



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Toni Liljeroos

Sillan pintarakenteiden uusiminen ve- sitiivistetyllä betonilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

30.9.2019

| | |
|---|--|
| Tekijä Otsikko | Toni Liljeroos |
| Sivumäärä Aika | Sillan pintarakenteiden uusiminen vesitiivistetyllä betonilla 39 sivua + 1 liite 30.9.2019 |
| Tutkinto | Rakennusmestari (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | Rakennusalan työnjohto |
| Ammatillinen pääaine | Infrarakentaminen |
| Ohjaajat | Lehtori Anu Ilander Betonyönjohtaja Mikael Sonck |
| <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Xypex Admix -sarjan lisäaineella vesitiivistetyn betonin ominaisuuksia sekä kerätä tuotantotietoa sen käytöstä betonikantisen sillan pintarakenteena. Opinnäytetyön aihe syntyi, kun Destia Oy:n sillankorjausryhmä peruskorjasi Sipoossa sijaitsevan Vesterängin risteyssillan. Pintarakenteet uusittiin vesitiivistetyllä betonilla, jonka käyttö silloissa oli kokeiluasteella.</p> <p>Tätä opinnäytetyötä varten käytettiin liikenneviraston laatimia ohjeita, Destian Oy:n aikataulu- ja kustannustietoa, asiantuntijoiden haastatteluja, tuotevalmistajien aineistoa sekä koekohteen laatukokeiden tuloksia.</p> <p>Kerätyn aineiston pohjalta laadittiin aikataulu- ja kustannusvertailu kolmen pintarakennetarkaisun kesken. Lisäksi tutkittiin vesitiivistetyn betonin ominaisuuksia ja käyttökohteita. Tulosten perusteella sillan pintarakenteiden uusiminen vesitiivistettynä betonipäällysteenä on nopein ja kustannustehokkain toteutustapa. Opinnäytetyössä on myös parannusehdotuksia työmenetelmiin laadukkaan lopputuloksen aikaansaamiseksi.</p> | |
| Avainsanat | Vedeneristysbetoni, sillankorjaus, Xypex |

| | |
|--|---|
| Author Title | Toni Liljeroos Renovation of Surface Structure of Bridge with Waterproofed Concrete. |
| Number of Pages Date | 39 pages + appendix 30 September 2019 |
| Degree | Bachelor of Construction Site Management |
| Degree Programme | Construction Site Management |
| Professional Major | Infrastructure Site Management |
| Instructors | Anu Ilander, Senior Lecturer Mikael Sonck, Construction Site Manager |
| <p>The aim of this thesis was to examine the properties of Xypex Admix series waterproofed concrete, and to collect production data on its use as a concrete structure for a concrete roof bridge. Data for this thesis, was collected from the guidelines prepared by the Finnish Transport Agency, the time and cost data of Destia Oy, interviews with experts, product manufacturers' data and the results of quality tests. Furthermore, three surface structure renovations were looked into.</p> <p>On the basis of the collected data, a schedule and cost comparison between the three surface structure renovations was made. In addition, the properties and applications of waterproofed concrete were investigated. Based on the results, the renewal of the surface structure of a bridge with a waterproofed concrete coating is the fastest and most cost-effective way alternative. Furthermore, the thesis was able to suggest improvements for the working methods to ensure a high quality result.</p> | |
| Keywords | xypex, bridge, concrete |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Yleiset pintarakenneratkaisut sillan kansilaatoissa | 2 |
| 2.1 | Pintarakenneratkaisun valinta | 3 |
| 2.2 | Pintarakenteiden valmistelevat työt | 5 |
| 2.3 | Pintarakenteiden purku | 6 |
| 2.4 | Eristysalustan tiivistys | 7 |
| 2.5 | Kaksinkertainen kermieristys | 10 |
| 2.6 | Mastiksieristys | 11 |
| 3 | Lisäaineistettu vesitiivis betoni | 14 |
| 3.1 | Yleistä vesitiivistetystä betonista | 14 |
| 3.2 | Käyttökohteet Suomessa ja ulkomailla | 17 |
| 4 | Vesterängin risteyssilta | 20 |
| 4.1 | Korjaustyön laajuus | 21 |
| 5 | Sillan pintarakenteiden uusiminen vesitiivistetyllä betonilla | 23 |
| 5.1 | Työvaiheet | 24 |
| 5.2 | Laadunvarmistus | 29 |
| 6 | Vertailu pintarakenneratkaisujen kesken | 32 |
| 6.1 | Aikataulujen vertailu | 33 |
| 6.2 | Kustannusten vertailu | 34 |
| 7 | Yhteenveto | 35 |
| | Lähteet | 38 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Betonin laatukokeet | |

