



Claudia Schallmeiner

# Kehäsiltojen laadunvarmistaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

3.5.2025

## Tiivistelmä

Tekijä: Claudia Schallmeiner  
Otsikko: Kehäsiltojen laadunvarmistaminen  
Sivumäärä: 42 sivua  
Aika: 3.5.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka  
Ammatillinen pääaine: Infrarakentaminen  
Ohjaajat: Lehtori Anu Ilander  
Työnjohtaja Jani Korhonen

---

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin erilaisiin kehäsiltyyppeihin ja niiden perustamistapoihin. Kehäsiltoihin on olemassa Väyläviraston julkaisemat suunnitteluohjeet ja tyyppiirustukset suorajalkaiselle sekä vinojalkaiselle laattakehäsilille, jotka ovat vaipaasti käytettävissä. Kehäsiltoja rakentaessa on tärkeää noudattaa työselostuksessa ja InfraRYLssä esitettyjä vaatimuksia.

Opinnäytetyöhön koottiin voimassa olevat InfraRYL:n mukaiset kehäsiltoja koskevat laatuvaatimukset. Siltojen laadunvarmistaminen tehdään erilaisin laatukskein ja mittauksin, joista jokainen on käyty tarkasti läpi. Laadunvarmistuksessa tärkeää on huolellisuus ja rehellisyys. Virheistä ja poikkeamista tulee kertoa avoimesti tilaajalle ja tarpeen vaatiessa ne korjataan. Sillan laaturaportissa olevat tiedot viedään Taitorakennerekisteriin, joka toimii omaisuudenhallintajärjestelmänä silloille sekä muille taitorakenteille. Sen tarkoituksena on ylläpitää siltojen kuntotietoja ja kartoittaa huolto- tarpeita.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Skanska Infra Oy ja työn tarkoituksena on toimia ikään kuin muistilistana kehäsiltojen laadunvarmistamisen osalta. Opinnäytetyö tarjoaa hyödyllistä tietoa kehäsiltojen laadunvarmistuksesta ja voi toimia työkaluna etenkin vasta valmistuneelle työnjohtajalle.

Avainsanat: laattakehäsilta, laadunvarmistaminen

## Abstract

Author: Claudia Schallmeiner  
Title: Quality Assurance of Portal Frame Bridge  
Number of Pages: 42 pages  
Date: 3 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Civil Engineering  
Professional Major: Infrastructure  
Supervisors: Anu Ilander, Senior Lecturer  
Jani Korhonen, Construction site supervisor

In this engineering thesis, different types of portal frame bridges and their foundation methods were studied. There are design guidelines and type drawings published by Väjälä for straight-legged and inclined-legged portal frame bridges, which are freely available. When constructing portal frame bridges, it is important to follow the requirements presented in the work description and InfraRYL.

The thesis compiled the quality requirements for portal frame bridges according to the current InfraRYL. Quality assurance of bridges was carried out using various quality tests and measurements, each of which has been thoroughly reviewed in this thesis. Precision and accuracy are important in quality assurance. Errors and deviations must be openly reported to the client and fixed if necessary. The information in the bridge quality report is entered into the Structural Asset Register (Taitorakennekisteri), which serves as an asset management system for bridges and other structures. Its purpose is to maintain the condition information of bridges and chart maintenance needs.

The thesis was commissioned by Skanska Infra Oy, and its purpose was to serve as a checklist for quality assurance of portal frame bridges. The thesis provides useful information on quality assurance and can serve as a tool, especially for newly graduated site supervisors.

Keywords: frame bridge, quality assurance

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kehäsillat	2
2.1	Vinojalkainen laattakehäsilta BLK II	2
2.2	Suorajalkainen laattakehäsilta BLK I	3
2.3	Kehäsiltojen perustamistavat	3
2.3.1	Maanvarainen perustamistapa	3
2.3.2	Kallionvarainen perustamistapa	4
2.3.3	Paalujen varainen perustamistapa	4
3	Laatuvaatimukset ja kelpoisuuden osoittaminen	6
3.1	Maa- ja pohjarakenteet	6
3.1.1	Kaivutyöt	7
3.1.2	Täytöt	8
3.1.3	Paalutus	10
3.2	Peruslaatat	10
3.3	Kehäjalat	11
3.4	Päällysrakenteet	13
3.4.1	Kannen pintarakenteet	14
4	Laadunvarmistustoimenpiteet	18
4.1	Täyttöjen kantavuusmittaukset	18
4.1.1	Levykuormituskoe	18
4.1.2	Pudotuspainolaite	19
4.1.3	Loadman	20
4.2	Raudoitus ja muottityöt	20
4.3	Betonityöt	21
4.3.1	Betonin ennakkokokeet	21
4.3.2	Työmaalla tehtävät kokeet	22
4.3.3	Betonin peitepaksuudet	24
4.3.4	Pinta ja väri vaihtelu	25
4.4	Eristystyöt	26
4.4.1	Absoluuttinen kosteus	26

4.4.2	Betonipinnan makrokarheus	27
4.4.3	Tartuntalujuus	28
4.4.4	Optimitiheys ja eristyksen paksuus	29
4.4.5	Vesitiiviys	29
5	Laaturaportointi	30
5.1	Taitorakennerekisteri	31
5.2	Arvonvähennys	32
6	Maanteiden 130 ja 1311 parantaminen	33
6.1	S1 Ilvesvuoren Pohjoinen alikulkukäytävä	34
6.2	S2 Kuusimäen alikulkukäytävä	40
7	Johtopäätökset	41
	Lähteet	42

## **Lyhenteet**

PDA: Pile Driving Analyzer, paalujen dynaaminen kuormitus

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee kehäsiltojen laadunvarmistusta ja siihen liittyviä menetelmiä. Kehäsillat ovat yksi Suomen yleisimmistä siltatyypeistä ja niiden kestävyys ja turvallisuus ovat ensiarvoisen tärkeitä. Työssä tarkastellaan aluksi erilaisia kehäsiltatyyppejä sekä niiden perustamistapoja, minkä jälkeen siirrytään kehäsiltojen laatuvaatimuksiin.

Työssä esitellään myös konkreettisia esimerkkejä laadunvarmistuskokeiden toteutuksesta ja periaatteista. Lopuksi käsitellään kahden käynnissä olevan sillan rakentamista ja niissä tähän saakka tehtyjä laadunvarmistustoimenpiteitä case-esimerkein. Opinnäytetyö on rajattu koskemaan sillan perustuksia, alusrakennetta ja päällysrakennetta. Sillan varusteet ja laitteet sekä ulkopuoliset kuivatusrakenteet on jätetty tarkastelematta.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Skanska Infra Oy ja työn tarkoituksena on toimia ikään kuin muistilistana kehäsiltojen laadunvarmistamisen osalta. Opinnäytetyö tarjoaa hyödyllistä tietoa kehäsiltojen laadunvarmistuksesta ja voi toimia työkaluna etenkin vasta valmistuneelle työnjohtajalle.

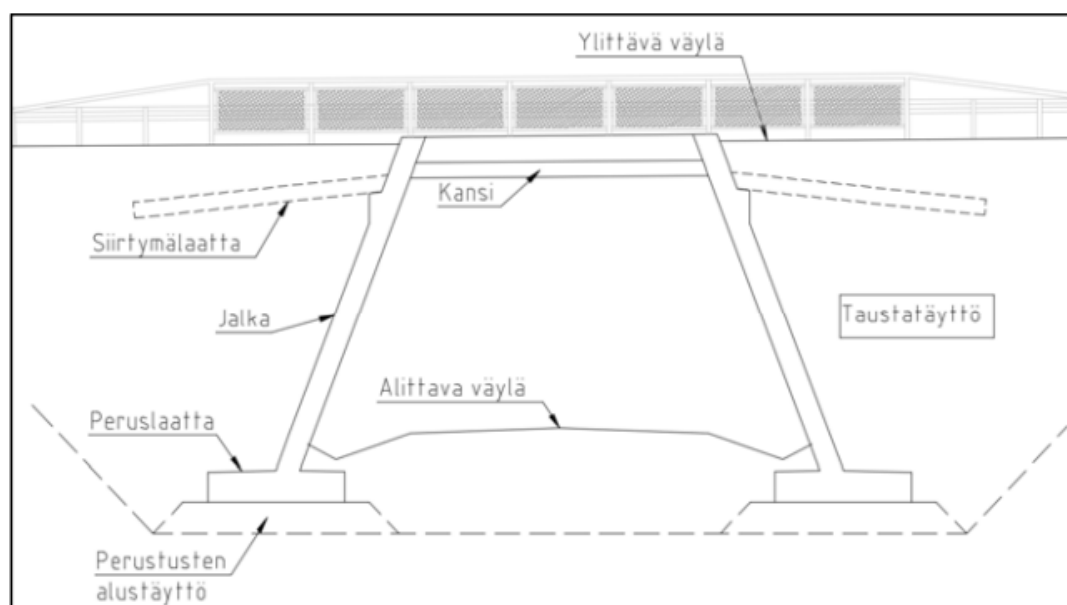
Opinnäytetyössä käytetään InfraRYL:n uusinta julkaisua.

## 2 Kehäsillat

Kehäsillat ovat yksi Suomen yleisimmistä siltatyypeistä ja ne toimivat yleensä kevyen liikenteen alikulkukäytävinä. Ne ovat jännemitaltaan pieniä siltoja ja niiden vapaa-aukot ovat yleensä 4,0–8,0 metriä, riippuen kehäsillan tyypistä. Kehäsillat rakennetaan yleensä Väylän tyyppiin ja suunnitteluohjeiden mukaan mutta voidaan suunnitella erikoisemmissa tapauksissa myös erikseen siltasuunnittelijan toimesta. Piirustukset ovat vapaasti saatavilla ja ne tulee täydentää vastaamaan hankkeen siltaa. Sillan yleispiirustus ja mittapiirustus tulee aina laatia siltakohtaisesti.

### 2.1 Vinojalkainen laattakehäsilta BLK II

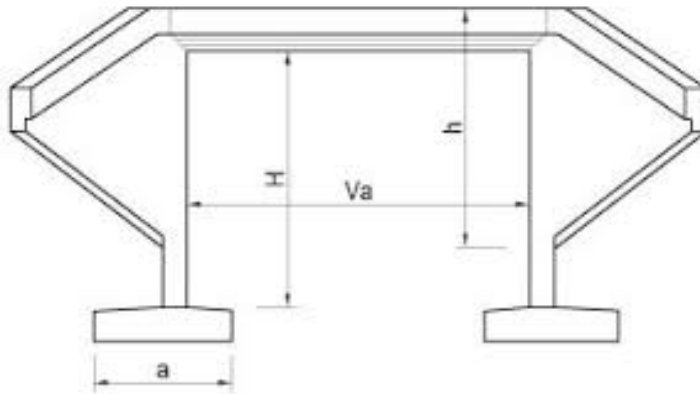
Vinojalkainen laattakehäsilta (blk II) koostuu perustuksista eli yleensä puhutaan peruslaatasta, seinämäisistä jaloista ja kannesta eli kansirakenteesta. Sillan vapaa-aukko on yleensä 4,0–6,0 metriä leveä ja jalan korkeus taas vaihdellen 3,5–6,0 metrin välillä. Kehäsillan tulee aina 5 metriä pitkät siirtymälaatat ja jalan kaltevuus on poikkeuksetta 2,5:1. Alla olevassa kuvassa esitetty vinojalkaisen kehäsillan rakenne. (2. s. 8–9.)



