäytetyön liitteenä on esimerkki työmaan turvallisuussuunnitelmasta. Rakennusteollisuuden mukaan työturvallisuuden kehityksen kannalta seuraavat turvallisuuskäytännöt ovat tärkeitä:

- Työjohto on sitoutunut turvallisuuden parantamiseen ja turvallisuuden osoittamiseen
- Lainsäädäntöä ja toimintatapoja kehitetään
- Johtaminen ja koordinointi työmaalla on hyvin hoidettu
- Turvallisuushenkilöstöön panostetaan
- Turvallisuussuunnittelu tehdään huolellisesti ja tarkasti
- Uusille työntekijöille järjestetään perehdyttäminen työturvallisuuteen
- Työntekijät osallistuvat ja ovat sitoutuneita turvallisuustavoitteiden toteuttamiseen
- Urakoitsijoiden ohjaus ja turvallisuustavoitteet kirjataan tarjouspyyntöihin ja urakkasopimukseen
- Palautteiden antamisen mahdollisuus turvallisuusasioista on järjestetty ja palautteen antajaa motivoidaan palkitsemalla
- Tapaturmista ja vaaratilanteista raportoidaan ja ne tutkitaan
- Turvallisuutta seurataan ja valvotaan kaikissa toiminnoissa työmaalla
- Työmaalle laaditaan turvallisuusohjeet, joita päivitetään ja pidetään ajantasalla

Rakennustyön eri työvaiheita suunniteltaessa on laadittava turvallisuussuunnitelma ainakin seuraavista työvaiheista Infra RYL:n osan 3 mukaisesti (2006)

- Työ- ja tukitelineiltä tapahtuvasta työskentelystä ja muista putoamisvaarallisista töistä

- Elementtien asennustöistä
- Nostoista ja siirroista
- Henkilönostoista
- Kaivutöistä ja kaivantojen tuennasta
- Purkutöistä
- Räjätöistä ja louhintatöistä
- Hukkumisvaaran sisältävistä töistä
- Sähkötapaturmavaarallisista töistä
- Rautatiealueella tehtävistä ja rautatieteliikenteeseen vaikuttavista töistä
- Töistä kuiluissa sekä maanalaisissa tunneleissa
- Sukellustöistä
- Paineammioissa tehtävistä töistä
- Muista vastaavista töistä

## 5 BETONISILLAN LAADUNHALLINTAJÄRJESTELMÄ- NYKYTILA

### 5.1 Tutkimusten tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli tehdä esiselvitys uuden Betonisillan laaturaportti-laatimisoikeuden päivittämistä varten. Esiselvityksessä kartoitettiin nykyisen laatimisoikeuden ajankohtaisuutta, sisältöä, rakennetta ja tiedonhallintaan liittyviä asioita. Näiden lisäksi haastatteluissa käytiin läpi suunnitteluvaiheen vaikutus betonisillan laatuun.

### 5.2 Tutkimusmenetelmä ja haastateltavien valinta

Tutkimusmenetelmänä käytettiin puolistrukturoitua haastattelua ja kirjallisuutta. Tutkimusmenetelmä oli kvalitatiivinen ja sen tavoitteena oli silta-alan asiantuntijoilta haastatteleamalla kerätä ehdotuksia ja mielipiteitä nykyisen laatimisoikeuden kehittämistä varten. Haastattelutyypinä käytettiin teemahaastattelua ja haastattelun rakenne, kysymykset ja niiden järjestys sekä loogisuus oli päätetty jo etukäteen (Virtual statistics s.a).

Haastateltujen asiantuntijoiden ryhmässä olivat vaativan taitorakenne hankkeen laatupäällikkö, tekniikan tohtori ja betoniasiantuntija, Liikenneviraston taitorakenneyksikön asiantuntijoita, rakennuttajapäällikkö sekä työmaainsinööri. Haastatellut henkilöt työskentelevät urakoitsijoiden, Liikenneviraston siltayksikön sekä rakennuttajakonsulttien edustajina. Kaikki haastatteluun valitut haastateltavat osallistuivat haastatteluun. Haastateltavat henkilöt valittiin tämän opinnäytetyön tilaajan eli YIT rakennus Oy:n ja Liikenneviraston kanssa pidetyssä opinnäytetyöpalaverissa. Palaveri pidettiin Liikenneviraston päätoimipisteellä Itä-Pasilassa joulukuussa 2016 ja palaverissa päätettiin, että YIT Rakennus Oy ja Liikennevirasto yhteistyökumppanina ottavat yhteyttä haastattaviin henkilöihin työn nopeuttamiseksi ja tavoitteiden saavuttamisen varmistamiseksi. Samassa palaverissa päätettiin, että opinnäytetyön tekijä laatii haastattelukysymykset ja sopii haastateltavien kanssa haastattelujen ajankohdista ja haastattelutavasta. Haastattelutavoiksi valittiin paikan päällä tehtävä haastattelu sekä sähköisesti tehtävä haastattelu, joista paikan päällä tehtävä haastattelu oli ensisijainen haastattelutapa. (Haastattelun toteutus, liite 2). Haastattelukysymyksien laadinnan jälkeen järjestettiin toinen palaveri, joka pidettiin tammikuussa 2017 ennen varsinaisten haastattelujen aloittamista. Palaverin tarkoituksena oli arvioida haastattelukysymyksien sisältöä, loogista järjestystä sekä sitä, miten hyvin kysymykset auttoivat saavuttamaan tutkimuksen tavoitteet. (Haastattelulomake, liite 1).

Nykyinen sillan laaturaportin laatimisohje on tehty vuonna 2006. Urakoitsijoiden on laadittava jokaisesta sillan rakennus- tai korjaustyöstä laaturaportti, jolla se osoittaa tilaajalle, että sillan rakennustyö ja valmis taitorakenne ovat vaatimuksenmukaisia ja että ne täyttävät suunnitelmassa asetetut laatuvaatimukset. Laaturaportti pitää laatia laaturaportin laatimisohjeen mukaisesti, ja raportissa urakoitsija osoittaa miten rakennustyön vaatimuksenmukaisuus on käytännössä toteutettu. Laaturaportti palvelee sillan käyttöä, hoitoa, kunnossapitoa ja korjausta. Laaturaportin laatimisohjeessa taas annetaan ohjeet laaturaportin sisällöstä ja esitystavasta. Sillan laaturaportti tehdään laatimisohjeen mukaisesti ja sen takia sen pitää olla kokonaisvaltainen, selkeä, ymmärrettävä ja laajuudeltaan soveltuva sekä myös urakoitsijan raportinlaadintaa tukeva.

### 5.3 Tutkittavat aiheet

Haastattelulomakkeen kysymysten pohjalta (Liite 1, haastattelulomake) on laadittu alla olevat tutkimusaiheet. Seuraavissa kappaleissa on käsiteltyjä tuloksia osittain suorina lainauksina haastatteluista. Kaikki vastaukset on esitetty anonyymisti.

#### 5.3.1 Laatukäsitteen tarkoitus haastateltavien mukaan

Vaikka yksiselitteistä määritystä laadulle ei ole olemassa, haastateltujen asiantuntijoiden mukaan laadun voidaan ymmärtää tarkoittavan tuotteen vastaavuutta vaadittuihin kriteereihin.

*Laatu on minun mielestä tavallaan jonkun asia vastaavuus sen vaatimuksille eli sillä mitataan, miten hyvin se vastaa sitä, mitä on vaadittu lopputuotteelle eli laatu on mittari lopputuotteelle. (Haastattelu)*

Jokaisessa rakennusprojektissa tilaajan on määriteltävä ominaisuuksia lopputuotteelle. Sama periaate pätee myös betonisiltojen rakennusprojekteissa. Liikenneviraston tai jonkun muun betonisillan tilaajan on määriteltävä rakennettavalle betonisillalle laatuvaatimukset, joihin urakoitsija on sitouduttava ja jotka sen tulee toteuttaa. Laatu muodostuu yksittäisistä tekijöistä jokaisessa rakentamisvaiheessa ja ne vaikuttavat yhdessä lopputuotteen laatuun. Lähtökohtaisesti suunnitteluvaihe vaikuttaa eniten laatuvaatimukseen, sillä suunnitteluvaiheessa tehdään päätökset toteutusratkaisuista. Mutta jo ennen suunnitteluvaihetta tehdään sellaisia ratkaisuja ja päätöksiä, jotka vaikuttavat ja määrittelevät laatua.