Lyhenteet

| | |
|--------------------|---|
| Alusrakenne | Koostuu sillan kansilaatan alapuolisista rakenneosista. |
| Epoksi | Kaksikomponenttinen muovipohjainen aine. |
| Epoksitiivistys | Kaksinkertainen epoksikäsitteily betoniselle siltakannelle, jonka tehtävä on estää vedeneristeen kupliminen. |
| KVL | Keskimääräinen vuorokausiliikenne. |
| Peruskorjaus | Sillan kokonaiskorjaus, jossa kaikki vaurioituneet ja kuluneet rakenneosat kunnostetaan tai uusitaan ja sillan rakenteellinen ja toiminnallinen kunto palautetaan käyttöiän edellyttämälle tasolle. |
| Pintarakenteet | Koostuu tiivistys- tai pohjustuskerroksesta, vedeneristeestä, suojakerroksesta ja päällysteestä. |
| Päällysterakenteet | Kansilaatan asfalttikerrokset, jotka ovat kulutuskerros tukikerros ja vedeneristeen suojakerros. |
| Päällysrakenne | Sillan kansilaatta ja pintarakenteet. |
| Risteyssilta | Kahden tien eritasoristeykseen rakennettu, ylijohdavalla tiellä sijaitseva silta. |
| SILKO | Siltojen yleiset korjausohjeet. |
| Silta | Silta on taitorakenne, jonka vapaa-aukko on vähintään 2 metriä |

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kerätä tuotantotietoa Destia oy:n sillankorjausryhmälle lisäaineella vesitiivistetyn betonin käytöstä betonikantisen sillan pintarakenteena, joka samalla toimii myös kulutuskerroksena liikenteelle. Tavoitteena on tutkia vesitiivistetyn betonin ominaisuuksia, työhön liittyviä ennakkotehtäviä, työsuoritusta, laadunvarmistusta sekä vertailtiin kustannuksia ja aikatauluja muihin käytössä oleviin pintarakenneratkaisuihin. Tutkimustyötä varten haastateltiin materiaalin valmistajaa, Liikenneviraston valvojaa sekä Destian sillankorjausryhmän betonityönjohtajia.

Tutkimuskohteena oli Liikenneviraston hallussa oleva vuonna 1971 valmistunut U-1582 Vesterängin risteyssilta. Sillan pintarakenteet uusittiin peruskorjauksen yhteydessä keväällä 2019 Destian siltaryhmän urakoimana.

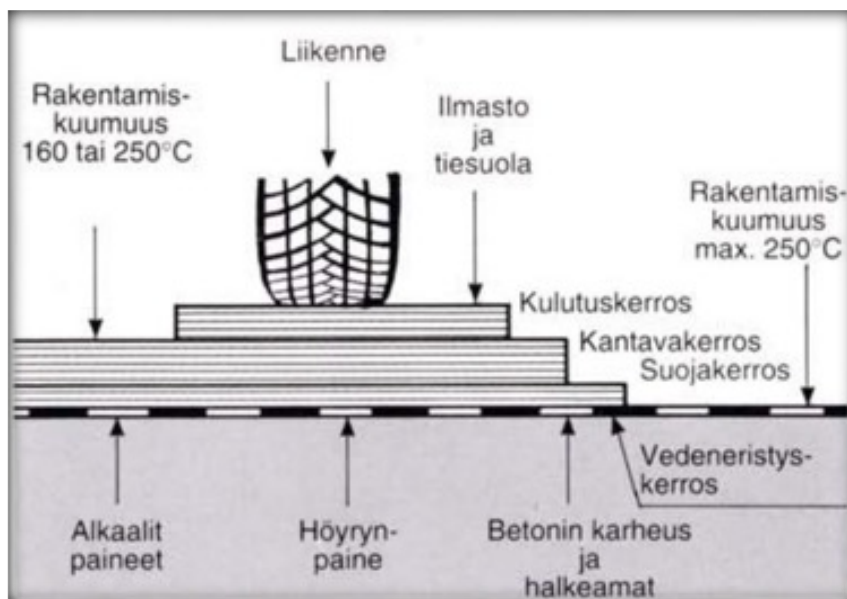
Vuonna 2018 Liikennevirastolla oli hallussa 11 733 siltaa. Liikenneviraston vastuulla on siltojen kunnossapito, joka pitää sisällään mm. peruskorjaukset. Sillat tarkastetaan säännöllisesti ja huonokuntoisimmat korjataan viraston laatimilla korjaussuunnitelmissa. Siltojen keskimääräinen peruskorjausikä on keskimäärin 30-40 vuotta. Peruskorjauksen yhteydessä uusitaan myös yleensä sillan kansilaatan pintarakenteet. [2.]

Xypex Admix -sarjan lisäaineella vesitiivistetyn betonin käyttö sillan betonisen kansilaatan pintarakenteena on suhteellisen uusi menetelmä ja kokeiluasteella. Lähtökohtana Liikennevirastolla on ollut kehittää nopea ja kustannustehokas tapa korjata kansilaatan pintarakenteita. Sen käyttö sopii suolaamattomiin ja vähäliikenteisiin siltoihin. Potentiaalia tämän pintarakenneratkaisun yleistymiseen on, koska suolaamattomia ja vähäliikenteisiä siltoja on Suomessa tuhansia. Menetelmän yleistyminen riippuu kuitenkin liikennevirastosta ja kunnista, jotka tahoillaan vastaavat omien siltojensa korjaussuunnitelmista.

Destia Oy on Ahlström Capitalin omistama suomalainen infra-alan rakennus- ja palveluyritys. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2018 noin 550 miljoonaa euroa. Destian tavoite on edistää turvallista ja sujuvaa liikkumista. Palvelut ulottuvat maanalaisesta rakentamisesta kattavaan maanpäälliseen toimintaan ja vaativasta pohjarakentamisesta aina energia- ja insinöörirakentamiseen saakka. [1.]