Kuva 1 Vinojalkainen kehäsilta (2. s.7)

## 2.2 Suorajalkainen laattakehäsilta BLK I

Suorajalkaisen laattakehäsilan jalat ovat nimensä mukaisesti suorat, mikä tekee rakenteesta yksinkertaisen ja helposti toteutettavan. Vinojalkaiseen kehäsiltaan verrattuna sillan vapaa-aukko voi olla hieman suurempi, yleensä 6,0 tai 8,0 metriä. Kehäsilta varustetaan myös 5 metrin pituisilla siirtymälaatoilla.



Kuva 2 Suorajalkainen kehäsilta (1. s. 9)

## 2.3 Kehäsiltojen perustamistavat

Sillan perustamistavan valintaan vaikuttaa siltapaikan maaperäsuhteet. Perustamistapa voi olla maanvarainen, kallionvarainen tai paaluperustus. Geotekninen suunnittelija toteuttaa sillan pohjarakennussuunnitelman ja esittää siinä pohjasuhteiden lisäksi perustamistavan ja rakenteiden toteuttamistavan sillan pohjarakenteiden suunnitelma-asiakirjoissa.

### 2.3.1 Maanvarainen perustamistapa

Maanvarainen perustamistapa on yleinen menetelmä teräsbetonisten laattakehäsiltojen rakentamisessa. Tämä perustamistapa soveltuu erityisesti silloin, kun maaperä on riittävän kantava ja tasainen ja tällöin maapohja on yleensä tiivistä moreenia tai jotain karkeata maalajia. Maanvaraisessa perustamisessa sillan perustuslaatta asennetaan suoraan maapohjan päälle yleensä tietyn paksuisen

murskepedin välityksellä. Tämä menetelmä on kustannustehokas ja nopeampi toteuttaa, sillä se ei vaadi syvien perustusten rakentamista.

Maanvaraisen peruslaatan valinta tehdään Tiehallinnon Teräsbetoninen laatta-kehäsilta (Blk I) -ohjeesta löytyvien taulukoiden perusteella. Laatan koon valintaan vaikuttaa jalan korkeus, perusmaan kitkakulma ja perustamissyvyys. Rakenteen kokonaispainuma tulee tarkistaa aina hankekohtaisesti määritettyjen raja-arvojen mukaan. (1. s.13.)

Jos pohjamaa on huonosti kantavaa, voidaan peruslaatan alle tehdä esim. massanvaihto. Massanvaihdossa otetaan huomioon maakerroksen ominaisuudet peruslaatan leveyttä vastaavaan syvyyteen saakka. (2. s.16). Joissain tapauksissa heikommillakin maapohjilla maanvarainen voi olla mahdollista, kun useissa tapauksissa kehäsilta tehdään ns. maaleikkaukseen ja penkereestä ei tule painoa maapohjalle, mutta tällöin pitää huomioida painumat.

### 2.3.2 Kallionvarainen perustamistapa

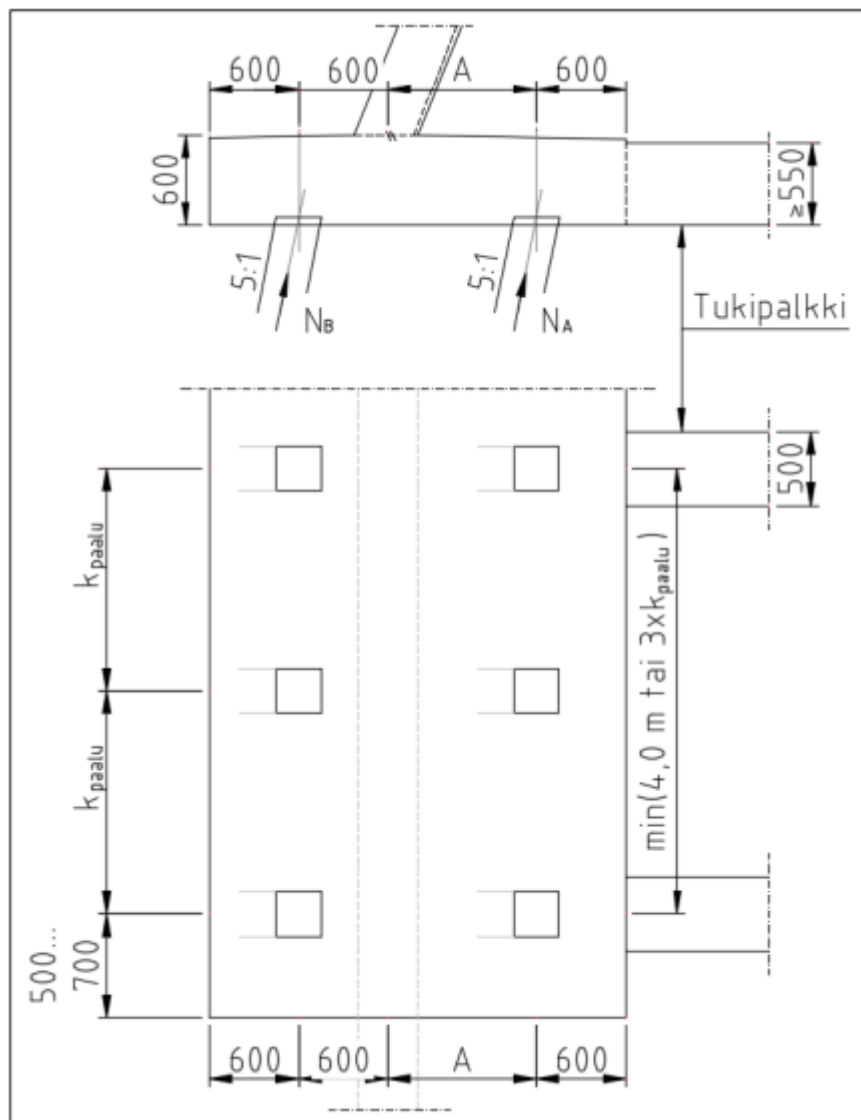
Kallion varaan perustettaessa kehäjalat perustetaan ensisijaisesti murskearinan varaan. Murskearinan paksuus on oltava vähintään 200 mm vinojalkaista kehäsiltaa perustettaessa ja 300 mm suorajalkaista kehäsiltaa perustettaessa. Kehäsilta voidaan myös poikkeuksellisesti perustaa ilman murskekerrosta, suoraan kallion varaan. Tätä tapaa käytettäessä tulee kuitenkin tarkastella peruslaatalle ja kehälle kutistumasta johtuvat lisärasitukset. (1. s.20; 2. s.17.)

### 2.3.3 Paalujen varainen perustamistapa

Paalujen varainen perustus on yleinen menetelmä, kun maaperä ei ole riittävän kantava maanvaraiselle perustukselle tai jos painumat ovat liian suuria. Paalujen tehtävä on siirtää sillan aiheuttamat kuormat kantavalle pohjamaalle tai kalliolle. Paalutyypit valitaan kohteen pohjasuhteiden perusteella ja ne ovat usein teräsputki- tai teräsbetonipaaluja toteutettuna tukipaaluina. Paalujen varaan pe-

rustettaessa anturoiden väliin valetaan tukipalkit jokaisen paaluparin tai takarivissä olevan paalun kohdalle, jos paalut eivät ole pareittain. Tukipalkkien tehtävä on ottaa vastaan niiden päällä olevan maan paino. Tapauskohtaisesti voidaan myös tehdä yhtenäinen peruslaatta eli rengaskehä. (1. s.21.)

Suorajalkaisen laattakehäsillan paalut ovat suoria, mutta vinojalkaisessa laattakehäsillassa paalut laitetaan vinoon kaltevuudella 5:1. Alla tyypikuva vinojalkaisen laattakehäsillan paaluperustuksesta. (2. s.17.)



Kuva 3 Vinojalkaisen laattakehäsillan paaluperustus, paalukartta ja detaljileikkaus (2. s. 19)

### 3 Laatuvaatimukset ja kelpoisuuden osoittaminen

Kaikista rakenneosista laaditaan työ- ja laatusuunnitelma. Suunnitelmassa esitetään kyseisen rakenneosan

- työvaiheet ja niiden toteuttaminen
- työnaikainen laadunvarmistus eli työn aikana tehtävät tarkastukset ja mittaukset
- rakenteen toleranssit ja kelpoisuuden osoittaminen eli kelpoisuuskokeiden määrät ja menettelytavat.

Tekniset vaatimukset ja kelpoisuuden osoittaminen löytyvät InfraRYL:stä (Rakennustieto). Lisäksi urakkakohtaisessa työselostuksessa on usein esitetty tarkennuksia ja mahdollisesti tarkempia vaatimuksia, jotka ovat etusijalla pätemisjärjestyksessä. Yleensä käytetään InfraRYLin voimassa olevaa ohjeistusta (tällä hetkellä InfraRYL 2/2024), mutta toisinaan urakkasopimuksessa saatetaan sopia vanhemman version käytöstä. Työ- ja laatusuunnitelma hyväksytetään tilaajalla vähintään viikkoa ennen töiden aloittamista.

#### 3.1 Maa- ja pohjarakenteet

Maankaivun aikana on tarkistettava pohjasuhteet ja verrattava niitä suunnitelma-asiakirjoihin. Jos pohjasuhteet eivät vastaa suunnitelma-asiakirjoja tulee jatkotoimenpiteistä sopia tilaajan kanssa erikseen. Kaivutason yläpuolella olevan pohjaveden pinnan sekä vesistön ylä- ja alavesipinnan toleranssi suunnitelmiin verrattuna on +/- 0,3 m. Pohjasuhteiden tarkastuksesta laaditaan pöytäkirja, joka toimitetaan tilaajalle. (42010.4 Pohjasuhteiden tarkistaminen.)

Kaivannon sijaitessa paineellisen pohjaveden alueella tai kaivun ulottuessa pohjaveden pinnan alapuolelle, joudutaan pohjaveden pintaa alentamaan. Pohjaveden pinnan alentaminen tehdään suunnitelma asiakirjojen mukaan.

Jos siltakaivanto vaatii tukemista, tehdään se kaivantosuunnitelman mukaisesti niin, ettei ympärillä oleva maa pääse häiriintymään. Tukiseinän yläreunan tulee

ulottua vähintään 0,3 metriä ympäröivän maanpinnan yli ja sitä on tarkkailtava työn edetessä mahdollisten muutosten ja liikkeiden varalta. (42012.3.2 Kaivantojen tukeminen.)