*Laatuketjun pitää kulkea läpi kaikki hankkeen vaiheet eikä se saa katketa missään kohtaa. Laatu lähtee jo suunnittelun tilaamisesta ja oikeasta suunnittelutamisesta. (Haastattelu)*

Suunnitellut laatuvaatimukset voidaan saavuttaa tekemällä ennakkosuunnittelu, toteutus ja jälkihoito huolellisesti. Lisäksi urakoitsija pitäisi pyrkiä tuottamaan ”yllilaatua”, eli tilaajan asettamien vaatimusten pitäisi olla minimitaso. Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi tarvitaan riittävän laajaa ja tehokasta valvontaa, joka sisältää tarkastukset ja dokumentoinnin jokaisesta työvaiheesta.

Työturvallisuutta ja laadun huomioimista ei myöskään voida erottaa. Urakoitsijan pitäisi rakentaa kerralla oikein ja kaikki turvallisuusnäkökohdat huomioiden. Dokumentoinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä urakoitsijan tekemää laaturaporttia, joka osoittaa tilaajalle, että työ suoritettiin suunnitelmien mukaisesti ja turvallisesti. Betonisillan laaturaportin laatimisessa on noudatettava sillan laaturaportti-laatimisohjetta. Laaturaportti on apuväline, jota käytetään myös sillan käytössä, hoidossa sekä kunnossapidossa ja sen takia se tulisi laatia huolellisesti.

### 5.3.2 Urakoitsijan laaturaportti ja sen tarkoitus

Suunnitteluvaiheella on keskeinen osa laatuvaatimuksien toteutuksessa. Vanha sanonta ”hyvin suunniteltu on puoliksi tehty” pätee vain, jos suunnitelmat ovat hyvin laadittuja ja toteutuskelpoisia.

Betonisillan rakentamisen toteuttaa urakoitsija ja vain harvoin suunnittelija itse osallistuu rakentamiseen. Tämän takia suunnittelijan pitäisi olla huolellinen ja tarkka suunnitelmien laatimisessa sekä arvioida etukäteen minkälaisia toteutusriskejä suunnitelmiin liittyy. Suunnittelija voi esimerkiksi pohtia, onko mahdollista, että jotkut raudoitusteräukset asennetaan väärin, ja jos tämä on mahdollista, niin muuttaa suunnitelmia tai lisätä suunnitelmiin tietoa, jotta riski raudoitteiden väärinasentamiseen poistuu tai pienenee. Suunnittelijan pitäisi myös pohtia työturvallisuuteen liittyviä riskejä ja suunnitella rakenteet siten, että rakentamisen työvaiheet voidaan suorittaa turvallisesti.

Valitut suunnitteluratkaisut vaikuttavat taloudellisesti ja laadullisesti koko rakennushankkeeseen ja niiden seuraukset voivat olla merkittäviä. Kärjistetysti voidaan sanoa, että vääränlaiset ja kalliit rakenneratkaisut aiheuttavat laatuongelmia ja rakennuskustannusten tarpeetonta nousua. (Kankainen & Junnonen. 2015, 33.)

*Hyvällä suunnittelulla saadaan mahdollisuus hyvän laadun tekemiseen ja huonolla suunnittelulla menetetään mahdollisuus hyvään laatuun. (Haastattelu).*

Betonisillan tilaajan pitäisi varata riittävästi aikaa sekä suunnittelijoiden valintaan, että suunnitteluvaiheeseen, sillä näissä vaiheissa tehdyt ratkaisut vaikuttavat konkreettisesti rakentamisen vaiheeseen. Lisäksi tilaajan on selvitettävä

rakennushankkeen lähtötiedot, jotta suunnitelmat voidaan laatia oikeisiin lähtötietoihin nojaten.

*Suunnitteluvaiheen merkitystä on korostettava, koska suunnittelussa tehdyt päätökset vaikuttavat siihen, että pystytäänkö kohde rakentamaan kaikki laatuvaatimukset huomioiden. (Haastattelu).*

Huolellisuus suunnitteluvaiheessa on erityisen tärkeää ja sillä varmistetaan, että urakoitsijalle jää vain kohteen rakentaminen. Betonisillan rakentaminen on vaativa projekti, joka vaatii selkeitä, hyviä, oikeita, tarkkoja ja toteutuskelpoisia suunnitelmia.

Betonisillan suunnittelun kustannukset ovat pieniä verrattuna sillan rakentamisen kustannuksiin, mutta on muistettava, että valitut suunnitteluratkaisut vaikuttavat huomattavasti rakentamisvaiheeseen. Suunnitelmien puutteellisuudet ja virheet voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa odottamattomia seurauksia, kuten valmiin rakenneosan purkamisen. (Haastattelu).

*Huolellinen suunnittelu, huolellinen toteutus ja huolellinen ylläpito. (Haastattelu)*

Jos betonisillan suunnitelmat ovat puutteellisia tai toteutuskelvottomia, voi siitä aiheutua negatiivisia seuraamuksia esimerkiksi seuraaviin asioihin:

- Aikatauluun
- Kustannuksiin
- Laatuvaatimusten toteutumiseen
- Kommunikointiin hankkeen osapuolien välillä
- Hankkeen koordinointiin
- Yhteistyöhön hankkeen osapuolien välillä

Kun betonisillan suunnitelmat kelpaavat sekä urakoitsijalle että suunnittelijalle ja laaturaportin teko rakentamisen aikana on systemaattista, niin sillä on risti-riitoja ehkäisevä vaikutus. Virheettömät suunnitelmat ovat avain laatuvaatimusten noudattamiseen ja täyttymiseen.



Vaikka betonisillan suunnitelmat olisivat moitteettomia, on rakennushankkeen toteuttajan omasta puolestaan tehtävä tarvittavat tuotantosuunnitelmat ja toimenpiteet, jotta rakentamisessa ei syntyisi turhia ongelmia. Ennen työn aloittamista betonisillan urakoitsijan on tehtävä tarvittavia ennakkosuunnitelmia. Ennakkosuunnittelulla varmistetaan, että kaikki toimenpiteet on mietitty etukäteen eli työn etenemisvaiheet, laatuvaatimukset, työturvallisuus, aikataulut, työympäristö, tekniset työsuunnitelmat, laatusuunnitelmat, työjärjestys ja muut toimenpiteet ja että ne ovat selkeitä.

Tässä haastattelututkimuksessa selvisi, että erityisesti urakoitsijoiden pitäisi tutustua laaturaporttiohjeen sisältöön sekä sillan yleisiin ja siltakohtaisiin laatuvaatimuksiin ja toimia niiden mukaan. (Haastattelu).

### 5.3.3 Nykyinen sillan laaturaportin laatimisohjeen ajankohtaisuus

Opinnäytetyössä tutkittiin nykyisen laatimisohjeen ajankohtaisuutta, ja todettiin että nykyinen laaturaportin laatimisohje pitäisi päivittää seuraavien syiden perusteella (Haastattelu):

- Nykyinen laatimisohje sisältää vielä sillanrakentamisen laatuvaatimukset, SLT ja Ratahallintokeskuksen julkaisu SRL-R, jotka korvattiin InfraRYL 2006:n osalla 3.
- Laatimisohje ei ole yhteensopiva nykyisen tietotekniikan kanssa.
- Nykyinen laaturaportin laatimisohje on päivitettävä, koska Infra RYL osa 3 Sillat ja rakennustekniset ohjeet on tätä opinnäytetyötä tehtäessä samanaikaisesti päivityksessä.

Haastattelututkimuksen avulla selvitettiin myös muutoksia, jotka haastateltavien mielestä pitäisi ehdottomasti tehdä ja sisällyttää uuteen laaturaportti-laatimisohjeeseen. Kymmenessä vuodessa rakennusalalla ja erityisesti taitorakenteiden rakentamisessa on tapahtunut paljon ja uutta asiaa on opittu paljon. Seuraavassa on lueteltu asioita ja ehdotuksia, jotka tässä tutkimuksessa nousi esille ja jotka toivottiin sisällytettävän uuteen laatimisohjeeseen (Haastattelu):

- Uudistetussa ohjeessa pitäisi siirtyä pois kahden kansion rakenteesta (I-kansio ja II-kansio), yhden kansion rakenteeseen käytössä olevaa Taitorakennerekisteriä mukaillen.