2 Yleiset pintarakenneratkaisut sillan kansilaatoissa

Pintarakenteen tehtävä on suojata kansilaattaa mekaaniselta kulutukselta ja rapautumiselta, jotka aiheutuvat vedestä, pakkasesta, klorideista sekä liikenteestä (kuva 1). Pintarakenne koostuu tiivistys- tai pohjustuskerroksesta, vedeneristeestä, suojakerroksesta ja päällysteestä. [4.]



Kuva 1. Pintarakeisiin kohdistuvia rasituksia [9]

Siltojen vedeneristämisen historia on Suomessa pitkä. Ilmasto-olosuhteiden takia teitä suolataan ja rakenteet kärsivät kloridi rasituksen lisäksi vesi-pakkasrasituksesta. 1970-luvulle saakka vedeneristykset on tehty kuumabitumisvelynä, jonka päälle on levitetty juuttikangasta. Myöhemmin 1980-luvulla on alettu käyttämään kuumabitumikermejä ja eristysmastiksia. Vedeneristykset on suojattu saman vuosikymmen puoliväliin saakka suojabetonilla. Tämän suojakerroksen tarkoitus on toimia kilpenä vedeneristykselle edellä mainittuja rasituksia vastaan. Toinen tärkeä tarkoitus sillä on estää painollaan vedeneristyksen kuplimisesta johtuvan päällysteen hajoamisen. Tänä päivänä peruskorjausikäen ehtineiden 1970-1980-luvun siltojen suojabetoni poistetaan ja korvataan suoja-asfaltilla. Perusteluista syistä suunnittelija voi edelleen käyttää suojabetonia. [9.]

2.1 Pintarakenneratkaisun valinta

Pintarakenneratkaisut ryhmitellään seuraavasti [4]:

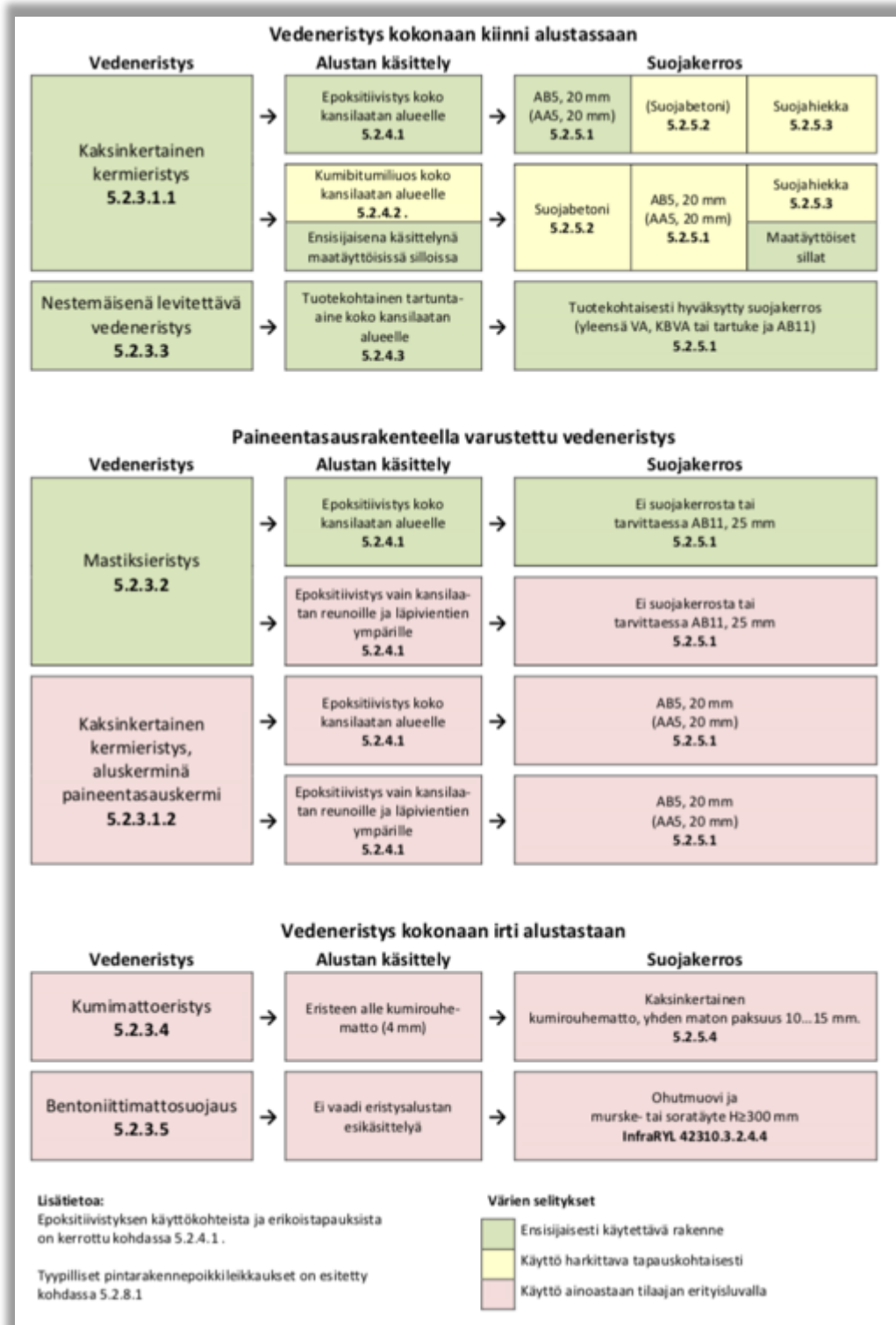
- Alustassa kiinni oleva vedeneristeet.
- Paineentasausrakenteella oleva vedeneristys ja siltakansi.
- Alustasta irti oleva vedeneristys.