### 3.1.1 Kaivutyöt

Kaivutyöt tulee tehdä huolellisesti ja suunnitelmia noudattamalla. Kaivannon pohja tehdään tasalaatuiseksi ja isot kivet poistetaan. Ylikaivua tulee mahdollisuuksien mukaan välttää, sillä muuten pohjan korkoa joutuu nostamaan mursketäytöllä ja se lisää kaivutöiden kustannuksia. Kaivantojen luiskia tulee seurata kaivutöiden aikana mahdollisilta sortumisilta. Kaivutöiden toleranssit ovat seuraavat:

- Peruskuopan pohjan sijaintipoikkeama pystytasossa +50...-300 mm.
- Maanvaraisessa perustuksessa suuret irtokivet ja kallio louhitaan tai poistetaan vähintään 300 mm perustamistason alapuolelle.
- Louhitulle kalliolle perustettaessa pohjan louhintatoleranssi on 0...400 mm.
- Ylisyvät kaivannot ja epätasaisuudet tulee täyttää ja tiivistää.
- Suoraan kallion varaan perustettaessa tulee kalliopinta tasata peruslaatan alapinnan tasoon ulottuvalla täyttövalulla. Peruslaattaa voidaan paksuntaa kallion pintaan saakka, jos suunnittelijalta on saatu lupa ja ohjeet. Täyttövalun reunan etäisyys peruslaatan reunasta tulee olla yli 500 mm ja kaltevuus kallion pintaan 2:1. Täyttövalun tulee vastata peruslaatan betonia tai betonia C30/37-2, P30. Jos täyttövalu on alle 300 mm paksu, asennetaan sinne betoniteräsverkko, joko T12#250 tai T10#150. Jos valun paksuus ylittää 300 mm asennetaan alapintaan toinen teräsverkko.

Pohjan sijainti tarkkeet sekä pohjan tasaisuus voidaan osoittaa takymetrillä tai koneohjauksella. (InfraRYL 42012.3.1.)

### 3.1.2 Täytöt

Sillan perustusten ympärillä ja alla olevien täyttöjen tarkoitus on perustaa silta tasaiselle ja kantavalle alustalle ja pitää rakenteet kuivina. Tärkeintä on saada täytöt tiivistettyä laadukkaasti, jotta rakenteet eivät painu. Maapohjan tiiviydestä puhuttaessa käytetään käsitteitä tiiviyssaste ja tiiviyssuhde. Tiiviyssaste kertoo, kuinka suuri osa maasta on kiinteää ainesta suhteessa sen kokonaistilavuuteen. Tiiviyssuhde puolestaan ilmaisee, kuinka tiiviiksi maa on saatu tiivistettyä verrattuna sen laboratorioissa määritettyyn maksimiarvoon, ja se on keskeinen mittari rakenteiden kantavuuden ja painumien hallinnan kannalta. Tiiviyssuhde voidaan arvioida esimerkiksi levykuormituskokeilla ja pudotuspainokokeella.

#### *Maanvaraisen perustuksen alkutäytöt*

Maanvaraisen perustuksen alla käytetään täyttömateriaalina soraa, sora- tai kalliomurskettä tai kallioulouhetta, joka täyttää jakavan kerroksen vaatimukset. Louheen tulee olla rapautumatonta ja puhdasta, ilman epäpuhtauksia kuten rai-vausjätettä, maata tai jäätä, ja sen maksimiraekoko saa olla enintään 300 mm.

Täyttöjen toleranssit tasojen ja tiiviyssmittausten osalta ovat seuraavat:

- Täytön yläpinnan korkeusasema +50...-100 mm
- Epätasaisuus enintään 30 mm 3 m:n matkalla
- Levykuormituskokeen  $E_2$  oltava vähintään  $145\text{MN/m}^2$
- Pudotuspainolaitteella  $E_2$  oltava vähintään  $145\text{MN/m}^2$
- Loadman-kokeella  $E_{\text{max}}$ -arvon tulee olla vähintään  $95\text{MN/m}^2$

Alkutäyttöjen tiiviyden ja kantavuuden mitataan jokaiselta alkavalta yhden metrin täyt-  
tökerrokselta, ja ylin mittaus tehdään perustamistasosta. (InfraRYL 42013.3.1.)

Alla on esitetty mittausmäärät eri koetavoille tiiviyden ja täyttöjen rakeisuuden osalta:

Levykuormituskoe, pudotuspainolaite tai volymetrikoe:

- Alle 25 m<sup>2</sup> alueella kaksi mittaussarjaa.
- Yli 25 m<sup>2</sup> alueella kolme mittaussarjaa.
- Yksi mittaussarja sisältää E1 ja E2-kantavuusmittaustulokset
- Volymetrikoe soveltuu vain kohteisiin, joissa käytetyn materiaalin enimmäisraekoko on 16 mm.

#### Loadman-koe:

- Alle 25 m<sup>2</sup> alueella neljä mittaussarjaa.
- Yli 25 m<sup>2</sup> alueella kuusi mittaussarjaa.
- Käytetään ahtaissa kohteissa, joissa levykuormitus- tai pudotuspainolaitteen käyttö on mahdotonta.
- Ylimmän täyttökerroksen tiiviys varmistetaan levykuormitus- tai pudotuspainolaitteella.

#### Rakeisuus:

- Yksi näytteenottokerta jokaista alkavaa 500 m<sup>3</sup>rtr kohti. Enintään kolme näytteenottokertaa per silta. Näytteenottokerralla otetaan vähintään kolme näytettä, joista yhden rakeisuus määritetään. Tarvittaessa tutkitaan loput näytteet.

#### *Sillan taustan täyttö ja perustusten ympärystäyttö*

Sillan taustan tiiviys- ja kantavuusmittaukset tehdään liikennekuormitetulta alueelta. Taustatäytön tiiviys mitataan vähintään jokaiselta alkavalta kahden metrin täyttökerrokselta ja ylimmät mittaukset tehdään sillan siirtymälaatan, kantavan kerroksen tai välikerroksen kohdalta.

#### Levykuormituskoe, pudotuspainolaite tai volymetrikoe:

- Kolme mittaussarjaa per täyttökerros, molemmin puolin siltaa.

#### Loadman-koe:

- Viisi mittaussarjaa per täyttökerros, molemmin puolin siltaa.
- Voidaan käyttää vain, kun täytön kokonaiskorkeus on alle 4 metriä.
- Ylimmän kerroksen mittaus tehdään levykuormituskokeella tai pudotuspainolaitteella.

Perustusten ympärystäytön ollessa osa muuta kerrosrakennetta tai yhtyessä viereiseen kerrosrakenteeseen, ovat vaatimukset kyseisen rakennekerroksen mukaiset. Mittaussarjat otetaan jokaiselta alkavalta kahden metrin täyttökerrokselta. (InfraRYL 42013.5.2.)

Levykuormituskoe, pudotuspainolaite tai volymetrikoe:

- Kaksi mittaussarjaa per täyttökerros, per perustus.

Loadman-koe:

- Neljä mittaussarjaa per täyttökerros, per perustus.

Rakeisuus:

- Yksi näytteenottokerta jokaista alkavaa 500 m<sup>3</sup>rtr kohti. Enintään kolme näytteenottokertaa per silta. Näytteenottokerralla otetaan vähintään kolme näytettä, joista yhden rakeisuus määritetään. Tarvittaessa tutkitaan loput näytteet.

### 3.1.3 Paalutus

Siltakohteen paalutustyöt tehdään PO-2016 Paalutusohjeen ja suunnitelma-asiakirjoissa esitettyjen vaatimusten mukaan. Paalutustyöstä pidetään paalu-kohtaista asennuspöytäkirjaa. Sijainneista tulee laatia toteumapiirustus, josta näkyy mahdolliset sijaintipoikkeamat. Paalujen sallittu sijaintipoikkeama on +/- 0,1 m. Poikkeamien ylittyessä, tulee jatkotoimenpiteistä sopia rakennesuunnittelijan kanssa. (6. s. 182.)

Paaluille tehdään dynaaminen koekuormitus eli PDA-mittaus riippuen paalutustyön luokasta. Yleensä mittaukset kuitenkin vaaditaan, etenkin vaativissa kohteissa, joissa paaluille tuleva kuormitus on suuri tai maaperäolosuhteet haastavat. Mittausten määrä ja niiden minimiarvot määritetään suunnitelma-asiakirjoissa. PDA-mittaukset tekee yleensä ulkopuolinen konsulttiyritys ja niistä laaditaan aina mittauspöytäkirja.

## 3.2 Peruslaatat

Sillan peruslaatat ovat keskeinen osa sillan rakenteellista perustaa, joka tukee sillan kantavuutta ja vakautta. Peruslaatat sijoitetaan sillan tukipilareiden eli kehäsillan kohdalla kehäjalkojen alle. Ne toimivat samalla periaatteella kuin talon anturat eli jakavat ylärakenteelta tulevan kuormituksen tasaisesti maaperään, estäen siltarakenteen painumisen. Peruslaattoja tehdessä noudatetaan seuraavia toleransseja:

## Sijainti:

- Sijaintipoikkeama vaakatasossa +/- 50 mm. Enimmäispoikkeama on +/-100 mm.
- Yläpinnan korkeusasema +100...-50 mm. Enimmäispoikkeamat ovat +200...-100 mm.
- Mitataan peruslaatan nurkkapisteistä. Peruslaatan pituuden tai leveyden ollessa yli 10 metriä, mitataan korkeusasema myös laatan sivun keskikohdalta.

## Mittatarkkuus:

- Vaakamittojen mittapoikkeama +/- 50 mm. Enimmäispoikkeama on +/- 100 mm.
- Paksuuden poikkeama +50...-25 mm. Enimmäispoikkeamat ovat +100...-50 mm.
- Mitataan peruslaatan sivuilta ja päistä laatan yläpinnan tasossa. Pituuden tai leveyden ollessa yli 10 metriä, otetaan mitat myös laatan puolivälistä.
- Paksuus määritetään perustamistason ja peruslaatan yläpinnan korkeusmittausten perusteella

## Betonin peitepaksuus:

- Betonipeitteen paksuus laatan alapinnassa -25 mm. Enimmäispoikkeama on -35 mm.
- Betonipeitteen paksuus laatan sivuilla ja yläpinnassa -10 mm. Enimmäispoikkeama on -15 mm. Vaatimus koskee myös työteräksiä.

## Pinnat:

- Muottia vasten valettu pinta luokka C
- Yläpinta puuhierretty, luokka A
- Pintojen sallittu halkeamakoko on 0,4 mm. Rengaskehän pohjalaa-  
tassa 0,2 mm. (InfraRYL 42110.4.)

### 3.3 Kehäjalat

Kehäjalat ovat osa sillan tukirakenteita, joiden tehtävä on tukea sillan kantta ja siirtää kannen kuormitus tasaisesti peruslaatoille. Kehäjalkojen toleranssit ovat seuraavat:

## Sijainti:

- Yläpinnan korkeusasema +/- 20 mm. Enimmäispoikkeama on +/- 40 mm.