- Laaturaportin rakenne tulisi digitalisoida. Muotona pitäisi olla yksi raportti, joka voisi koostua esimerkiksi eri työvaiheista, työvaiheiden mitaus- materiaali- ja testaustuloksista, poikkeamista, niiden korjaamisesta jne.
- Raporttiin tulisi voida liittää tietomalliin yhdistetyt rakenneosakohtaiset laaturaportin osat, joita tarvitaan erityisesti taitorakenteen käytössä ja kunnossapidossa.
- Varusteita, laitteita ja eristeitä voitaisiin avata ohjeessa enemmän.

Haastateltujen asiantuntijoiden mukaan betonisiltojen laaturaportissa ei tarvitse enää käyttää kahta eri osaa vaan yhtä kansiota. (Haastattelu). Sillan laaturaportti kertoo yhdestä rakenteesta eli sillasta. Käyttämällä kahta eri kansiota vaikeutetaan turhaan tietojen saatavuutta laaturaportista. Kun käytetään eri kansioita yhdestä rakenteesta, joudutaan myös usein kirjaamaan samat tiedot samasta rakenteesta eri paikkoihin. Yksi kansio riittäisi ja helpottaisi urakoitsijan laaturaportin tekemistä ja tilaajan raportin tarkastusta. Uusi kansio koostuisi seuraavista asioista: laaturaportti, poikkeamaraportti, materiaalitodistukset, rakennussuunnitelmat, kaivu- ja louhintatyöt, täytöt, paalutus, peruslaatat, pääty- ja välituet, päällysrakenne, pintarakenne, varusteet ja laitteet ja siltapaikan rakenteet. Kansioden yhdistäminen parantaisi entisestään sillan tietojen säilytystä ja niiden hyödyntämistä tulevaisuudessa. Tällä menetelmällä tietoja ei enää katoa, vaan niitä ovat käytettävissä ja helposti saatavilla yhdestä kansiosta (Liite 3: betonisillan laatukansion rakenne).

Laaturaportin digitalisoituminen on tullut vahvasti esille tässä tutkimuksessa. Kaikki haastateltavat olivat sitä mieltä, että on aika siirtää koko laaturaportti sähköiseen muotoon. Sähköisessä dokumentoinnissa ei vain yksinkertaisteta raportointia vaan raportissa olevia tietoja pystytään myös hyödyntämään entistä paremmin. Tiedonkulku tehostuu, kun käytetään sähköistä muotoa sillan laaturaportissa ja kaikilla hankkeen osapuolilla on mahdollisuus käyttää samaa raporttipohjaa. Esimerkiksi jos betonivalmistaja, tilaaja ja sillan urakoitsija käyttävät samaa sähköisessä muodossa olevaa raporttipohjaa, pystytään tekemään tarkastus ennen betonin toimitusta työmaalla. Betonivalmistuksen jälkeen betonitoimittaja voi kirjata betoniominaisuudet yhdistettyyn laaturaporttiin.

mään ja tiedonkulku nopeutuu, eikä urakoitsijan tarvitse tarkastella kuormakirjaa hankalissa olosuhteissa työmaalla, missä paperiversiossa olevat tiedot betoniominaisuuksista voivat joskus vahingoittua. (Haastattelu)

Sähköisessä muodossa olevan sillan laaturaportin hyödyt:

- Säästetään aikaa
- Tiedonkulku ja -käsittely nopeutuvat
- Vähän sähköpostia osapuolien välillä
- Vaikutetaan positiivisesti kustannuksiin
- Voi keskittyä muihin tehtäviin
- Parannetaan tiedonhallintaa
- Parannetaan laaturaportointia
- Yhteistyö sujuu entistä paremmin
- Toteumatiedot ovat saatavilla helposti
- Objektiivinen tarkastelu asetettujen laatuvaatimusten ja toteutettujen laatu-tietojen välillä paranee
- Suunnitelmat ja toteumat ovat samassa paketissa, mikä helpottaa tiedon käyttöä betonisillan käytössä, hoidossa ja kunnossapidossa

Sähköinen muoto tehostaa ja nopeuttaa tiedon käsittelyä, siirtymistä, varastointia ja esittämistä (Lahti & Salminen 2014, 19).

#### 5.3.4 Laaturaportti suureessa infrahankkeessa

Uuden betonisillan rakentaminen on usein monivaiheinen projekti ja siksi se vaatii selkeää laaturaportointia ja seurantaa. Rakentamisen haasteet kasvavat, kun kyseessä on iso hanke, kuten moottoritien rakentaminen, johon tulee paljon uusia siltoja. Esimerkiksi tätä opinnäytetyötä tehdessä YIT Rakennus Oy, joka on tämän lopputyön tilaaja, rakentaa E18-moottoritien loppuosaa, jonka pituus on 33 kilometriä Haminasta Vaalimaalle. Opinnäytetyön tekijä on ollut kyseisessä hankkeessa työharjoittelussa ja päässyt tutustumaan hankkeen laadunhallintajärjestelmään laaturaporttien ohjaamana. Hankkeessa rakennetaan vajaa 50 siltaa, mikä vaatii tarkkuutta laaturaporttien hallinnassa.

Taitorakenteiden hankkeissa on tehtävä laaturaportti, joka vakuuttaa, että työt tehtiin sopimuksen mukaisesti. Isoissa hankkeissa, joissa rakennetaan useita

betonisilloja, laaturaporttien hallinta on haastavaa, koska syntyy helposti lukuisia tiedostoja ja niiden hallinta on vaikeaa. Raportit tulee myös säilyttää kokosillan käyttöänsä ajan. Tässä opinnäytetyössä haastatellut asiantuntijat olivat sitä mieltä, että laaturaportointi on monimutkaistunut sen takia, että rakennusala on ollut pitkään perinteisiä käytäntöjä eikä digitaalisuutta ole otettu vastaan varhaisessa vaiheessa. Samalla, on syntynyt käsitys, että tilaaja vaatii paljon dokumentointia ja turhia tietoja myös laaturaportissa. Haastateltujen mukaan väärinkäsitykset ovat syntyneet, koska ei ole ollut olemassa sopiva laadunhallintajärjestelmiä, jotka mahdollistaisivat laaturaportin sujuvan tekemisen. Puutteellinen laadunhallintajärjestelmä johtaa usein haasteisiin laaturaporttien käsittelyssä ja niiden hyödyntäminen tulevaisuudessa vaikeutuu. Digitaalisuus olisi ratkaisu yllä mainittuihin haasteisiin, koska sen avulla laaturaportteja pystytään hallitsemaan, käsittelemään, siirtämään ja käyttämään missä tahansa ja säästettäisiin aikaa sekä rahaa.

*Paperista pitäisi päästä mahdollisimman paljon eroon, turha paperin kasaaminen mappeihin on turhaa kansantaloustuhlaamista. Urakoitsijan pitäisi pian digitalisoida laaturaportin asiat ja tilata jokin kevyt tietokantajärjestelmä, joka toimisi tavallaan projektipankkina. Se säästäisi aikaa ja olisi helppo käsitellä.* (Haastattelu).

Yhdistetty laadunhallintajärjestelmä voisi olla myös yksi keino vähentää laaturaporttien määrää, sillä kun kaikki osapuolet käyttävät esimerkiksi yhteistä laaturaporttijärjestelmää, vain yksi osapuoli tekee raportin ja muut osapuolet tarkastavat sen.

*Jos voit tästä varata hotellin mistä päin maailmaa tahansa, miksi yhdistetty laadunvalvonta ei onnistuisi.* (Haastattelu).