Ensisijaisesti uusissa ja uusittavissa pintarakenteissa käytetään alustassa kiinni olevia vedeneristeitä. Tämä pintarakenneratkaisu on todettu pitkäikäisimmäksi vaihtoehdoksi. Vedeneriste vaihtoehdot tässä ratkaisussa ovat kaksinkertainen kumibitumikermieristys tai nestemäisenä levitettävä vedeneristys, näillä arvioitu käyttöikä on 40 vuotta. Haittapuolena voidaan pitää kuplimista. Tämä johtuu kostean betonin aiheuttamasta höyrynpaineesta eristeen alla. Sen vuoksi eristeen kiinnitysalusta lähtökohtaisesti tiivistetään epoksilla. [4.]

Paineentasausrakenteella olevia vedeneristeitä käytetään, jos alustan kosteuspitoisuutta ei saada laskemaan riittävän alhaiseksi, jonka seurauksena alustassa kiinni oleva vedeneriste kuplisi. Korjauskohteissa tämä tulee kyseeseen, jos vanha eristys on tehty paineentasausrakenteella ja sillan kannessa on paineentasausputket. Vedeneriste vaihtoehto tässä ratkaisussa on kumibitumimastiksieristys, jonka arvioitu käyttöikä on 30 vuotta. Eristysmastiksin kiinnitysalusta tiivistetään lähtökohtaisesti myös epoksilla vesitiiveyden ja tartunnan parantamiseksi. [4,5]

Alustasta irti olevia vedeneristeitä käytetään erityistapauksissa maatäytteisten ja rautatie siltojen korjauksissa. Kumimattoeristys tai bentoniittimattosuojaus ovat tässä ratkaisussa vedeneritevaihtoehtoja. [4.]

Kuvassa 2 on esitetty pintarakennevaihtoehdot edellä esitetyn ryhmittelyn mukaisesti (kuva 2). Otsikon alla oleva numerointi viittaa liikenneviraston pintarakenteiden suunniteluohjeisiin.



Kuva 2. Sillan pintarakennevaihtoehdot [4, sivu 30].

2.2 Pintarakenteiden valmistelevat työt

Pintarakennetöiden valmistelevinä tehtävinä korjauskohteissa urakoitsija laatii työ- ja laatusuunnitelmat seuraavan jaottelun mukaisesti:

- Yleiset tiedot
- työsuunnitelma, joka on selvitys siitä miten työ aiotaan toteuttaa.
- työnaikaiset tarkistukset ja mittaukset
- kelpoisuuden osoittaminen, sisältää käytetyn materiaalin dokumentoinnin sekä laatuksokkeiden tulokset.

Valmistelevia töitä ovat myös liikenteenohjaussuunnitelma, joka laaditaan Liikenneviraston ohjeiden mukaan (kuva 3). Korjauskohteissa kaistoja joudutaan siirtämään, kaivantamaan ja nopeutta rajoittamaan, koska pintarakenteet uusitaan kahdessa osassa.

[5.] Kapealla sillalla liikennettä ohjaa liikennevalot.



Kuva 3. Liikennejärjestelyt korjauskohteessa. [5].

Eristysalusta, jolla tarkoitetaan tässä betonin pintaa, kuivataan sääsuojassa keinotekoisesti puhallin- ja säteilylämmittimillä. Kuivatustapa riippuu sääsuojan koosta. Pääasia on, että saadaan lämpöä ja riittävä tuuletus aikaiseksi. Absoluuttinen kosteus mitataan näytepaloista, jotka kuivataan uunissa ja suhteellinen kosteus mitataan antureilla betoniin tehdystä reiästä. Eristysalustan suurin sallittu kosteus eri eristysmateriaaleille alla olevassa kuvassa (kuva 4). [6.]

| Materiaali | Eristysalustan suurin sallittu kosteus | |
|--|--|-----------------------------------|
| | Absoluuttinen kosteus (VTT-2650) m-% | Suhteellinen kosteus (VTT-2649) % |
| Kauttaaltaan kiinnitetty kermi, nestemäisenä levitettävä eristys tai epoksitiivistys | 5,0 | 93 |
| Paineentasauskermi tai kumibitumimastiksi | 6,0 | 96 |

Kuva 4. Eristysalusta suurin sallittu kosteus ennen töiden aloitusta [6, sivu 16].