- Sijainti vaakatasossa +/- 40 mm. Enimmäispoikkeama on +/-60 mm.
- Sijainnin poikkeamissa on huomioitava, että kehäsillan vapaa-aukon toleranssit eivät ylitä.
- Vaakasijainti mitataan tuen yläpään tasossa tukilinjan kohdalta.

Sillan vapaa-aukko:

- Vapaa-aukon leveys +50...-25 mm. Enimmäispoikkeamat +100...-50 mm.
- Vapaa-aukko mitataan yleensä tukien yläpään korkeudelta kohtisuorasti.

Mittatarkkuus:

- Poikkileikkausmitan poikkeama määräytyy alla olevan taulukon 42121:T1 mukaisesti.
- Mitataan kehäjalkojen leveys ja paksuus tuen ylä- ja alapäästä. Poikkileikkauksen ollessa yli 5 m, tehdään mittaukset tasavälein enintään 5 metrin välein.

Taulukko 1 Poikkileikkausmittojen poikkeamat (InfraRYL 42121:T1)

Poikkileikkauksen mitta <i>l</i>	Sallittu poikkeama	Enimmäispoikkeama
≤ 150 mm	±10 mm	±20 mm
400 mm	±15 mm	±30 mm
≥ 2 500 mm	±30 mm	±50 mm

Betonin peitepaksuus:

- Betonipeitteen paksuus - 5 mm. Enimmäispoikkeama on 10 mm. Vaatimus koskee myös työteräksiä.

Pinnat:

- Muottia vasten valetut pinnat:
  - Näkyvät pinnat luokka A, väri vaihteluluokka B
  - Piiloon jäävät pinnat luokka C
- Yläpinnat:
  - Puuhierretty luokka AA
- Pintojen sallittu halkeamakoko on 0,3 mm. Jos silta sijaitsee alueella, jossa vedenpinta vaihtelee tai kehäjalat altistuvat tieltä roiskuvalla suolavedellä on sallittu halkeamakoko 0,2 mm. (InfraRYL 42121.4.)

### 3.4 Päällysrakenteet

Sillan päällysrakenteeseen kuuluvat sillan kansilaatta, reunapalkit ja pintarakenteet yllä kulkevan väylän päällysrakenteineen. Alla olevat laatuvaatimukset koskevat erityisesti kansilaatan ja reunapalkin vaatimuksia:

Sillan sijainti:

- Sijainti vaaka- ja pystytasossa +/- 40 mm. Enimmäispoikkeamat ovat kaksinkertaiset.
- Sijainti tarkastetaan päällysrakenteen yläpinnasta, kehäjalkojen kohdalla olevien tarkkailutappien kohdalta.

Sillan hyötyleveys:

- +60...-30 mm. Enimmäispoikkeamat ovat kaksinkertaiset.
- Leveys mitataan siipimuurien uloimmista päistä, kehäjalkojen kohdalla, alikulku aukon keskeltä sekä sillan kapeimmalta kohdalta. (Inf-raRYL 42001.2.)

Sillan ja reunapalkin muoto:

- Muoto pystysuunnassa ja vaakasuunnassa on +/-20 mm. Enimmäispoikkeama on +/-40 mm.
- Siipimuurin pään muoto pystysuunnassa on +/- 10 mm. Enimmäispoikkeama on +/- 20 mm.
- Pystysuunnan muoto tarkastetaan tarkkailutappien kohdalta reunapalkin yläpinnasta ja vaakasuunnan muoto reunapalkin ulkoreunasta.

Mittatarkkuus:

- Poikkileikkausmitan poikkeama määräytyy alla olevan taulukon mukaisesti. Väliarvot saadaan lineaarisesti interpoloimalla.
- Vaakamitat tarkistetaan ennen raudoitustöitä muoteista. Mittaukset tehdään päällysrakenteen päistä, tukien kohdalta ja aukkojen puolivälistä.
- Valmis päällysrakenne tarkistetaan päistä ja tukien kohdalta.

Taulukko 2 Poikkileikkausmittojen poikkeamat (InfraRYL 42210:T1)

Poikkileikkauksen mitta <i>l</i>	Sallittu poikkeama	Enimmäispoikkeama
≤ 150 mm	±5 mm	±10 mm
400 mm	±10 mm	±20 mm
≥ 2 500 mm	±30 mm	±50 mm

Yläpinnan kaltevuuden poikkeama pituus- ja poikkisuunnassa on +/- 0,5 %. Enimmäispoikkeama on +/- 1 %.

- Pituuskaltevuus tarkistetaan mittaamalla yläpinnan korkeus 5 m:n välein sillan keskilinjalta sekä reunapalkkien vierestä.
- Poikkikaltevuus tarkistetaan tielinjaa vastaan kohtisuorassa suunnassa 5 m:n välein päällysrakenteen taitepisteistä.

Betonin peitepaksuus:

- Betonipeitteen paksuus - 5 mm. Enimmäispoikkeama on 10 mm. Vaatimus koskee myös työteräksiä.

Betonirakenteen pinnat:

- Muottia vasten valetut pinnat:
  - Näkyvät pinnat luokka A, väriaihteluluokka B
  - Piiloon jäävät pinnat luokka C
- Yläpinnat:
  - Puuhierretty luokka AA
- Reunapalkit:
  - Puuhierretty luokka AA, väriaihteluluokka B
- Pintojen sallittu halkeamakoko reunapalkeissa on 0,1 mm ja muissa pinnoissa 0,2 mm (InfraRYL 42210.2.)

### 3.4.1 Kannen pintarakenteet

Kannen pintarakenteisiin kuuluu vedeneristys, eristyksen suojaus ja päällyste. Vedeneristyksen tarkoitus on suojata sillankantta ja estää veden pääsy betonirakenteisiin.

## Eristystyöt

Sillan vedeneristystyöt tehdään aina sääsuojan alla. Kansi puhdistetaan hyvin roskista ja hiekasta ennen eristystöiden aloitusta ja pinnan tasaisuus varmistetaan oikolaudalla.

### Olosuhteet

- Ilman suhteellinen kosteus maksimissaan 85 %
- Pinnan lämpötila vähintään 3 °C korkeampi kuin ilman kastepistelämpötila.
- Pinnan vähimmäislämpötila tiivistystyön aikana +10 °C, kermi- ja nestemäisenä levitettävän eristyksen levityksen aikana +5 °C, mastiksieristyksen levityksen aikana +2 °C (InfraRYL 42310.0.)

### Eristysalustan karheus

- 0,3...1,2 mm

### Kannen absoluuttinen kosteus

- Kermi-, nestemäinen eristys tai tiivistyskäsittely 5 m-%
- Paineentasauskermi tai kumibitumimastiksi 6 m-% (InfraRYL 42310.2.1).

### Vesitiiviys

- Vähintään 500MΩ

### Tiivistysalustan ja alustan välinen tartuntalujuus

- Vähintään 1,0 N/mm<sup>2</sup>, keskimäärin 1,5 N/mm<sup>2</sup> (InfraRYL 42310.3.1).

### Kermieristyksen tartuntalujuus

- Mittaustuloksien keskiarvo ei saa olla alle 60 % vaaditusta. Tartuntalujuusvaatimukset ovat alla olevan taulukon mukaiset. (InfraRYL 42310.3.2.1.)

Taulukko 3 Kermieristyksen tartuntalujuus (InfraRYL 42310:T2)

<b>Eristysalustan pintalämpötila (°C)</b>	<b>Tartuntalujuus-vaatimus (N/mm<sup>2</sup>)</b>
5	1,06
6	1,00
7	0,95
8	0,90
9	0,85
10	0,81
11	0,77
12	0,73
13	0,69
14	0,65
15	0,62
16	0,58
17	0,55
18	0,52
19	0,50
20	0,47
21	0,45
22	0,42
23	0,40
24	0,38
25	0,36

#### Nestemäisen eristyksen tartuntalujuus

- Keskimäärin vähintään 1,2 N/mm<sup>2</sup>
- Joka kohdassa vähintään 1,0 N/mm<sup>2</sup>
- Keskiarvo ei saa alittaa 0,80 N/mm<sup>2</sup> tai eristys uusittava

#### Nestemäisen eristyksen optimitiheys

- Ei saa alittaa valmistajan ilmoittamaa optimitiheyttä yli 3 %

(InfraRYL 42310.3.2.3).

## 4 Laadunvarmistustoimenpiteet

### 4.1 Täyttöjen kantavuusmittaukset

Kantavuusmittauksilla varmistetaan, että maapohja tulee kestäväksi siihen kohdistuvaa kuormitusta eikä sen päälle rakennettuun täyttöön synny ajansaatossa painumia ja muodonmuutoksia. Kantavuudet voidaan mitata levykuormituskoella, varsinaisella pudotuspainolaitteella tai Loadmanilla eli kevyellä pudotuspainolaitteella. Loadman-mittausta käytetään vain tilanteissa, joissa levykuormituskoetta ei pysty tilan puutteen vuoksi tekemään.

#### 4.1.1 Levykuormituskoe

Levykuormituskoe suoritetaan asettamalla pyöreä teräslevy mitattavan kerroksen päälle. Levyn keskelle asetetaan hydraulinen tunkki ja levyyn kiinnitetään kolme mittakelloa. Kuormitusta varten tarvitaan riittävän painava vastapaino, se voi olla esimerkiksi valssijyrä tai kaivinkone. Levyä kuormitetaan nostamalla kuormitusta portaattain 10 kN välein aina 60 kN asti. Jokaisella portaalla odotetaan, kunnes painumanopeus on alle 0,01 mm/min, jolloin mittakellojen arvot kirjataan ylös. Lopuksi kuormitus nollataan hitaasti ja painuma-arvo merkataan muistiin. Mittaus tehdään kaksi kertaa, jolloin ensimmäinen tulos on arvo  $E_1$  ja toinen  $E_2$ . (8. s.27.)

Alla olevassa kuvassa on käynnissä levykuormituskoe. Vastapainona käytettiin valssijyrää.



Kuva 4 Levykuormituskoe (Skanska Infra Oy)

#### 4.1.2 Pudotuspainolaite

Pudotuspainolaitteella eli Heavy Loadmanilla mitataan tien rakenteen kantavuus ja sitä kautta voidaan arvioida tiiviyttä. Heavy Loadman voidaan asentaa pakettiauton kyytiin tai auton peräkärriin. Laite käyttää 50 kg pudotuspainoa, joka pudotetaan 700 mm korkeudelta 300 mm teräslevylle. Pudotuksen aiheuttama painuma mitataan pohjalevyn keskellä sijaitsevan kiihtyvyyssanturin avulla. Mittaustulos integroidaan taipumaksi, josta lasketaan muodonmuutosmoduulin arvo  $E$ . Kuormitusvoima on noin 50 kN ja kuormitusimpulssin kesto noin 25–30 ms. (8. s.29.)