Esimerkiksi yhteisessä laadunhallintajärjestelmässä betonitehdas voisi syöttää järjestelmään betonin ominaisuudet betonitehtaassa ja urakoitsijalle ja tilaajalle jäisi vain tietojen tarkastus. Tämä vähentäisi turhien raporttien tekemistä ja nopeuttaisi työn sujuvuutta. Lisäksi se olisi tehokasta ja paikasta riippumattonta ja mahdollistaisi objektiivisen tarkastelun, jos yhteiseen laadunhallintajärjestelmään olisi jo kirjattu laatuvaatimukset. Toimintatapa säästäisi aikaa ja

mahdollistaisi vaikuttamisen ajoissa esimerkiksi jonkin toimitettavan rakennusmateriaalin saapumiseen työmaalle. Yhteisen laadunhallintajärjestelmän onnistuminen vaatisi, että kaikki osapuolet tekevät yhteistyötä.

Tämän opinnäytetyön yhteydessä tavoitteena oli myös selvittää silta-asiantuntijoilta, mitä tietoja silloista pitäisi heidän mielestä kerätä ja raportoida tilaajalle. Nämä tiedot tulisi siten myös säilyttää sillan taitorakennerekisterissä. Kyseessä on tärkeimmät siltaa koskevat tiedot, joita tarvitaan sillan ylläpidossa ja korjaamisessa. Nämä tiedot ovat haastattelututkimuksen mukaan:

- 1) Kaikki rakennussuunnitelmat
- 2) Tiedot betonista, raudoitteista ja muista materiaaleista
- 3) Rakenteiden mitta- ja sijaintitiedot (toteutuneet mitta- ja sijaintitiedot)
- 4) Suunnitelmapiiirustukset
- 5) Poikkeamaraportit
- 6) Rakenneosien lujuusmittaukset
- 7) P-lukulaskelmat
- 8) Terästen peitteisyysjakaumat
- 9) Jännitys- ja injektointipöytäkirjat
- 10) Betonipintojen tarkastusraportit ja pintojen käsittelyt

Yllä mainitut tiedot ja muut sillan tärkeimmät tiedot tulee säilyttää keskitetysti, jotta tietoa voidaan hyödyntää myös tulevaisuudessa. Tämän vuoksi pitäisi harkita, että mahdollisuuksien mukaan tieto säilytettäisiin sähköisessä muodossa, josta se olisi helposti saatavilla tarvittaessa. Sähköisessä muodossa oleva data antaa suoraa informaatiota, kun taas paperimuotoisista dokumenteista tietojen löytäminen on hankalaa ja hidastaa. Tietojen säilytys datamuodossa mahdollistaa myös tiedonsiirron järjestelmästä toiseen.

### 5.3.5 Poikkeamaraportti

Sillan rakennustyö suoritetaan suunnitelmadokumenttien perusteella. Joskus rakentamisvaiheessa jokin työvaihe saattaa olla haasteellinen toteuttaa, mikä voi johtaa siihen, että toteutettu rakenne poikkeaa suunnitelmista ja laatuvaatimuksista. Jos urakoitsijan omassa tarkastuksessa havaitaan poikkeamia laatuvaatimuksista, tehdään siitä poikkeamaraportti.

InfraRYL 2006 mukaan, poikkeamaraportti laaditaan kaikista rakenteeseen jäävistä ja kaikista korjaustoimenpiteitä edellyttävistä laatu-poikkeamista. Myös kaikista toiminnallisista poikkeamista laaditaan poikkeamaraportti. (InfraRYL 2006a, 79).

Poikkeama voi tulla esimerkiksi betonoinnissa, jos jossain sillan rakenneosassa betonia ei ole tiivistetty hyvin tai jos betoniin on syntynyt koloja ja joiden seurauksena betonin pintaluokan vaatimusta ei saavuteta.

Poikkeamasta ilmoitetaan viipymättä tilaajalle suullisesti ja mahdollisimman pian kirjallisesti. Poikkeamasta tehdään poikkeamaraportti, jossa kuvataan poikkeaman kohde ja sijaintitieto, poikkeaman syy, korjaussuunnitelma ja suunnitelma puutteellisuuden poistamiseksi. Lisäksi poikkeamaraportissa on myös osoitettava, miten tapahtunut poikkeama estetään jatkossa. Urakoitsijan tulee laatia korjauksesta suunnitelma, ja jos korjaussuunnitelma muuttaa rakennetta, on urakoitsijan hyväksyttävä suunnitelma tilaajalla ennen työn aloittamista. (Infra RYL 2006a, 79.)

Poikkeama voi liittyä esimerkiksi seuraaviin asioihin:

- Hankittu rakennusmateriaali ei täytä haluttuja ominaisuuksia tai se on vahingoittunut kuljetuksen aikana
- Rakenne, varuste tai laite ei täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia

Tässä lopputyössä tutkittiin poikkeamaraportoinnin sisällön laajuutta ja raportointitavan tehokkuutta ja riittävyyttä. Tavoitteena oli tässä tapauksessa nykyisen poikkeamaraportin uudistaminen parantaminen ja sen merkityksen varmistaminen tulevaisuudessa. Raportin sisällöstä on toivottu, että tulevaisuudessa suunnittelun poikkeamat kuvataan mahdollisesti laajasti.

*Mieluummin liian herkästi kuin ei koskaan. Ellei tehdä ollenkaan, herättää sekin epäilyksiä työn laadusta.* (Haastattelu)

Nykyisissä laaturaporteissa panostetaan enemmän poikkeaman korjaussuunnitelmaan eikä kuvata poikkeamaa tarkemmin ja riittävän laajasti. Tapahtunut poikkeama olisi selvitettävä laajasti seuraavien syiden vuoksi:

- Poikkeaman juurisyyn löytäminen vähentää todennäköisyyttä saman virheen uusiutumiselle

- Vähentää jatkossa poikkeamaraportoinnin tarvetta
- Mahdollistetaan aikataulussa pysyminen
- Poikkeamaraporttien vähentyessä laatu paranee ja urakoitsija ja tilaaja voivat panostavaa olennaisiin asioihin
- Työmaakäynnit vähentyvät, kun poikkeamaraportteja ei synny niin paljon
- Ei synny odottamattomia kustannuksia
- Rakenne voidaan korjata hyvin ja tarvittaessa korjaussuunnitelman avulla voidaan varmistaa, että rakenteen kestävyys ja muut ominaisuudet ovat alkuperäisen suunnitelman kaltaisia
- Yhteistyö urakoitsijan ja tilaajan välillä ei kärsi, kun poikkeaman laatu ja syy on selvitetty yhteisymmärryksellä eikä riitoja näin pääse syntymään.
- Poikkeama voi vaikuttaa rakenteen käyttöikään ja korjaustarpeeseen tulevaisuudessa

Korjaussuunnitelma laaditaan kirjallisesti heti kun poikkeama on havaittu. Mikäli poikkeama on rakenteellinen, voi se vaatia uusia mitoituslaskelmia suunnittelijalta. Suunnitelma laaditaan kirjallisesti ja se hyväksytetään tilaajalla. Aikataulun tiukkuuden vuoksi poikkeamaraportti laaditaan joskus nopeasti, mikä voi vaikuttaa sopivan korjausmenetelmän valintaan. Kun poikkeama havaitaan työmaalla, pitäisi tilaajaan ottaa yhteys, jotta tämä pääsee vaikuttamaan korjaustavan valintaan sekä tarkastamaan korjaussuunnitelman. Välillä tilaajaan ei saada nopeasti yhteyttä esimerkiksi viikonlopun, vuorokaudenajan tai loman vuoksi. Tällöin työmaalla voidaan tehdä pikainen päätös poikkeaman korjaustavasta ja poikkeamaraportti laaditaan kiireessä. Vääränlainen korjaustapa voi aiheuttaa lisää vahinkoja ja tilanne voi pahentua. Poikkeamaraportin laadintaa pitäisikin varata riittävästi aikaa ja korjaussuunnitelma laatia huolella. Kiire ja tiukka aikataulu aiheuttavat paineita työmaalla etenkin työnjohdolle, mutta poikkeaman sattuessa tämä kiire pitäisi unohtaa hetkeksi ja miettiä tilanne rauhassa, silläkin uhalla, että aikataulu venyy. Haastattelututkimuksessa erään haastatellun mielestä poikkeamaa ei saisi kutsua virheeksi vaan inhimilliseksi tekijäksi, joka voi sattua ihan missään vaan töitä tehtäessä. (Haastattelu)

Tilaajan suhtautuminen poikkeamaan vaikuttaa paljon siihen, miten korjaussuunnitelma laaditaan ja sen toteutus tapahtuu. Jotta poikkeamasta syntyviltä

riidoilta välttyttäisiin, olisi tilaajan edustajan hyvä käydä työmaalla aika-ajoin seuraamassa, miten työt edistyvät. Työmaan tunteminen ja rakennustyön haasteiden tiedostaminen auttaisivat poikkeamatapauksissa, sillä poikkeaman synty olisi tällöin helpompi ymmärtää ja asia olisi helpompi viedä eteenpäin käsittelyyn. Tilaaja myös tietäisi, että poikkeaman syntyminen ei ole johtunut laiminlyönnistä, mikä ehkäisee epäilyjen syntymistä. (Haastattelu).