2.3 Pintarakenteiden purku

Pintarakenteiden purku aloitetaan asfaltin jyrinnällä. Tämä on tarkka vaihe, koska purkujätteen sekaan ei saa joutua muiden pintakerrosten jätettä eikä eristysalustana olevaa sillan betonikantta saa vaurioittaa. Vanha eristyskerros puretaan tasateräisellä kaivinkoneen kauhalla ja petkeleellä (kuva 5).



Kuva 5. Vanhan eristyksen poistoa kaivinkoneella. [5].

Vanhat lujasti kiinni olevat bitumi- tai mastiksijäämät poistetaan kauttaaltaan kannesta, jos eristysalusta tiivistetään kauttaaltaan epoksilla. Menetelmiä tähän on tasovesipesu ja hiekkapuhallus. Irtoaines, pöly ja hiekka poistetaan harjaamalla, puhaltamalla tai imuroimalla. Hiekkapuhaltamalla saadaan myös betonipinta karhennettua sopivaksi

epoksiivistyskäsittelyä varten (kuva 6), makrokarheusvaatimus vaatimus on 0,3...1,2 mm. [4,5,6.]



Kuva 6. Bitumi- ja mastiksijäämien poistoa hiekkapuhaltamalla [5]

Puhdistuksen jälkeen eristysalusta kunnostetaan paikkaamalla yksittäiset kolot, halkeamat suljetaan imeyttämällä epoksilla tai kokonaan muotoiluvalulla. Muotoiluvalu vaatii vesipiikatun tartuntapinnan laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Myös kannen viettokaltevuudet tarkastetaan veden pois johtamiseksi sekä vanhat tippuputket ja pintavesikaivot uusitaan. Tukkeutuneet paineentasausreiät putsataan ja tarvittaessa tehdään uusia 20 mm halkaisijalla olevalla timanttiteräisellä lieriöporalla. [5.]

2.4 Eristysalustan tiivistys

Betonisen eristysalustan tiivistys kaksinkertaisella epoksikäsitteilyllä tulee kyseeseen, jos sillan kannen vedeneristeenä käytetään mastiksi- tai kermieristystä. Tiivistyskäsitteily parantaa vedeneristyksen tartuntaa alustaansa, vesitiiveyttä sekä estää varsinaisen vedeneristeen kuplimisen. Vedeneristyksen kupliminen johtuu kosteuden pääsystä sen alle. Epoksi on kaksikomponenttinen muovipohjainen aine, joka kovettuu kovetinaineen vaikutuksesta. [4.] Epoksi levitetään lastalla sekä kiinnitetään lampaankarvatelalla, ensimmäiseen tiivistyskerrokseen levitetään kvartsihiekkä (kuva 7).



Kuva 7. Epoksin levitystä [8].

Tiivistyskäsittely ei paranna kannen sisäistä vetolujuutta eikä se tunkeudu halkeamiin. Betonisen eristysalustan tulee olla puhdas, tartuntavetovelolujuuden on oltava vähintään $1,5 \text{ N/mm}^2$, halkeamat tulee erikseen imeyttää epoksilla tai injektoimalla ja viettokaltevuuden oltava vähintään 1% vesien poisjohtamiseksi. Tartuntavetolujuutta testataan mittarilla, joka kiinnitetään liimalla betonin pintaan. Mittari laskee vetovoiman jolla betoni irtoaa alustasta. Tarvittaessa ennen tiivistyskäsittelyä eristysalustan huonokuntoinen betoni poistetaan ja muotoiluvaletaan uusi pinta 2% viettokaltevuudella. Betonipinta karhennetaan sinko- tai hiekkapuhaltamalla oikean karkeuden saamiseksi, mikrokarkeusvaatimus on $0,3 \dots 1,2 \text{ mm}$. Tiivistyskäsittelyn yhteydessä kannen yksittäiset kolot paikataan sekä kiinnitetään uudet tippuvesiputket ja pintavesikaivot hiekkaepoksilla. [4,7.]

Eristysalusta käsitellään kahdella epoksitiivistyskerralla. Epoksimassan menekki riippuu alustan karkeudesta, mutta sen on oltava vähintään 1000 g/m^2 . Määrät vaihtelevat korjauskohteissa, joten on kannattavaa varautua suurempiin määriin. Epoksitiivistyskäsittelyyn kuluu kuivumisaikojen osalta 24h-60 h. Aikaan vaikuttaa tuotteen ominaisuudet sekä työskentelypaikan kosteus ja lämpötila. [9,10.]

Massamenekki epoksikerroksissa [9]:

- Epoksi 300g-500g/m² + kvartsihiekkä 1-2kg/m²(raekoko 0,3-1,2mm)
- epoksi > 600g/m².

Tiivistyskäsittelyn aikana on seurattava olosuhteita ja niiden oltava sallituissa rajoissa. Tiedot olosuhteista kirjataan sillan laaturaporttiin.

Tiivistystöiden olosuhteiden sallitut raja-arvot:

- Alin työskentelylämpötila 8°C
- Ylin työskentelylämpötila 30°C
- Alin betonipinnan lämpötila 10°C
- Ilman suhteellinen kosteus enintään 85%
- Tiivistettävän pinnan lämpötila oltava vähintään 3°C ilman kastepistettä korkeampi.
- Betonialustan absoluuttinen kosteus enintään 5%. [6,10.]