### 4.1.3 Loadman

Loadman-kannettava pudotuspainolaite on kehitetty mittaamaan rakeisten ja si-  
dottujen maarakennekerrosten kantavuuksia. Laite mittaa alustan painumista  
dynaamisen kuormituksen vaikutuksesta ja mittaussyvyyteen vaikuttaa kuormi-  
tuslevyn halkaisija (132, 200 tai 300 mm). 10 kg teräspaino pudotetaan laitteen  
pohjalevylle ja painuman suuruus mitataan kiihtyvyyssanturin avulla. Mittaus-  
elektroniikka ja voima-anturi ovat sijoitettu laitteen putkeen. Kevyen kuormituk-  
sen vuoksi laitteen vaikutus ei ulotu kovin syvälle. (8. s.30.)

## 4.2 Raudoitus- ja muottityöt

Sillan teline- ja muottityöt tehdään telinesuunnitelman mukaisesti. Telinesuunni-  
telma tulee hyväksyttävä tilaajalla ennen töiden aloitusta. Valmiit telinerakenteet  
tarkistetaan ja niistä laaditaan telinekortti. Teline tarkastetaan viikoittain MVR-  
mittauksen yhteydessä ja tarkistus kuitataan telinekorttiin.

Muotit tulee tarkastaa ennen betonointia ja varmistaa, että ne ovat tiiviitä ja ne  
on tuettu riittävän hyvin. Muoteissa ei myöskään saa olla roskia tai muita sinne  
kuulumattomia asioita. Muottien kestävyyttä tulee seurata betonoinnin aikana ja  
mahdollisiin liikkeisiin ja muodon muutoksiin reagoitava.

Valmiille raudoitukselle tehdään raudoitustarkastus, johon osallistuu työnjohdon  
lisäksi valvoja sekä rakenteen mukaan myös sillan suunnittelija. Raudoitustar-  
kastuksesta laaditaan pöytäkirja, johon tulee myös merkintä muottien tarkastuk-  
sesta. Raudoitustarkastuksen tarkistetaan, että raudoitus on tehty suunnitel-  
mien mukaan. Tärkeää on varmistaa, että tartunnat ovat oikeassa kohti ja beto-  
nin peitepaksuudet täyttyvät. Peitepaksuus vaatimukset koskevat myös työte-  
räksiä.

Raudoituksen sijaintitoleranssit (InfraRYL 42020.3.3.2) ovat seuraavat:

- Raudoituksen pituussuuntainen poikkeama +/- 100 mm. Enimmäispoikkeama on +/- 150 mm. Kehäjalkojen kohdalla poikkeamat puolet edellä mainituista.
- Yhdensuuntaisten pääraudoitustankojen keskinäinen etäisyys +/- 10 mm. Enimmäispoikkeama +/- 15 mm.
- Muiden tankojen +/- 50 mm. Enimmäispoikkeama +/- 75 mm.
- Limityspituus -20 mm <16 mm tangoille, -40 mm >16 mm tangoille
- Samansuuntaisten tankojen vapaa väli -5 mm, enimmäispoikkeama -10 mm.
- Tehollisen korkeuden poikkeamat määräytyvät rakenteen poikkileikkauksen paksuuden mukaan alla olevan taulukon 42020.T3 mukaisesti.

Taulukko 4 Tehollisen korkeuden poikkeamat poikkileikkauksen mukaan (InfraRYL 42020.T3)

Poikkileikkauksen paksuus	Sallittu poikkeama	Enimmäispoikkeama
≤ 150 mm	-5 mm	-10 mm
400 mm	-10 mm	-20 mm
≥ 2 500 mm	-20 mm	-25 mm

### 4.3 Betonityöt

#### 4.3.1 Betonin ennakkokokeet

Ennakkokokeet ovat tehdaskohtaisia ja ne ovat välttämättömiä betonitehtaiden sertifiointin saamiseksi. Tehdaskohtaiset ennakkokokeet ovat voimassa kaksi vuotta ja niiden tulee olla hyväksytysti suoritettuna vähintään viikkoa ennen betonointitöiden aloitusta. Ennakkokokeiden tekoon menee yleensä aikaa noin 4 kuukautta, joten ennakkokokeiden saatavuus kannattaa varmistaa ajoissa. Hyväksytyt ennakkokoe tulokset tulee toimittaa tilaajalle ennen töiden aloitusta.

Betonin ennakkokokeet tehdään Väyläviraston julkaiseman *Infrabetonien valmistus* -ohjeen mukaan. Tehdaskohtaisissa ennakkokokeissa tehdään seuraavat testit:

- Puristuslujuus valetuin koekappalein
- Tiheys
- Ilmamäärä
- Ilmamääräpotentiaali
- Notkeuden mittaus
- Pakkassuolakestävyys
- Kiviaineksen kosteuspitoisuus.

P0-luokan betonille ei tarvitse tehdä ennakkokokeita ilmamäärän, ilmamääräpotentiaalin eikä pakkassuolakestävyys osalta. (4.)

#### 4.3.2 Työmaalla tehtävät kokeet

Tuoreen betonin laadunvalvontakokeet tekee betonilaborantti. Työmaalla tapahtuva laadunvalvonta tehdään InfraRYL:n luvun 42020.1.1.5 mukaan.

##### *Notkeuden määrittäminen*

Betonin notkeus määritetään joka kerta, kun otetaan ilmamäärämittaukset tai kun tehdään koekappaleita. Notkeus mitataan painuma-leviämäkokeella, ja sen yksittäinen tulos saa poiketa standardin *SFS-EN 206* määrittämien notkeusluokien vaatimuksista +/- 20 mm. Poikkeaman ylittävä betoni hylätään.

##### *Ilmamäärämittaus*

Ilmamäärämittaukset ovat hyvin tärkeässä roolissa P-lukubetonien laadunvarmistamisessa. Betonin P-luku määritetään työmaalla tehtyjen ilmamäärämittausten sekä betonin suhteitustietojen perusteella. Betonin valmistajan tulee toi-

mittaa urakoitsijalle betonin suhteitustiedot P-luvun laskentaa varten tai he voivat tehdä laskelmat itse, jolloin betonireseptiä ei tarvitse toimittaa. P-lukulaskelmien sekä ilmamäärämittausten tulokset tulee toimittaa urakoitsijalle.

Ilmamäärä (kuva 5) mitataan viidestä ensimmäisestä betonikuormasta ja sen jälkeen joka kymmenennestä ja IT-betonista joka kolmannesta. Ilmamäärämittaukset tehdään arvosteluerittäin ja valupäivittäin. Arvosteluerää kohti on tehtävä vähintään kolme ilmamäärämittausta, kuitenkin vain yksi per kuorma.



Kuva 5 Ilmamäärämittari (Skanska Infra Oy)

Työmaalla mitattua ilmamäärää verrataan betonitehtaalta saatuun tavoiteilmamäärään. Mitattu ilmamäärä ei saa ylittää tavoiteilmamäärää enempää kuin 2,5 %-yksikköä eikä alittaa enempää kuin 1,0 %-yksikköä. Raja-arvojen ulkopuolella olevat betonikuormat hylätään. Hylkäyksen jälkeen ilmamäärämittaukset ikään kuin nollaantuvat ja mittaukset aloitetaan alusta eli ilmamäärät mitataan taas viidestä ensimmäisestä kuormasta, jonka jälkeen joka kymmenennestä ja IT-betonilla joka kolmannesta kuorma.

### *Koekappaleiden puristuslujuus*

Koekappaleiden valmistusta varten kuormasta otetaan betoninäyte juuri ennen kuin massa lasketaan muottiin. Yhdestä kuormasta valetaan aina kaksi koekappaleita kerralla, jotka säilytetään vähintään 24 tuntia ja enintään 3 vuorokautta työmaalla. Koekappaleiden säilytystä varten tulee työmaalta löytyä vaaditut olosuhteet täyttävä tila. Säilytyspaikan lämpötilan tulee olla noin +20 astetta ja sen pitäisi pysyä suhteellisen samana säilytyksen ajan. Koekappaleita ei myöskään saa päästää kuivumaan ja niiden pitää pysyä suojassa tärinältä ja iskuilta. Työmaalta koekappaleet toimitetaan akkreditoituun testauslaitokseen puristusta varten.

Betoninäytteitä otetaan kuusi kappaletta per arvosteluerä. Arvosteluerät muodostetaan betonilaatukohtaisesti ja rakenneosittain. Kehäsilta voidaan jakaa esimerkiksi seuraaviin arvostelueriin:

- Peruslaatta
- Kehäjalat
- Sillan kansi
- Reunapalkit
- Siirtymälaatat.

Tarkat arvosteluerät riippuvat aina valettavasta kohteesta ja niiden muodostamiseen tehdään InfraRYL:n luvusta 42020.1.1.5 *Laadunvalvonta* löytyvien periaatteiden mukaisesti.

Betonin puristuslujuustulos on kyseisestä arvosteluerästä tehtyjen koekappaleiden ljuuustulosten keskiarvo. Puristuslujuus ei saa alittaa ljuuusvaatimuksia.

#### 4.3.3 Betonin peitepaksuudet

Betonin peitepaksuudet määritetään rakennussuunnitelmissa. Betonipeitteen paksuus mitataan valmiista rakenteesta profometrillä eli betonipeitemittarilla

(kuva 6). Peitteen paksuus tarkastetaan kaikilta pinnoilta vähintään 6 eri kohdasta ja tarkastettavan alueen pinta-alan on oltava vähintään 10 % koko pinnan alasta. Peitepaksuudet koskevat aina myös työteräksiä. Mittauksista laaditaan mittauspöytäkirja, joka liitetään kyseisen rakenneosan laatuaineistoon.



Kuva 6 Betonipeitemittari (Skanska Infra Oy)

#### 4.3.4 Pinta ja väri vaihtelu

Betonin pinnat käydään katselmoimassa ja niistä laaditaan pöytäkirja. Poikkeamat ja toleranssien ylittävät kohdat merkitään pöytäkirjaan. Halkeamien leveys tarkastetaan mittaluupilla ja niiden yhteenlaskettu pituus mitataan *by 40 liitteen 3* mukaisesti. Toleranssien ylittävät halkeamat injektoidaan injektointihartsilla tai mikrosementillä.

## 4.4 Eristystyöt

### 4.4.1 Absoluuttinen kosteus

Eristysalustan pintakosteus määritetään absoluuttisena kosteutena, joka todetaan yleensä laboratoriotutkimuksin. Aluksi betonipinta mitataan pintakosteusmittarilla (esim. Tramex). Mittauksia otetaan koko kannesta, keskittyen erityisesti kosteutta kerääviin paikkoihin, kuten reunapalkkien vierustoihin. Mittauksia otetaan vähintään 10 kappaletta sillan kannen pinta-alan ollessa pienempi kuin 100 m<sup>2</sup>, jonka ylittyessä lisätään 1 mittaus jokaista alkavaa 20 m<sup>2</sup> kohden. Pintakosteuden ylittäessä sallitut rajat, annetaan betonin kuivua pidempään ja toistetaan mittaukset myöhemmin.