Tehokasta ja riittävää tilaajan suorittamaa valvontaa työmaalla pitäisi tehostaa entistä paremmin. Tulevaan taitorakenteiden laaturaportti-laatimisoheeseen on toivottu, että eri osapuolten tekemää töiden valvontaa avattaisiin enemmän. On vaikea päästä samaan mielipiteeseen laatupoikkeamasta, jos yksi osapuoli tekee töitä työmaalla ja toinen kaukana työmaasta.

Kaikissa betonisiltojen rakennusprojekteissa on usein samoja haasteita ja niissä tehdään usein samoja virheitä. Haastateltavien mielestä syitä tähän pitää hakea muun muassa urakoitsijan ja tilaajan asenteista ja sitoutumisesta, työntekijöiden taidoista ja pätevyyksistä, työn valvonnan riittävydestä ja tehokkuudesta, työmenetelmistä ja kalustosta.

Betonisillan luovutuksessa tilaajalle olisi hyvä aika arvioida poikkeamaraportit urakoitsijan kanssa ja tehdä suunnitelma toimenpiteistä, joilla estettäisiin vastaavat poikkeamat jatkossa. Poikkeamaraporttien avulla pitäisi oppia ja kehittää hyvää rakentamistapaa poimimalla jokaisen betonisillan rakentamisesta sellaiset toimenpiteet, joilla voidaan ehkäistä eri hankkeissa havaittuja laatupoikkeamia. Hankkeen osapuolilla on mahdollisuus vaikuttaa hyvään rakentamistapaan arvostamalla palautteen antoa.

Laatupoikkeamat ovat niiden suuruuden ja niiden aiheuttaman riskin kannalta erilaisia. Kaikista syntyvistä laatupoikkeamista ei haastateltujen mukaan välttämättä tarvitsisi tehdä poikkeamaraporttia. Poikkeama voi olla esimerkiksi merkityksetön riskin aiheuttamisen kannalta, vähäisen riskin aiheuttava, kohtuullisen riskin aiheuttava, merkittävän riskin aiheuttava tai sietämättömän riskin aiheuttava.

*Tarvittaisiin luokittelu, jossa määritellään eri poikkeamien luokka. Kaikki poikkeamat eivät ole vakavia, mutta joillakin voi olla suurikin merkitys.* (Haastattelu).



Laatupoikkeamien luokittelu helpottaisi poikkeamaraportin tekemistä. Poikkeamaluokan käyttäminen mahdollistaisi seuraavat asiat:

- Poikkeaman suuruuden ja laajuuden arvioinnin
- Ei tarvitse tehdä turhaa raportointia, jota ei hyödynnetä jatkossa mitenkään
- Päästäisiin eroon merkityksettömien poikkeamien raportoinnista
- Pelkkä poikkeamasta otettu selkeä kuva riittäisi todistamaan tapahtuneen
- Voitaisiin keskittyä olennaisiin laatupoikkeamiin
- Säästettäisiin aikaa
- Tarkistettavat poikkeamaraportit vähentyisivät
- Riidat merkityksettömistä laatupoikkeamista vähenisivät

#### 5.3.6 Tietomallin hyödyntäminen laaturaportissa

Liikenneviraston mukaan tietomallilla tarkoitetaan digitaalisessa muodossa olevaa, rakennelman 3-ulotteista esittämistä, joka sisältää rakennelman ominaisuustiedot. (liikennevirasto 2017a). Tietomallinnuksesta käytetään yleisesti myös nimitystä BIM eli ”Building Information Modelling”. Suunnittelutoimistoissa on yleisesti käytössä suomalainen tietomallinnusohjelma Tekla Structures, jonka avulla voidaan tehdä monipuolisia 3D-malleja rakenteista.

Tietomallintaminen on yleistynyt infra-alalla, mutta tietomalleja ei hyödynnetä laaturaportin tekemisessä. Tietomallia voitaisiin hyödyntää entistä paremmin esimerkiksi tuottamalla sellaisia tietomalleja, joissa olisi mahdollisuus vertailla suunnitelmaan asetettuja laatuvaatimuksia ja toteutumatietoja.

*Laaturaportin tiedot tulisi viedä tietomalliin eikä tarvitsisi aina tehdä erillistä raporttia. (Haastattelu).*

Jotta tämä toimintatapa toimisi, taitorakenteen tilaajan olisi määriteltävä tarkasti mitä hän haluaa suunnittelijoilta ja urakoitsijoilta. Tietomallia ei hyödynnetä vain rakennusaikana, vaan sitä voidaan myös hyödyntää rakennusprojektin käytön, hoidon, tarkastuksen ja ylläpidon aikana. Jo hankkeiden kustan-

nusarvioissa olisi hyvä käyttää tietomalleista saatavia raportteja mahdollisuuksien mukaan. Vaikka suunnittelutoimistoissa käytetään erilaisia tietomallinnusohjelmia, on tärkeää, että käytössä on yhteinen tallennus ja tiedonsiirtoformaatti. Tällöin tietomalleissa oleva tieto voidaan välittää kaikille osapuolille ilman, että tietoa katoaa. Tietomallin käytön tavoitteet on esitetty ”Yleiset Tietomallivaatimukset” -julkaisussa (Yleiset Tietomallivaatimukset 2012. osa 1, 5):

- Tukea hankkeen päätöksentekoprosesseja
- Sitouttaa osapuolet hankkeen tavoitteisiin mallin avulla
- Havainnollistaa suunnitteluratkaisuja
- Auttaa suunnittelua ja suunnitelmien yhteensovittamista
- Nostaa ja varmistaa rakennusprosessin ja lopputuotteen laatua
- Tehostaa rakentamisaikaisia prosesseja
- Parantaa turvallisuutta rakentamisen aikana ja elinkaarella
- Tukea hankkeen kustannus ja elinkaarianalyysyjä
- Tukea hankkeen tietojen siirtämistä käytönaikaiseen tiedonhallintaan

Tietomalli voi olla hyödyllinen apuväline myös urakoitsijalle, jos tämä ymmärtää tietomallin mahdollisuudet. Tietomallinnusta ei käytetä vain suunnittelun työkaluna, vaan tietomallia voidaan hyödyntää myös rakentamisvaiheessa.

*Tietomalli ei ole vain visuaalinen ja kaunis 3D-postikorttimalli, joita on ollut olemassa jo vuosikymmeniä. BIM-malli kattaa paljon muutakin: ominaisuuksia, joita rakennusteollisuus sekä rakennusten käyttö ja ylläpito voivat hyödyntää monin tavoin. (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 5).*

Urakoitsija voisi hyödyntää tietomallia rakentamisvaiheessa esimerkiksi lisäämällä toteutamattatiedot tietomallin. Muita haastattelussa esille tulleita tietomallin hyötyjä ovat:

- Säästetään aikaa
- Vaikutetaan positiivisesti kustannuksiin
- Voi keskittyä muihin tehtäviin
- Parannetaan tiedonhallintaa
- Parannetaan laaturaportointia
- Yhteistyö sujuu entistä paremmin
- Toteumatiedot ovat saatavilla helposti

- Objektiivinen tarkastelu asetettujen laatuvaatimuksien ja toteutettujen laatumietojen välillä
- Suunnitelmat ja toteumat ovat samassa paketissa, mikä helpottaa tiedon käyttöä betonisillan käytössä, hoidossa ja kunnossapidossa

Osana tätä opinnäytetyötä haluttiin selvittää, miksi urakoitsijat eivät käytä tietomalleja rakentamisvaiheessa, vaikka se olisi hyödyllistä. Tietomallien käyttö vaatii käyttäjältä positiivista asennetta ja halua oppia uusia asioita, koska tietomalliohjelmien käyttö on usein aluksi hankalaa ja monimutkaista. Tietomalliin perehtyminen ei ole yksinkertaista vaan se vaatii uudelta käyttäjältä sitoutumista.