Valmis kuivunut epoksipinta testataan kipinäharavalla vesitiiveyden toteamiseksi (kuva 8). Laite antaa merkkiäänäen reiän tai liian ohuen kerroksen kohdalla. Menetelmä perustuu sähkön johtavuuteen, valmis tiivistyskerros ei johda sähköä.

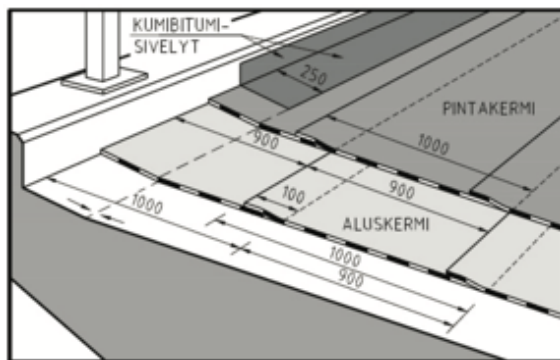


Kuva 8. Valmiin epoksi tiivistystyksen tiiveys mitataan kipinäharavalla [9]

2.5 Kaksinkertainen kermieristys

Kaksinkertainen kermieristys koostuu alustaan sulatettavasta tai hitsattavasta alus- ja pintakermikerroksesta (kuva 9). Tämä on yleisin vedeneristysmenetelmä, joka sopii kaikille silloille. Aluskermiksi voidaan myös asentaa vesihöyrypainetta tasaava paineentasauskermi. [4,8.]

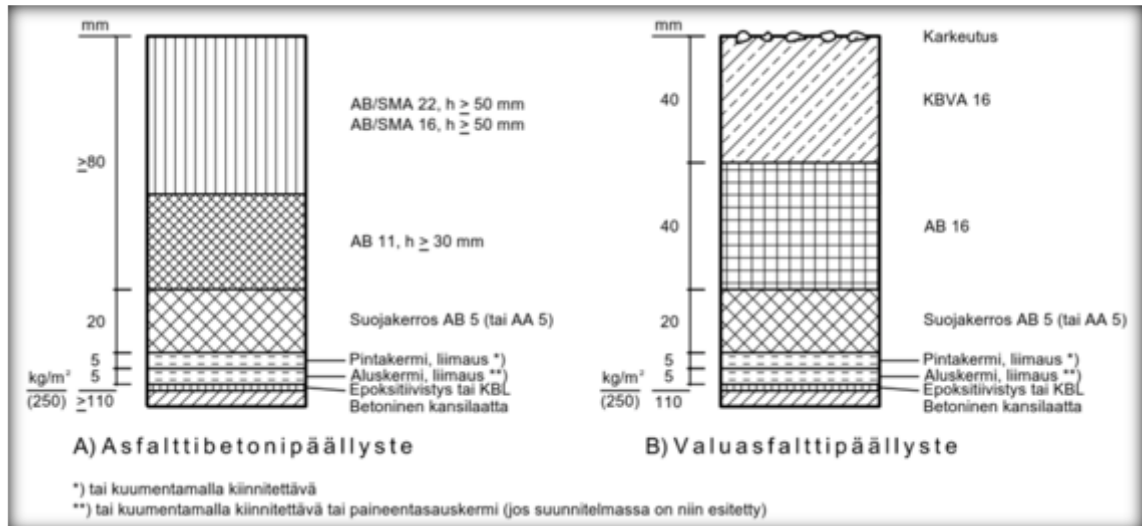
Betonikantinen kiinnitysalusta pääsääntöisesti tiivistetään epoksilla paremman tartunnan ja vesitiiveyden saamiseksi. Kermieristysten huonoja puolia on sen herkyys irtoamaan alustastaan eli kupliminen. Onnistunut kermieristys edellyttää betonin riittävää tartuntavetolujuutta, eristyksen ja alustan välistä tartuntavetolujuutta, alhaista alustan kosteuspitoisuutta, sekä alustan vesihöyrytiiveyttä. [4,8.]



Kuva 9. Kermieristysten asennus reuna-alueilla [8]

Kermieristysten asennusalustan pintalämpötilan on oltava vähintään $+5^{\circ}\text{C}$ ja vähintään 3°C korkeampi kuin ilman kastepistelämpötila. Ilman suhteellinen kosteus saa olla enintään 85%. [9.]

Valmis kermieristys suojataan mekaaniselta kulutukselta lähtökohtaisesti asfalttibetonilla AB5, muita vaihtoehtoja ovat avoin asfaltti AA5 tai suojabetoni (kuva 10). On myös huolehdittava työn aikaisesta suojauksesta. Tilapäiset kulkuväylät suojataan 5 mm vanerilevyillä sekä eristyspinnalle joutuneet kivet poistetaan, jotta työkoneiden renkaat eivät paina niitä eristyksen läpi. [4,5.]



Kuva 10. Kermieristys, betonikantisen sillan ajorata [4 sivu 47].