Seuraavaksi tutkitaan pintamittaustulosten perusteella kosteimpien alueiden absoluuttinen kosteus. Yhdestä mittauskohdasta otetaan kolme näytettä. Mittauksia tehdään kolmesta kohdasta kannen pinta-alan ollessa alle 500 m<sup>2</sup>, jonka jälkeen lisätään yksi mittauskohta jokaista alkavaa 300 m<sup>2</sup> kohden. (InfraRYL 42310:T3.)

Absoluuttinen kosteus tutkitaan poraamalla lieriöporalla 30 mm syvä ura, jonka jälkeen näytelieriö irrotetaan lyömällä kiila uraan. Näytteet pakataan tiiviisti, niin ettei kosteus pääse muuttumaan ja toimitetaan laboratorioon tutkimuksia varten. Siellä näytteet punnitaan, jonka jälkeen ne kuivataan lämpökaapissa noin 105 °C:ssa. Kuivatusaikana näytteet punnitaan päivittäin, kunnes voidaan todeta, ettei paino enää muutu. Absoluuttinen kosteus lasketaan alla olevan kaavan (1) mukaisesti.

Kaava 1 Absoluuttisen kosteuden määrittäminen (3. Liite 1.3/2)

$$\text{Kosteus (m-%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100$$

jossa  $m_1$  = näytteen massa ennen kuivatusta  
 $m_2$  = näytteen massa kuivauksen jälkeen.

#### 4.4.2 Betonipinnan makrokarheus

Makrokarheus on pinnan epätasaisuutta, jonka aallonpituus on välillä 0,5–50 mm. Makrokarheus mitataan lasihelmimenetelmällä, jonka tulos kertoo pinnan karheuden keskimääräisen syvyyden. Mittauksia tehdään kolmesta kohdasta sillan ollessa alle 500 m<sup>2</sup>. Suuremmalle silla tehdään yksi mittaus lisää jokaista alkavaa 300 m<sup>2</sup> kohti. Mittaukset tehdään kohdista, jotka näyttävät siltä, että karheus saattaa ylittyä tai alittua annetuista raja-arvoista. (InfraRYL 42310:T3.)

Lasihelmikokeen periaate perustuu siihen, että mitattu määrä lasihelmiä kaadetaan betonipinnalle ja levitetään pyörivällä liikkeellä niin pitkään, kunnes alue ei enää leviä. Sen jälkeen lasihelmien levinneisyyden halkaisija mitataan neljästä suunnasta ja niiden keskiarvo lasketaan. Menetelmässä käytettyjen lasihelmien raekoon tulee olla 0,18/0,25 mm ja niiden mittausastiana käytetään tasan 25 ml kokoista metallilieriötä. Lasihelmien levitys voidaan tehdä esimerkiksi juniorijääkiekolla tai muulla vastaavalla muovisella kiekolla, jonka halkaisija on 60–75 mm. (3.)



Kuva 7 Lasihelmien levinneisyyden mittaus (Skanska Infra Oy)

Makrokarheus lasketaan liikenneviraston *Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus, 2017-julkaisun* kaavan (2) tai (3) mukaan.

Kaava 2 Makrokarheuden laskentakaavat (3. Liite 1.2/3)

Pinnan makrokarheus lasketaan kaavan 2 mukaan:

$$\text{Makrokarheus [mm]} = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad (2)$$

jossa V = lasihelmimäärä (= lieriön tilavuus), [mm<sup>3</sup>]  
D = peitetyn alueen halkaisijan keskiarvo, [mm].

Kun mittalieriön tilavuus on 25 ml, voidaan makrokarheus laskea yksinkertaisemmin kaavalla 3:

$$\text{Makrokarheus [mm]} = \frac{31830}{D^2} \quad (3)$$

jossa D = peitetyn alueen halkaisijan keskiarvo, [mm].

#### 4.4.3 Tartuntalujuus

Tartuntakokeella varmistetaan eristysalustan tiivistyksen ja sillan betonikannen välinen tartuntalujuus sekä vedeneristysten ja eristysalustan välinen tartuntalujuus. Tartuntalujuus mitataan moottorikäyttöisellä vetolaitteella edellisen kerroksen pinnasta. Kokeen tulos kertoo, paljonko voimaa tarvitaan vedeneristysten tai muun pinnoitteen irrottamiseen alustasta.

Vetolujuuskokeessa tartuntavetolaitteen vetolaikka liimataan alustaan kiinni. Ennen vetolaikan liimaamista alusta harjataan ja tarvittaessa karhennetaan. Kermiin leikataan vetolaikan reunoja mukailleen noin 4 mm levyinen ura. Vastavasti, jos vetokoe tehdään betonipinnalle, sahataan reikäsahalla vetoalueen reunat ennen laikan liimaamista.

Kun liima on kovettunut riittävästi, nostetaan vetolaite vetolaikan päälle ja kiinnitetään. Laite käynnistetään ja siihen lisätään vetovoimaa tasaisesti 0,15 MPa/s.

Kun eristysmateriaali irtoaa alustastaan tai betonilieriö murtuu, on koe suoritettu. Tartuntavetolujuuskokeen tulokset liitetään vedeneristyksen laatuaineistoon. (3.)

#### 4.4.4 Optimitiheys ja eristyksen paksuus

Nestemäisenä levitettävän eristyksen tiheys ja paksuus mitataan tekemällä noin neliömetrin suuruinen koe-eristys muovikelmun päälle. Kun eristys on kovettunut tarpeeksi, irrotetaan se kelmun päältä ja leikataan siitä kolme 10 cm x 10 cm palaa. Eristyksen paksuus mitataan työntömitalla, jonka jälkeen palat upotetaan testausnesteeseen, jonka tiheys on 3 % pienempi kuin eristyksen optimitiheys. Jos palat jäävät kellumaan nesteeseen, ne täyttävät vaatimukset. Koe-eristys tehdään aina työvuoron alussa.

#### 4.4.5 Vesitiiviys

Vesitiiviys mitataan valmiista tiivistyksestä sekä nestemäisenä levitettävästä eristyksestä. Vesitiiviys mitataan niin kutsutulla kipinäharava menetelmällä. Koe perustuu siihen, että pinta ”haravoidaan” huokoisuustesterillä (esim. Elcometer), johon johdetaan korkeajännitteistä sähköä. Mittausjännite on tyypillisesti noin 4kV/mm, mutta se tulee valita aina siltakohtaisesti. Laitteen maadoituskaapeli kytketään esimerkiksi sillan kaiteeseen, tai muuhun rakenteeseen, joka johtaa sähköä sillan kanteen. Kannen pinnoite itsessään ei johda sähköä, mutta jos pinnoite on jäänyt liian ohueksi tai siinä on reikiä tai huokosia, iskee sähkö pinnoitteen läpi betonikannen raudoituksiin ja aiheuttaa kohdassa kipinäointia. Mittalaitetta kuljetetaan hitaasti edeten noin 15 metriä minuutissa ja sillä mitataan koko sillan kansi. (3.)

## 5 Laaturaportointi

Laaturaportointi on yksi urakan tärkeimmistä asioista. Sen avulla voidaan osoittaa tilaajalle, että rakentamisen lopputuote vastaa sitä mitä on tilattu. Laaturaportteissa kerrotaan rehellisesti poikkeamista ja mahdollisista virheistä, sekä mahdollisista korjaus toimenpiteistä.

Kehäsillan laaturaportti laaditaan Väyläviraston *Sillan laaturaportti laatimisohje* mukaisesti. Laaturaportti koostuu kahdesta osasta.

Ensimmäisen osan raportti sisältää seuraavat kohdat:

- **Sillan ja siltatyön yhteystiedot:** Tähän sisältyvät tilaajan, urakoitsijan ja muiden osapuolten yhteystiedot.
- **Yhteenveto sillan laadusta:** Yleiskatsaus sillan rakentamisen laadusta ja sen vastaavuudesta suunnitelmiin. Tämän pohjalta voidaan arvioida, kuinka hyvin työ on tehty ja onko se täyttänyt kaikki asetetut vaatimukset.
- **Poikkeamaraporttiluettelo, poikkeamaraportit sekä niitä koskevat korjaussuunnitelmat:** Lista kaikista poikkeamista ja niiden korjaustoimenpiteistä.
- **Luettelo käytetyistä materiaaleista ja niiden materiaalitodistukset:** Käytettyjen materiaalien yksityiskohtainen luettelo ja niiden laatudokumentit. Tämä sisältää CE-merkinnät, materiaalien kelpoisuustodistukset ja laatusertifikaatit.
- **Rakenneosakohtaiset laaturaportit:** Yksityiskohtaiset raportit eri rakenneosien laadusta, kuten peruslaatat, kehäjalat, päällysrakenne ja kannen pintarakenteet.
- **Sillan päämittojen ja sijainnin mittauspöytäkirjat:** Mittaustulokset, joista voidaan varmistaa, että silta on rakennettu suunnitelmien mukaisesti.
- **Toteumapiirustukset ja valokuvat:** Toteutuneet piirustukset eri rakennusvaiheista. Esimerkiksi toteumakuva sillan peruslaatasta, jossa näkyy suunnitellut ja toteutuneet nurkkapisteet ja niiden ero. Valokuvia jokaisesta työvaiheesta.

Toinen osa sisältää:

- **Siltatyön laadunvarmistussuunnitelma:** Suunnitelma, jossa kuvataan koko sillanrakennusprojektin aikaiset laadunvarmistustoimenpiteet. Tämä sisältää menetelmät ja prosessit, joilla varmistetaan työn laatu.

- **Työvaiheiden laatusuunnitelmat ja tekniset työsuunnitelmat:** Yksityiskohtaiset suunnitelmat eri työvaiheiden laadunvarmistuksesta ja teknisestä toteutuksesta. Näihin sisältyvät tarkat ohjeet ja menetelmät, joita käytetään työn suorittamisessa.
- **Mittaus- ja tarkastusraportit:** Raportit kaikista mittauksista ja tarkastuksista, jotka on suoritettu urakan aikana.

Laaturaportin pohjalta valmiin sillan tiedot syötetään taitorakennerekisteriin. Tiedot siirretään yleensä tilaajan puolesta, sillä järjestelmän käyttö vaatii tunnukset. Laaturaportti toimii myös tärkeänä dokumenttina tulevia tarkastuksia ja ylläpito-toimenpiteitä varten varmistaen, että kaikki tarvittavat tiedot ovat helposti saatavilla.

## 5.1 Taitorakennerekisteri

Taitorakennerekisteri on Väyläviraston taitorakenteiden omaisuudenhallintajärjestelmä, joka otettiin käyttöön helmikuussa 2017. Se korvasi aiemmin käytössä olleen Siltarekisterin. Taitorakennerekisteri sisältää hallinnollisten ja rakenteellisten tietojen lisäksi vaurio- ja kuntotietoa muun muassa silloista, tunneleista, rautatierummuista sekä erilaisista meri- ja vesistö rakenteista.