*Tietomallien käyttö on nykyisin liian hankalaa ja monimutkaista. Käytön pitäisi olla yksinkertaista, jotta ei tarvitse perehtyä kuukausikaupalla ohjelmiston käyttöön.* (Haastattelu).

Lisäksi tietomallien käyttö ei yleisty nopeasti seuraavien syiden vuoksi:

- Urakkasopimuksen muoto ei edellytä tietomallin käyttöä
- Tietomallin käytön osaamattomuus
- Resurssien puute
- Ei halua oppia uutta
- Epäilyt tietomallinnuksen vaikutuksesta yrityksen tavalliseen toimintatapaan
- ”Näin se on aina ollut”- toimintatapa

Urakan sopimusmalli voi vaikuttaa tietomallin käytön tarpeellisuuteen ja halukkuuteen. On olemassa erilaisia urakkasopimuksia, kuten esimerkiksi kokonaisurakka, jaettu urakka, KRV-urakka eli kokonaisvastuurakentaminen, alistettu sivu-urakka, allianssimalli ja niin edelleen. KVR-urakassa urakoitsija vastaa rakennettavan kohteen suunnittelusta ja sen toteutuksesta. Tässä urakkamallista on heikkouksia tietomallinnuksen käytön suhteen, koska pääurakoitsija vastaa vain tilaajan tarpeisiin eli laatuvaatimukseen. Tässä urakkamallissa ei oteta heti uusia ideoita tai uusia toimintatapoja käyttöön kuten tietomallinnusta, sillä urakoitsija ei halua ottaa riskejä käyttämällä ohjelmistoja, joista sillä ei ole kokemusta.

Allianssimalli on muoto, jossa on mahdollista vaikuttaa innovaatioihin. Allianssimallissa tilaajan, suunnittelijan ja rakentajan tavoitteet ovat samoja ja riskit ja-

kaantuvat koko sidosryhmälle. Allianssitoimintamallissa jokaisen osapuolen tarpeet ja toiveet otetaan vastaan ja arvioidaan yhdessä. Jos huomataan, että tietomallin käyttö hankkeessa voi vaikuttaa myönteisesti hankkeeseen, suurella todennäköisyydellä tietomallinnus otetaan myös käyttöön. Allianssimallia käytetään nykyään paljon esimerkiksi haastavissa ja epävarmuustekijöitä sisältävissä hankkeissa kuten moottoritiehankkeissa.

Tietomallin käyttö voi helpottaa ja edesauttaa urakoitsijan työtä erilaisten tuotantosuunnitelmien tekemisessä, kuten esimerkiksi resurssien arvioinnissa, määrrien laskennassa, työjärjestyksen suunnittelussa, työmaan aluesuunnittelussa ja turvallisuussuunnittelussa, aikataulun laadinnassa ja seurannassa sekä toteumatilanteen havainnollistamisessa. (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 56).

#### 5.4 Haastattelutuloksien analysointi

Haastatteluvastauksien perusteella laadittiin yhteenveto seuraavaan taulukkoon. Taulukko koostuu kahdesta sarakkeesta, joista ensimmäisessä on tutkittavat aiheet ja toisessa yhteenveto haastateltavien mielipiteistä ja näkemyksistä liittyen uuteen sillanlaaturaportin laatimisohjeeseen. Toisessa sarakkeessa prosenttiluku ilmoittaa, kuinka suuri osuus haastatelluista kannattaa ehdotusta tai toivetta. Lisäksi taulukossa on esitetty tunnuksella A opinnäytetyön tekijän asiasta.

Haastattelukysymys	yhteenveto
Laadun määrittely, hankkeen kokonaislaatu	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kaikki haastateltavat olivat sitä mieltä, että koska laatu on subjektiivinen käsite, niin betonisillan tilaajan on siksi määriteltävä selkeästi, mitä hän haluaa lopputuotteelta. Laadun kriteerien tulee olla selkeät ja yksityiskohtaisesti eritellyt, jotta toteuttajat pystyisivät toteuttamaan rakenteen.</li> <li>2. Noin 72 % haastateltavista oli sitä mieltä, että laatu vaikuttaa koko hankkeen ketjussa ja koko hankkeen ajan. Jokaisessa hankevaiheessa tehdään ratkaisuja ja päätöksiä, jotka vaikuttavat betonisillan laatuun.</li> </ol> <p>A. Laatua ei voi tehdä yksin, vaan yhteistyöllä.</p>
Betonisillan suunnitteluvaiheen vaikutus sillan laatuun ja laatuvaatimuksiin	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kaikkien haastateltujen mukaan (100 %) suunnitteluvaiheessa tehdään ratkaisuja, jotka vaikuttavat konkreettisesti laatuun.</li> <li>2. Noin 58 % haastatelluista ilmaisi että suunnitteluvaiheeseen ei varata riittävää aikaa, minkä takia rakennusvaiheessa syntyy joskus turhia haasteita.</li> </ol> <p>A. Kun suunnitelmat ovat toteutuskelpoisia, niin suurella todennäköisyydellä myös rakentaminen ja sitä kautta myös laaturaportin tekeminenkin onnistuu hyvin.</p>
Laatimisohteen ajankohtaisuus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 100 % haastatelluista näkee, että nykyinen sillan laaturaportti-laatimisohtje pitää uudistaa. Ohje on vanhentunut, minkä takia raportointi on haastavaa, raportin tekeminen vie aikaa ja sen hyöty tulevaisuudessa on epävarmaa.</li> </ol> <p>A. Tarvitaan enemmän yhteistyötä urakoitsijan ja laaturaportti-laatimisohtjeen laatijan välillä. Yhteistyön kautta voidaan ottaa huomioon sekä urakoitsijan että ohjeen laatijan näkökulmat.</p>

Laaturaportin tiedonhallinta	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 100 % haastatelluista näkee sähköisessä muodossa tapahtuvan raportoinnin olevan paras ratkaisu laaturaportin tiedonhallinnan kannalta.</li> <li>2. 100 % haastatelluista oli sitä mieltä, että paperisesta dokumentoinnista pitää luopua.</li> <li>3. Noin 58 % näkee tietomallin käytön laaturaportoinnissa olevan hyödyllistä, mikäli suunnittelussa on käytetty tietomallia.</li> <li>4. Noin 42 % näkee että tietomalli mahdollistaisi objektiivisen tarkastelun laaturaportoinnissa.</li> <li>5. Noin 42 % näkee että yhdistetyn laadunvalvontajärjestelmän kautta laaturaportointi, tarkastukset ja tiedonhallinta voidaan hallita entistä paremmin.</li> <li>6. Noin 72 % näkee että betonisillan tilaajan tulee miettiä, mitkä betonisillan tiedot pitää säilyttää datana ja mitkä dokumentteina. Tätä varten tutkimuksessa kerättiin kohdassa 5.3.4 esitetyt sillan tärkeimmät tiedot.</li> </ol> <p>A. Laaturaportti on usein laaja kokonaisuus, jonka läpikäyminen yhdellä kertaa vähän ennen kohteen vastaanottoa voi olla työlästä. Raportointi ja tarkastukset voitaisiin tehdä sovitusti ja hallitusti osissa montakin kertaa, mikä helpottaisi työskentelyä, tiedonhallintaa ja vähentäisi mahdollisia isossa raportoinnissa ja tarkastuksessa syntyviä virheitä. Se mahdollistaisi myös betonisillan yksityiskoh- taista tarkastelua rakenneosittain.</p>
Laaturaportoinnin tapa ja tehokkuus	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 58 % haastateltavilta näkee, että tarvitaan laatupoikkeamien luokittelua.</li> <li>2. Noin 42 % näkee että laatupoikkeama tulisi kuvata laajasti, jotta voidaan kehittää parannuksia seuraavia hankkeita varten.</li> </ol>