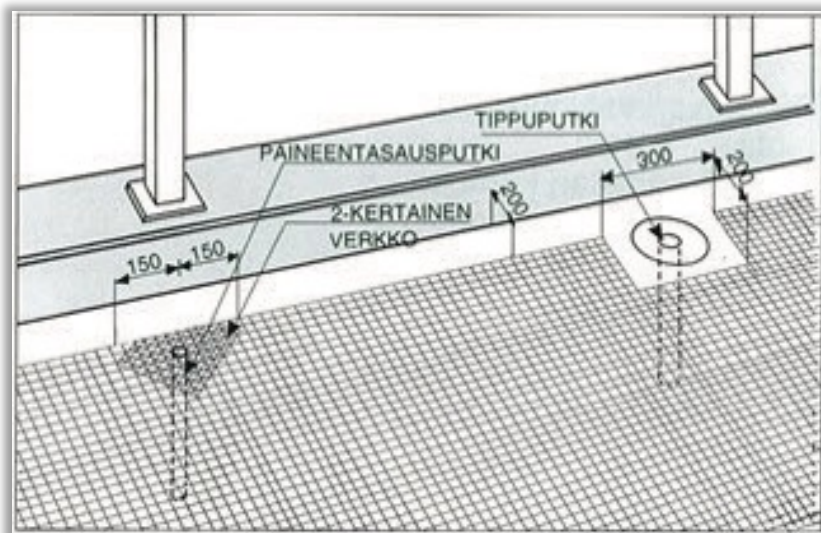
2.6 Mastiksieristys

Kumibitumimastiksi koostuu runkoaineesta ja polymeerimodifioidusta bitumista. Se valmistetaan koneellisesti sekoittavassa asfalttikeittimessä ja levitetään kuumana paineentasausverkon päälle, yhtenä n. 2 cm kerroksena tai kahtena ristikkäisenä kerroksena, massan menekin oltava vähintään 55 kg/m². Massa on notkeaa ja se levitetään käsityönä kolalla ja se peittää hyvin myös kannen pienet epätasaisuudet (kuva 11). Eristysmastiksin parhaita puolia on sen nopea levitettävyyys. Jäähtyessään massa vulkanisoituu eli muuttuu kovaksi ja kestäväksi. Valmis pinta on kiiltävä eikä siinä saa näkyä huokosia, kuplia tai halkeamia. [4,5.] Sääsuojan käyttö vedeneristystöissä on tullut pakolliseksi vuonna 2007.



Kuva 11. Eristysmastiksin levitystä sääsuojan alla. [5].

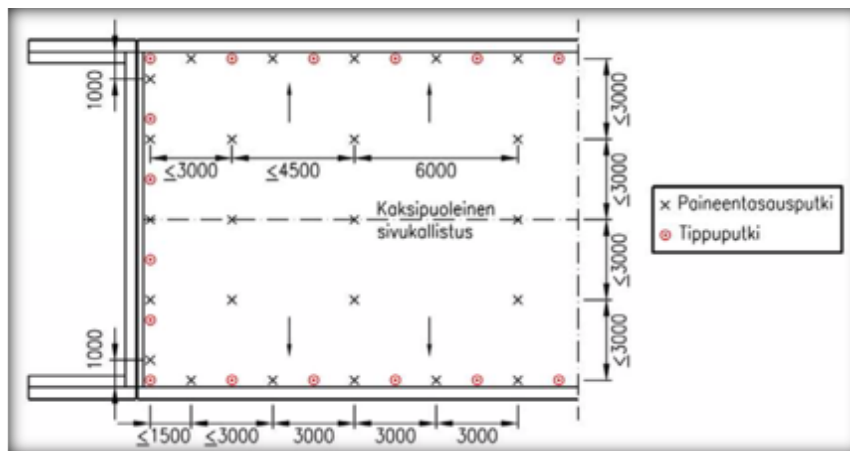
Paineentasausrakenteen, joka käsittää kannen läpi menevät paineentasausreiät sekä verkon, tehtävä on estää eristysmastiksin kupliminen levitystyön aikana, alla detalji rakenteesta (kuvat 12, 13). [4,5].



Kuva 12. Paineentasausverkko ja putki. Reunat sivellään kumibitumilla eristysmastiksi tarttuvuuden parantamiseksi. [5].

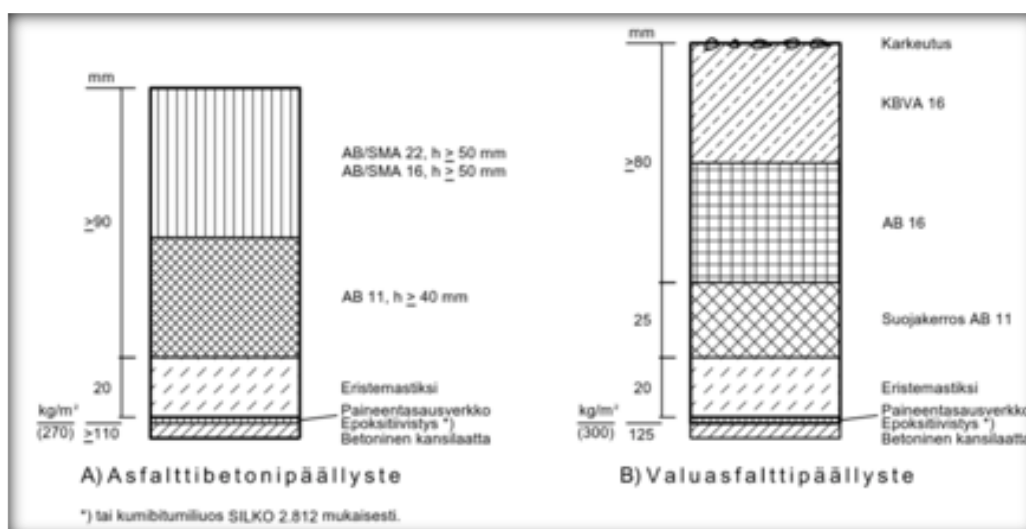
Eristettävän pinnan täytyy olla kuiva ennen tiivistyskäsittelyä ja eristysmastiksin levitystä. Kuivatus tehdään keinotekoisesti sääsuojassa käyttäen puhallin- ja säteilylämmittämiä. Eristyksen aikainen alustan pintalämpötila on eristysmastiksin levityksessä oltava