Järjestelmän tarkoituksena on varmistaa, että taitorakenteiden tiedot ovat ajantasaisia ja oikeellisia, mikä helpottaa muun muassa tarkastusten ohjelmointia, erikoiskuljetusten reitittämistä ja korjaustarpeiden ennakoimista. Taitorakennerekisteri palvelee Väyläviraston, ELY-keskusten ja kuntien asiantuntijoita sekä palveluntuottajia.

Tietojen syöttäminen taitorakennerekisteriin vaatii Väyläviraston extranet-tunnukset, ja käyttöoikeuksia voi hakea perusteluiden kanssa. Tietojen ylläpito ja muokkaaminen edellyttää lisäksi koulutuksen suorittamisen. Tiedot syötetään järjestelmään tarkastusten ja suunnittelutyön yhteydessä, ja niiden oikeellisuudesta ja ajantasaisuudesta huolehditaan jatkuvasti. (7.)

## 5.2 Arvonvähennys

Siltojen arvovähennys tarkoittaa sillan arvon alenemista, joka johtuu erilaisista virheistä tai puutteista rakentamisessa. Arvonvähennyksiä käytetään määrittämään, kuinka paljon sillan arvo laskee, jos se ei täytä asetettuja laatuvaatimuksia. Arvonvähennysperusteet voivat liittyä esimerkiksi sillan kantavuuteen, mitatarkkuuteen, materiaalien laatuun tai rakenteiden säilyvyyteen.

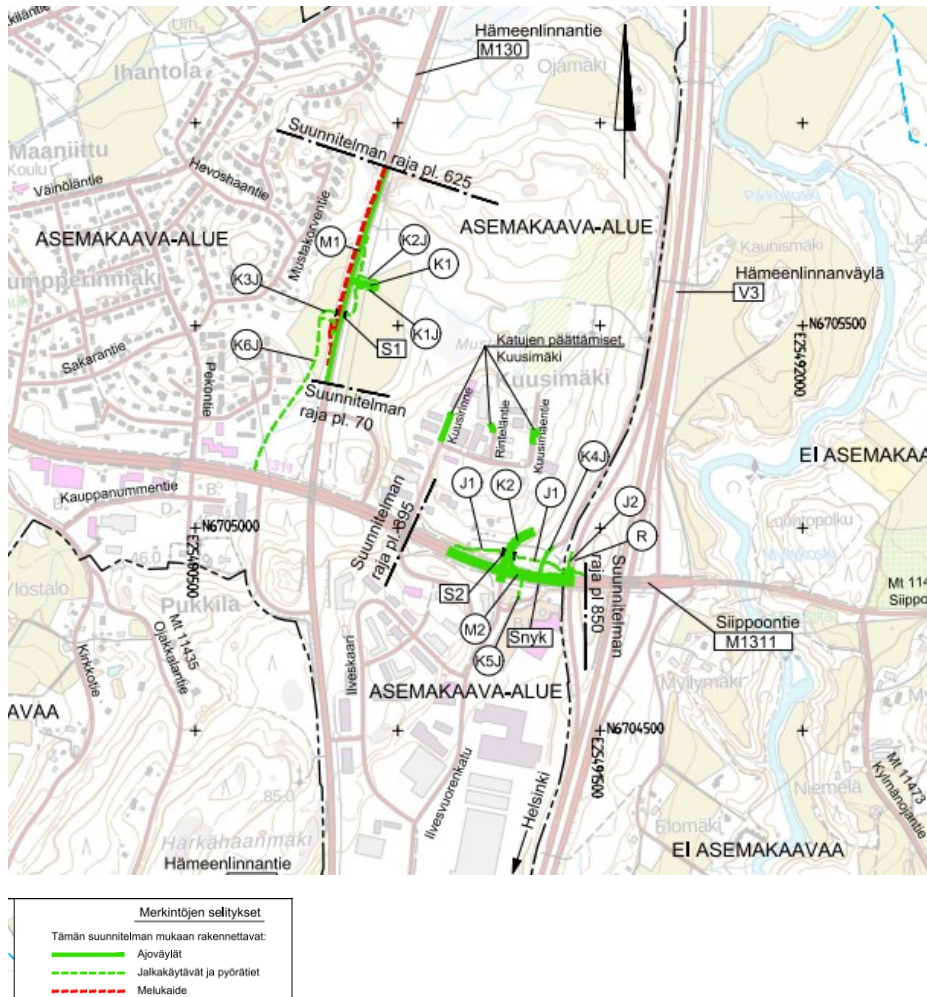
Arvonvähennyksiä lasketaan yleisimpien virheiden perusteella, ja ne voivat koskea esimerkiksi betonin puristuslujuutta, raudoituksen asemaa tai sillan sijaintia ja muotoa. Jos virhe ylittää sallitut rajat, sillan arvoa alennetaan vastaavasti. Yksittäinen arvovähennys on vähintään 1000 € poikkeamasta ja 2000 € säilyvyys- ja kantavuuspoikkeamasta. (9.)

## **6 Maanteiden 130 ja 1311 parantaminen**

Opinnäytetyön case esimerkkinä on käytetty Skanska Infran urakkaa Maanteiden 130 ja 1311 parantaminen liittymäjärjestelyineen Ilvesvuori pohjoisen työpaikka-alueen kohdalla.

Urakkamuoto hankkeessa on kokonaishintainen kokonaisurakka ja hankkeen tilaajana toimii Nurmijärven kunta yhteistyössä Kesko Oyj:n kanssa. Hanke tulee palvelemaan alueelle rakennettavaa uutta Keskon logistiikkakeskusta, joka sijaitsee noin kaksi kilometriä Nurmijärven kirkonkylältä.

Urakka-alue on jakautunut kolmeen eri kohteeseen, Maantie 130, Maantie 1311 ja Kuusimäki. Urakka sisältää muun muassa Keskokadun ja Pirkkakadun liittymien rakentamisen, kaksi alikulkusiltaa, kunnallistekniikan parantamista, kevyenliikenteen väylien rakentamisen, valaistuksen uusimisen ja liikennevaloristeyksen rakentamisen. Rakentaminen edellyttää työnaikaisia liikennejärjestelyitä sekä kiertotien rakentamisen Maantie 130:lle. Rakentaminen on alkanut vuoden 2024 elokuussa ja sen tulisi valmistua vuoden 2025 loppuun mennessä.



Kuva 8 Urakan yleiskartta (Skanska Infra Oy)

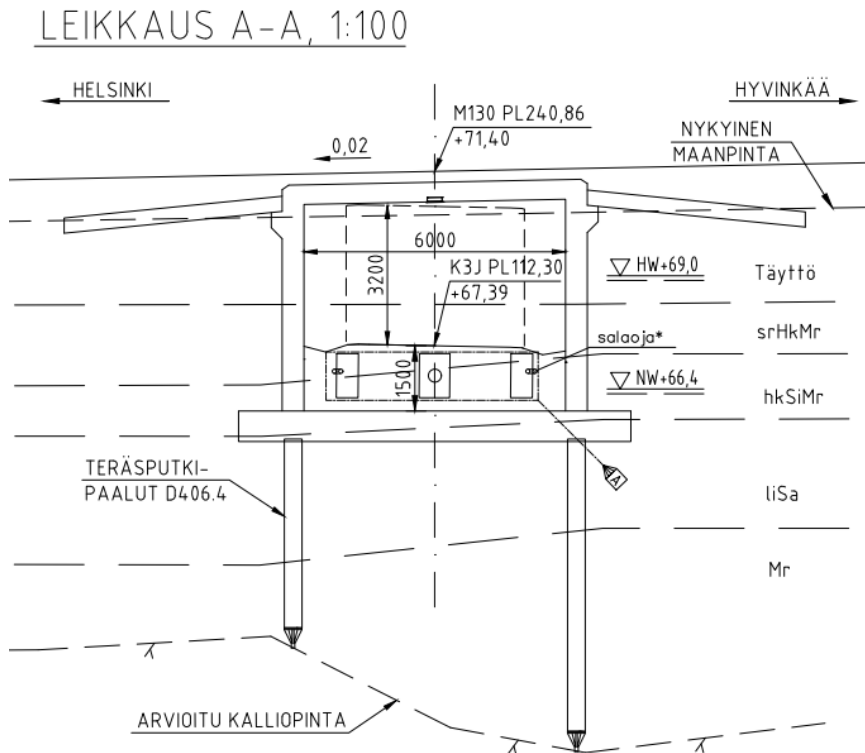
## 6.1 S1 Ilvesvuoren Pohjoinen alikulkukäytävä

Ilvesvuoren pohjoinen alikulkukäytävä rakennetaan olemassa olevan Hämeenlinnantien eli Maantie 130 alitse. Sillan alittava kevyenliikenteenväylä toimii jalkankulkijoiden reittinä bussipysäkeille sekä tulevan logistiikkakeskuksen ja Nurmijärven välisenä yhteytenä. Sillan rakentamisen lisäksi tien tasausta korotetaan noin metrillä ja tietä levennetään paikoitellen. Alueelle rakennettiin urakan alussa kiertotie, joka mahdollistaa sillan ja tien rakentamisen kerralla valmiiksi. Alla olevassa drone-kuvassa näkyy vasemmalla kulkeva kiertotie ja sillan pontti-kaivanto.



Kuva 9 Ilmakuva siltapaikasta (Skanska Infra Oy)

Silta on rakenteeltaan teräsbetoninen, vesitiivis rengaskehärakenne, joka perustetaan kallioon ulottuvan teräspaalutuksen varaan. Paalut sijaitsevat suoraan kehän seinien alla. Siipimuurit ovat ylittävän väylän suuntaiset. Sillan hyötyleveys on noin 14,5 m ja kokonaisleveys noin 16 m. Sillan kokonaispituus on 16 metriä. Tasausviivan korko sillan keskellä on +71,40 ja alittavan väylän korko +67,39. Siltapaikalla pohjaveden pinta on korkeimmillaan korossa +69, jonka takia sillan molemmilla puolilla alittava väylä kulkee kaukalossa. Kaukalon ja sillan yhteispituus on 74 metriä ja myös kaukalo perustetaan paalujen varaan. Kaukalo ja silta on numeroitu rakennesuunnitelmassa lohkoina 1–6, joista silta on lohko 3. Kuvassa 10 esitetty leikkauskuva sillasta.



Kuva 10 Leikkauskuva sillasta (Skanska Infra Oy)

Sillan ja kaukalon rakennustyöt aloitettiin nykyisen tiepenkereen kevenyskaivuulla, jonka jälkeen maahan lyötiin ponttiseinät kaivutöiden mahdollistamiseksi. Siltapaikka on savista ja siellä on paineellinen pohjavesi, joten ponttiseinä on ehdoton. Kaivannon toteuttaminen vaatii myös työnaikaista pohjaveden alentamista ja se toteutettiin asentamalla kaivantoon neljä teräsputkea, joista vesi pumpataan kaivannon ulkopuolelle sekä useampi uppopumppu pintavesiä varten. Lisäksi ponttikaivannon sisään asennettiin pohjavesiputki, työnaikaisen pohjaveden pinnan seuraamista varten.