Taulukko 7: Haastattelun tuloksien yhteenveto

## 6 Yhteenveto

Taitorakenteen elinkaari on usein yli 50 vuotta ja silloilla yleensä 100 vuotta. Taitorakenteen kantavien rakenteiden tulee toimia ja kestää läpi koko rakenteen eliniän ilman haitallisten vaurioiden syntymistä. Kantaviksi rakenteiksi voidaan lukea betonisiltojen pohjarakenteet, perustus- ja tukirakenteet sekä päällysrakenteiden laatat. Osana taitorakenteen koko elinkaaren aikaista ylläpitoa laaturaportti on tavallaan tärkeä apuväline, jota voidaan käyttää sillan kunnan seuraamisessa sekä tarvittaessa sillan korjauksessa oikeilla lähtötiedoilla. Sen takia laaturaportin laadunhallintajärjestelmän on oltava sellainen, mikä tukee sekä tilaajan että urakoitsijan tarpeita. Sillan rakentamista ja ylläpitoa tukeva laadunhallintajärjestelmä ja sen laadinta perustuvat sillan laadunraportti-laatimisohjeeseen, minkä takia sen tulisi olla sähköisessä muodossa siten, että kaikki osapuolet voivat hyödyntää sitä tarvittaessa. Sähköisessä muodossa olevat laaturaportit ovat helposti saatavilla ja niiden säilytys ja käsittely ovat varmempia verrattuna paperiversioina oleviin raportteihin.

Toinen laaturaporttien laadunhallintaa tukeva keino on hyödyntää tietomallinnusta. Tietomallinnusta ei ole kuitenkaan vielä kehitetty urakoitsijan tarpeiden tasolle siten, että urakoitsija voisi sitä hyödyntää. Lisäksi tietomallinnusohjelmia pitäisi kehittää siten, ettei niiden käyttö olisi niin hankalaa. Tietomallin käyttö nopeuttaisi laaturaportointia ja helpottaisi objektiivista tarkastelua, jos esimerkiksi tietomallissa olisi varattu kenttä suunnittelijan laatuvaatimuksille, kenttä urakoitsijan toteumatiedoille sekä kenttä tilaajan kommentteille.

Laatupoikkeaman syntyessä urakoitsijan on tehtävä ilmoitus tilaajalle sekä suullisesti että kirjallisesti. Ilmoituksen tekeminen on tärkeää, mutta joskus sattuu merkityksettömiä poikkeamia, joiden korjauksessa voitaisiin edetä ilman, että kaikilta osapuolilta pitäisi pyytää asiaan kommenttia. Tämä vähentäisi osapuolten turhautumista pikkuasioiden käsittelyyn.

Ehdotettuna ratkaisuna oli laatupoikkeamien luokittelu esimerkiksi niistä aiheutuvien riskien perusteella. Poikkeama voi aiheuttaa merkityksettömän riskin, vähäisen riskin, kohtuullisen riskin, merkittävän riskin tai sietämättömän riskin. Osapuolten kesken voitaisiin esimerkiksi sopia, että merkityksettömän

riskin poikkeamien korjaustoimenpiteistä voitaisiin sopia erikseen ilman raskasta prosessia. Luokitteluasteikko varustettaisiin kriteereillä, jotka antaisivat suuntaa poikkeaman luokittelua varten. Poikkeamien luokittelu kehittäisi ja parantaisi työskentelytapoja sekä estäisi turhien raporttien laadintaa.

Laatupoikkeamien esiintymistä ja siten myös niiden raportointitarvetta voidaan vähentää parantamalla yhteistyötä kaikkien osapuolien välillä sekä etenkin kehittämällä palautteenantoa. Palautteenantotilaisuus voisi olla hyvä tilaisuus keskustella poikkeamien syntymisen syistä sekä siitä, miten ne voitaisiin jatkossa estää. Ennen uuden siltaprojektin aloittamista tilaaja voisi myös järjestää tapahtuman, jossa käydään läpi tulevan kohteen erityispiirteiden lisäksi sellaisia poikkeamaraportteja ym. seikkoja, jotka ovat kriittisiä tulevan siltaprojektin onnistumisen kannalta. Tällaisessa tilaisuudessa olisi myös helppo arvioida, miten toteutuskelpoisia kohteisiin tehdyt suunnitelmat olivat ja näin voisi jatkossa syntyä suunnitelmaratkaisuja, joiden laatuvaatimukset olisi helpompi toteuttaa, eli tavallaan standardisoitaisiin suunnitelmia. Suunnitelmien standardisoiminen on toimintatapa, jolla voidaan varmistaa toteutuskelpoiset suunnitelmat ja kun rakenne toistuu kohteissa. Toisaalta jokainen siltakohde on yksilöllinen varsinkin rakennuspaikan osalta.

Nykyisellään laaturaportit ovat enimmäkseen dokumenttimuotoisina. On tarve kehittää sellainen laaturaportointitapa, joka tukee laaturaporttien tiedonsiirtoa eri järjestelmien välillä. Jotta tiedonsiirto onnistuu, pitäisi raportointitapa muuttaa dokumenttikäsitteestä tietokantoihin ja datakäsitteeseen, jossa määrämukoiset tiedot siirretään toiseen järjestelmään hallitusti ja ilman tietojen katoamista.

Liikennevirasto tulee teettämään uuden ohjeen betonisillan laaturaporttia tekemiseen. Siinä tullaan käyttämään asiantuntijoita, jotka tuntevat sillanrakentamisen kaikkine osa-alueineen ja ymmärtävät myös kokonaisuuden. Toivottavasti myös tässä työssä todetut sekä haastattelussa ja kyselytutkimuksessa esille tulleet seikat voidaan ottaa huomioon.



## Lähteet

Betonityypit ja oikean betonin valinta. s.a. Betoni. Saatavissa: <http://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonityypit-ja-oikean-betonin-valinta/> [viitattu 21.3.2017].

Finnsementti. s.a. Standardilujuudelle- ja varhaislujuudelle asetetut vaatimukset. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/sementti/laatu/sementtistandardi/standardilujuudelle-ja-varhaislujuudelle-asetetut-vaatimukset> [viitattu 30.3.2017].

InfraRYL. 2006a. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 3. Sillat ja rakennustekniset osat. RT 14-10920. Helsinki: Rakennustieto Oy.

InfraRYL. 2006b. Rakenneosa- ja hankenimikkeistö. Saatavissa: [https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/infra\\_net/infra\\_nimikkeistot/5zkZtEmyb/INNFR2006\\_akennusosa\\_Maara\\_versio\\_2-1.pdf](https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/infra_net/infra_nimikkeistot/5zkZtEmyb/INNFR2006_akennusosa_Maara_versio_2-1.pdf) [viitattu 28.3.2017].

Jäväjä, P. & Lehtoviita T. 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Kankainen, J. & Junnonen J.-M. 2015. Rakennuttaminen. 3. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Keskustakirjasto. 2016. Sillan jännitys alkaa lakulla ja laakereilla. Saatavissa: <http://keskustakirjasto.fi/2016/10/04/sillanjannitys-alkaa-lakulla-ja-laakereilla/> [viitattu 17.4.2017].

Laatukilpailu. 2016. Rakennusteollisuus. Rakentamisen laatuteko. Saatavissa: [www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Laatu/Mita-on-rakentamisen-laatu/laatuteko-kilpailu/](http://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Laatu/Mita-on-rakentamisen-laatu/laatuteko-kilpailu/) [viitattu 15.12.2016].

Lahti, S. & Salminen, T. 2014. Digitaalinen taloushallinto. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Liikennevirasto. 2017a. Palvelutuottajat. Mikä on tietomalli.

Saatavissa: [http://www.liikennevirasto.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli-#.WMZYq\\_KbdRQ](http://www.liikennevirasto.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli-#.WMZYq_KbdRQ) [viitattu 13.3.2017].

Liikennevirasto. 2016. Tiehankkeet. Tie rakenteilla. Saatavissa: <http://www.liikennevirasto.fi/e18vaalimaa#.WMrGNYGLS1s> [viitattu 16.3.2017].

Liikennevirasto. 2013. Sillan tarkastuskäsikirja. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-26\\_sillantarkastuskasikirja\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-26_sillantarkastuskasikirja_web.pdf) [viitattu 5.1.2017].

Liikennevirasto. 2014. Eurokoodin soveltamisohje. Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Saatavilla: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2014-25\\_ncci2\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-25_ncci2_web.pdf) [viitattu 27.3.2017].

Liikennevirasto. 2016. Siltabetonien P-lukumenettely ohje 22/2016. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2016-22\\_siltabetonien\\_p\\_lukumenettely\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2016-22_siltabetonien_p_lukumenettely_web.pdf) [Viitattu 27.3.2017]

Liikennevirasto. 2017b. Taitorakenteiden inventointiohje. Helsinki: Liikennevirasto. Julkaisematon luonnosversio.

Lujitustekniikka. 2017. Liikuntasaumalaitteet ja laakerit. Saatavissa: <http://lujitustekniikka.fi/liikunta.html> [viitattu 17.4.2017].

Rakennusmestarit ja – insinöörit AMK RKL ry. 2010. Betoni pdf. Saatavissa: [www.rkl.fi/vaasa/ajankohtaista/fi\\_FI/Koulutukset/.../Betoni.pdf](http://www.rkl.fi/vaasa/ajankohtaista/fi_FI/Koulutukset/.../Betoni.pdf) [viitattu 28.2.2017].

SFS-EN 2016: en. 2013. Betoni. määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus.

Suomen betoniyhdistys ry. 2016. Betoninormit by 65. Helsinki: By-koulutus Oy.

Suomen betoniyhdistys ry. 2007. Betonirakentamisen laatuohjeet by 47. Helsinki. Suomen betonitieto Oy.

Suomen rakennusinsinöörien liitto ry. 1974. Pohjarakennus RIL 95. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.

Talonrakennusteollisuus ry. 2017. Rakennustöiden laatu. 11., painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Tiehallinto. 2007. Betoni-yleisohje. silko 1.201. Tavanomaiset betonimassojen notkeusluokat. Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201\\_2007.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201_2007.pdf) [viitattu 27.3.2017].

Verkkohaastattelun tavoite ja tulos. s.a. Rakennusteollisuus. Saatavissa: <http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/verkkohaastattelun-tulokset.pdf> [viitattu 6.1.2017].

Virtual statistics. 2017. Haastattelutavat. Teemahaastattelu. Saatavissa: <https://www.stat.fi/virsta/tkeruu/04/03/> [viitattu 2.4.2017].

VTT. 2016. Rakentamisen turvallisuuden hallinta. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/ytya/t-suunnittelu.htm> [viitattu 21.1.2017].

Yleiset Tietomallivaatimukset. 2012. Osa 1. Yleinen osuus. Saatavissa: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_1\\_yleinen\\_osuus.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf) [viitattu 13.3.2017].

Ympäristöministeriö. 2016. Kansalliset hyväksyntämenettelyt. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Rakennustuotteiden\\_tuotehyvaksynta/Kansalliset\\_hyvaksyntamenettelyt](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Rakennustuotteiden_tuotehyvaksynta/Kansalliset_hyvaksyntamenettelyt) [viitattu 14.3.2017].

Liite 1: Haastattelulomake

Laatija: Ignace Hagumimana

Opinnäytetyö:

## Betonisillan laadunhallintajärjestelmän uudistaminen-lähtötietoselvitys

Tilaaaja & yhteistyökumppani: YIT Rakennus Oy & Liikennevirasto

Perustiedot:

Nykyinen Sillan laaturaportti-laatimisohe on laadittu vuonna 2006 ja se on siten yli 10 vuotta vanha. Vaikka ohjeen sisältö ei ole kovin vanhaa, on kymmenessä vuodessa tapahtunut taitorakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa kehitystä ja parannusta, jotka voidaan sisällyttää uuteen laatimisoheeseen. Tämän haastattelututkimuksen tavoitteena on kerätä ehdotuksia ja mielipiteitä uuden laatimisoheen sisältöä varten. Sinun arvokkaat ehdotukset ovat tervetulleita tukimusta varten.

### Haastattelukysymykset

1. Mitä teidän mielestä laatu on? Mistä se oikeasti alkaa, kun katsotaan kaikki rakennusvaiheet taitorakenteiden hankkeissa.
2. Kuinka betonisillan suunnitteluvaihe vaikuttaa sillan asetettuihin laatuvaatimuksiin.
3. Tällä hetkellä käytetään vielä kymmenen vuotta vanha laaturaportti-laatimisohe.
  - 3.1 onko se teidän mieltä vielä ajankohtainen.
  - 3.2 Jos ei, mitkä muutoksia tarvitaan ja jotka sisällytetään uuteen laaturaportti-laatimisoheeseen (urakoitsijan ja tilaajan näkökulmasta) eli uuden laaturaportin laatimisoheen rakenne ja koostumus.
4. Taitorakenteiden hankkeissa on tehtävä laaturaportti, joka vakuuttaa, että työt tehtiin sopimuksen mukaisesti. Isoissa hankkeissa jossa rakennetaan betonisillat, laaturaportin hallinta on haastava, koska usein helposti syntyy lukumääräisiä tiedostoja ja niitä on vaikeaa hallita ja säilyttää koko sillan käyttöikä.

4.1 Oletko joskus ollut yllä kuvatussa tilanteessa eli isossa hankkeessa, jossa laaturaportointi on haastava lukuisten tiedostojen takia. Miten olet selvinnyt, antaisitko vinkkejä laaturaportoinnin laatimiseen ja hallintaan.

4.2 Onko turhia vaadittuja raportoitavia tietoja laaturaportissa (laatimisohteesta).

4.3 Mitkä olisi ehdottomia sillan tietoja, jotka kannattaa säilyttää koko sillan elinkaaren ajan ja jotka voidaan siirtää taitorakennerekisteriin.

4.4 Missä muodossa kannattaisi säilyttää tärkeimmät sillan tiedot niin että niitä olisi helppo saatavilla ja käytettävissä koko sillan suunniteltu käyttöikä eli hoito-, käyttö- ja ylläpitovaiheessa.

5. Poikkeamaraportti jos jostain syystä rakenne ei vastaa sille asetut laatuvaatimukset.

5.1 Mitä tietoja ja missä muodossa poikkeamiin liittyviä asioita tuli raportoida.

5.2 Onko nykyinen tapa tehokas ja riittävä.

6. Tietomalli on yleistynyt rakennusosalalla.

6.1 Miten digitaalisuuden tulisi näkyä tulevassa laaturaportin laatimisohteessa.

6.2 Miten urakoitsija voisi hyödyntää tietomallin käyttö laaturaportin laatimisessa.

6.3 Mitä ehdotuksia antaisit niin että tietojen siirto sujuisi ongelmatta ja kaikki osapuolilla olisi hyötyä tallennetuista malleista.

7. Mitä käytännöllisiä neuvoja antaisit betonisillan rakentajia (urakoitsija) ja tilaaja niin, että laaturaportin hallinta olisi hyödyllistä kaikille osapuolille.

## Liite 2: Haastattelun toteutus

Haastateltava	Nimike ja Yritys	Yhteysotto	ehdotettu-aika	Toteutus tilanne	Kesto	Paikka
1	Rakennuttajakonsultti, Sito OY	17.1.2017	24.1.2017	Ok	noin 1h	Kotka
2	Työmaainsinööri YIT Rakennus OY	23.1.2017	30.1.2017	Ok	noin 1h	Hamina
3	Rakennuttajapäällikkö, YIT Rakennus Oy	17.1.2017	31.1.2017	Ok	1,5h	Pasila
4	Silta-asiantuntija, Liikennevirasto	23.1.2017	10.2.2017	Ok	noin 1h	Lappeenranta
5	Matala consulting	17.1.2017	15.2.2017	Ok	S-Posti	S-posti
6	Laatupäällikkö, YIT Rakennus Oy	22.2.2017	11.3.2017	27.2.2017	Sähköposti ja palaveri	S-posti/ Pasilassa
7	Silta-asiantuntija, Liikennevirasto	22.2.2017	11.3.2017	21.3.2017	Sähköposti ja palaveri	S-posti / Palaveri Pasilassa

## Liite 3: Betonisillan laatukansion rakenne