Kehäsilta perustettiin lyötävillä teräsputkipaaluilla RRØ406.4/10 ja alittavan väylän kaukalarakenne RRØ323.9/10 Paalut lyötiin Junttan PMx22 -paalutuskooneella, jossa oli 5 tonnin painoinen järkäle. Alueelle oli tehty puristinheijarikairauksia, porakonekairauksia sekä siipikairauksia, mutta niiden tulokset eivät vastanneet todellisuutta, mikä teki paalutuksesta haastavaa. Paalut oli tilattu määrämittäisenä geoteknisten suunnitelmien mukaan, mutta koska kallion pinta

olikin todellisuudessa paljon syvemmällä, jouduttiin paaluja pahimmillaan jatkaamaan kaksi kertaa hitsaamalla.

Paaluille tehtiin suunnitelmien mukaiset PDA-mittaukset ja tulokset täyttivät kantavuus vaatimukset. Paalut katkaistiin lopulliseen korkoon sen jälkeen, kun maaleikkausta oli jatkettu riittävän syvälle ja peruslaatan arinatäytöt oli tehty. Lopullisen katkaisun jälkeen paalujen sijainti ja kaltevuus mitattiin ja tulokset hyväksyttiin sillan rakennesuunnittelijalla. Sillan ja lohkojen 1 ja 2 kohdalla ilmeni paaluissa jonkun verran sijaintipikkeamaa, joka johti suunnittelijan päätökseen lisätä raudoituksen määrää peruslaatoissa. Asiasta laadittiin poikkeamaraportti.

Paalujen katkaisun jälkeen siltakaivannon pohjalle levitettiin bentoniittimatto suojaamaan rakennetta paineelliselta pohjavedeltä (kuva 11). Paalujen kohdalla bentoniittimattoon leikattiin reikä paalun sisäreunoja myöten, jolloin maton pystyi polkemaan ympäriltä alas ja se muodosti tiiviin sauman paalun ympärille.



Kuva 11 Bentoniittimaton levitys (Skanska Infra Oy)

Teräsputkipaaluihin nostettiin valmiit raudoitehäkit, jonka jälkeen ne täytettiin ja valettiin kuivavaluna P0 35/45 IT-betonilla eli mitoituksessa oletettiin myös betonin kantavuus mukaan. Ennen valua paalut tyhjennettiin vedestä ja maa-aineksesta imuautolla ja paalujen puhtaus hyväksyttiin valvojalla. Pienempien paalujen kohdalla, jouduttiin raudoitukset nostamaan paaluihin vasta valun yhteydessä, sillä valuputki ei olisi mahtunut paalun sisään muuten. Betonin notkeus määritettiin leviämäkokeella ja betonista otettiin 6 koekappaletta.

Peruslaattojen teko aloitettiin sillasta ja lohkosta 1. Muotit ja raudoitukset tehtiin suunnitelmien mukaan ja lisäksi asennettiin lisäteräkset vaadittujen paalujen kohdalle suunnittelijan ohjeiden mukaan. Valmisraudoitus käytiin tarkastamassa yhdessä valvojan kanssa ja tarkastuksesta laadittiin pöytäkirja. Tarkastuksessa huomattiin sijaintipoikkeamaa siipimuurien tartuntateräksissä ja muutama teräs oli liian lähellä muottia. Tarkastuksessa oli mukana raudoittajien nokkamies, joka korjasi virheet jo heti tarkastuksen yhteydessä.

Peruslaattojen valu tehtiin P30 35–45 betonilla. Sillan laatta valettiin ensin ja lohko 1 seuraavalla viikolla. Ilmamäärä sekä betonin notkeus mitattiin painumakokeella molempina valukertoina viidestä ensimmäisestä kuormasta ja yhteensä kuudesta kuormasta. Sillan laatan betonista otettiin neljä koekappaletta ja lohkon 1 betonista kaksi. Peruslaatan muoteista otettiin muottitarkkeet ja muottien purkamisen jälkeen mitattiin valmiin laatan sijainti ja korkeusasema, joita verrattiin suunnitelmiin.

Betonin toteutuneet peitepaksuudet mitataan profometrillä sitten, kun loput laatoista on valettu. Jokaisesta valusta laaditaan betonointipöytäkirja, jonka liitteeksi laitetaan pumpun pystytyspöytäkirja, kuormakirjat ja työilmoitus, jossa näkyy tehdyt laadunvarmistustoimenpiteet. Laatuaineistoon liitetään lisäksi P-luku laskelmat sekä koekappaleiden puristuslujuustulokset.

Sillan kehäjalat ja holvi toteutetaan PERI-järjestelmämuotilla. Muottityöt olivat aluksi tarkoitus tehdä puusta, mutta aikatauluhaasteiden takia perinteinen muotti vaihdettiin järjestelmämuottiin. Järjestelmämuotti on nopea ja helppo

pystyttää, mikä auttoi kirmään aikataulussa. Sen käyttäminen kuitenkin vaatii enemmän tilaa, jonka vuoksi työjärjestystä jouduttiin muuttamaan alkuperäisestä niin, että silta tehdään ensin valmiiksi ennen lohkojen 2 ja 4 tekoa. Loput lohkoista pystyy tekemään, sillä aikaa, kun muu siltarakenne kuivuu.

Järjestelmämuotti ja telineet tarkistettiin valmistumisen jälkeen ja telineistä laadittiin telinekortit, jotka tarkistetaan viikoittain. Tällä hetkellä työmaalla on käynnissä kehäjalkojen raudoitustyöt. Kehäjalkojen raudoituksen sekä tulevien työvaiheiden laadunvarmistus tehdään tässä työssä mainittujen vaiheiden mukaisesti.

Alla olevassa kuvassa 12 on käynnissä lohkon 1 peruslaatan valu. Kuvassa näkyy myös alareunassa ympyröitynä pohjaveden alentamiseen tarkoitettu putki, jossa pumppaus on käynnissä jatkuvasti. Putkena käytettiin halkaisijaltaan 400 mm teräsputkea.



Kuva 12 Valutyöt käynnissä (Skanska Infra Oy)

## 6.2 S2 Kuusimäen alikulkukäytävä

Kuusimäen alikulkukäytävä rakennetaan kulkemaan Siippoontieltä kääntyvän uuden Pirkkakadun alitse. Silta on teräsbetoninen vinojalkainen laattakehäsilta. Sillan vapaa-aukko on 5 metriä ja alikulkukorkeus >3,2 metriä. Sen hyödyllinen leveys vaihtelee 23,24–23,62 metrin välillä. Sillan peruslaatat tukeutuvat murskearinan välityksellä perusmaan varaan.

Siltapaikalla on aloitettu maanleikkaustyöt. Maaleikkausta tehdessä huomattiin pian, että pohjamaan kantavuus muuttui ja kuoppa alkoi täyttyä vedellä. Vettä valui vettäläpäisevistä rakennekerroksista tuoden hienoainesta mukanaan. Veden alkuperää ei tiedetty, sillä suunnitelmien mukaan alueella ei pitänyt olla pohjavettä, eikä alueelle oltu asennettu pohjavedenmittaus putkea. Virtaus aiheutti aluksi paikallisia luiskan sortumia sekä valumia, joka aiheutti myös huolta työn turvallisuudesta. Työt jouduttiin keskeyttämään, kunnes suunnittelijoilta saatiin uudet suunnitelmat kaivannon toteuttamiseksi.

Suunnittelijoiden alkuperäinen ehdotus oli asentaa 10 uppopumppua 1 metri siltakaivannon pohjaa alemmas. Pumppaus toteutettiin asentamalla kuusi uppopumppua sinne, minne oli mahdollista ja viemällä pumppuja alaspäin, sitä mukaa kun kaivaminen eteni. Kun kaivutyöt on saatu valmiiksi, pidetään tilaajan kanssa katselmus, jossa analysoidaan pohjaolosuhteet, jonka perusteella mietitään, miten jatketaan. Työn keskeytyksen takia sillan rakentaminen on myöhästynyt usealla viikolla aikataulusta.

## 7 Johtopäätökset

Opinnäytetyön perusteella voidaan todeta, että kehäsiltojen laadunvarmistus on monivaiheinen prosessi, joka vaatii huolellista suunnittelua ja toteutusta. Erityisesti betonitöiden ja vedeneristysten osalta laadunvarmistaminen on kriittistä, sillä niistä luistaminen voi aiheuttaa suuria ja kalliita vahinkoja. Lisäksi voidaan todeta, että kehäsiltoja koskevien laatumääräysten löytäminen InfraRYL:stä on välillä yllättävän haasteellista, mutta niiden tarkka läpikäyminen tässä työssä helpottaa aiheen omaksumista ja niiden tulevan hyödyntämisen tehostamista tulevaisuuden hankkeissa.

Työskentely Nurmijärven urakan parissa on opettanut, että aina voi tulla vastaan yllätyksiä, varsinkin pohjamaan laadun osalta. Etenkin pohjaolosuhteiden haasteet todistivat sen, että vaikka pohjatutkimuksia olikin alueelle tehty, ei niiden määrä eikä laatu ollut riittäviä kertomaan todellisia pohjaolosuhteita. Tämänkaltaiset yllätykset voivat pahimmillaan pysäyttää työt kokokaan, kuten toisen sillan osalta kävikin. Pohjatutkimukset ja suunnittelu tulisi tehdä perusteellisemmin jo ennen urakan aloittamista, jotta näiltä tilanteilta voitaisiin välttyä. Riittävät pohjatutkimukset ovat myös tilaajalle helppo tapa varmistua urakan tulevista kustannuksista.

Sillan laadunvarmistaminen ei ole sen monivaiheisuudestaan riippumatta mitään ydinfysiikkaa, ja periaate on joka sillan kohdalla sama. Raportointia helpottaa, kun pyytää materiaalitodistukset aina jo tilausvaiheessa ja pitää laaturaportoinnin ajan tasalla alusta saakka. Kannattaa laatia urakan alussa valmis raporttipohja, jota voi täyttää sitä mukaa kun urakka etenee. Tällä tavalla säästytään luovutusvaiheen kiireeltä.

## Lähteet

- 1 Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk I). 2004. Liikennevirasto. Suunniteluohje. Saatavissa: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/blk12004.pdf>.
- 2 Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk II). 2017. Liikennevirasto. Suunniteluohje. Saatavissa: [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2017-22\\_terasbetoninen\\_laattakehasilta\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-22_terasbetoninen_laattakehasilta_web.pdf).
- 3 [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2017-02\\_sillan\\_vendeneristystyomaan\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-02_sillan_vendeneristystyomaan_web.pdf)
- 4 [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2020-41\\_infrabetonien\\_valmistus\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-41_infrabetonien_valmistus_web.pdf)
- 5 [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/sillan\\_laaturaportti\\_2006.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/sillan_laaturaportti_2006.pdf)
- 6 Paalutusohje PO-2016
- 7 <https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/rakenteiden-suun-tark>
- 8 [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121366/lts\\_2011-10\\_radan\\_eristys\\_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121366/lts_2011-10_radan_eristys_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y)