vähintään +2°C ja vähintään 3°C korkeampi kuin ilman kastepistelämpötila. Ilman suhteellinen kosteus saa olla enintään 85%. [9.]



Kuva 13. Paineentasausreikien ja vedenpoistolaitteiden sijoittelu sillan kannella [4, sivu 56].

Valmis mastiksieristys ei tarvitse erillistä suojakerrosta, sillä se kestää mekaanisesti asfalttikerroksen levittämisen, tarvittaessa voidaan suojakerros tehdä asfalttibetoni AB 11 massalla (kuva 14). Vaikka eristys kestääkin mekaanisen kulutuksen on silti huolehdittava työn aikaisesta suojauksesta. Tilapäiset kulkuväylät suojataan 5 mm vanerilevyillä sekä eristyspinnalle joutuneet kivet poistetaan, jottei työkoneiden renkaat paina niitä eristyksen läpi. [4,5.]



Kuva 14. Mastiksieristys, betonikantisen sillan ajorata [4, sivu 48].

3 Lisäaineistettu vesitiivis betoni

Lisäaineistetulla vesitiiviillä betonilla tarkoitetaan vesitiivistä betonia, joka on saatu aikaan betoniin sekoitetuilla sementinsukuisilla lisäaineilla. Lisäaineiden vaikutus perustuu betonin vettä imevän kapilaariverkoston sulkemiseen sekä halkeamien silloituskyyntiin.

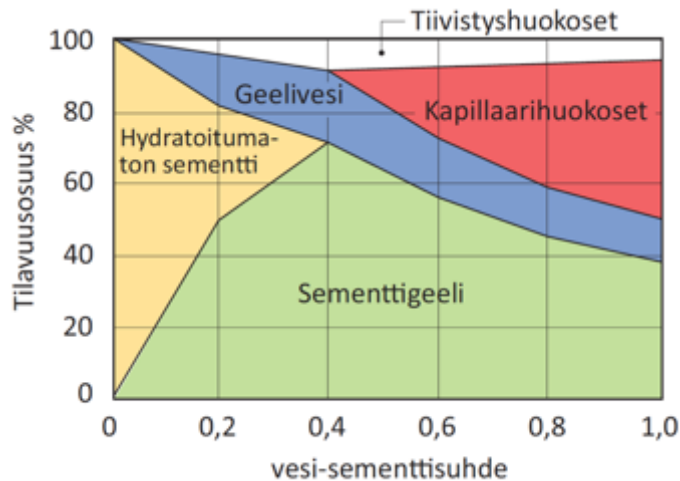


Kuva 15. Betoniin sekoitettava Xypex Admix C-1000 -lisäaine. [17].

Xypex Chemical Corporation on maailmanlaajuinen yhtiö, joka on kehittänyt vedeneristysteknologiaa 1960-luvulta lähtien ja Xypex Admix C-1000 -lisäaine on yksi sen tuottamista lisäaineista (kuva 15) [17].

3.1 Yleistä vesitiivistetystä betonista

Vedenpitävyydellä tarkoitetaan betonin kykyä vastustaa vedenpaineesta tapahtuvaa tunkeutumista rakenteen läpi. Standardissa SFS-EN 12390-8 määritetään betoni vesitiiviksi kun veden tunkeuma on alle 100 mm koekappaleessa, joka on ollut 5 bar paineellisen veden alla kolme vuorokautta [18, sivu 135]. Betonilta vaaditaan tiiveyttä saavuttaakseen vesitiiveyden. Alhainen vesi-sementtisuhde, oikea suhteutus, laadukas betonityö ja hyvä jälkihoito ovat lähtökohtia vesitiiviille betonille. Vesi kulkee betonissa kapilaarihuokosten ja halkeamien kautta. Kapilaarihuokokset muodostuvat, kun betonin vesi - sementti suhde ylittää 0,4 (kuva 16). [18.] Tavanomaisia vesitiiveyttä vaativia rakenteita ovat altaat, padot, säilöt, tunnelit ja parkkihallit. Betonirakenteisiin saadaan vesitiiveyttä parantamalla lisää käyttöikä, josta on hyötyä erityisesti silta-, satamarakenteissa.



Kuva 16. V/S suhteen ollessa yli 0,6 kapillaarihuokokset muodostavat yhtenäisen verkoston. [16].

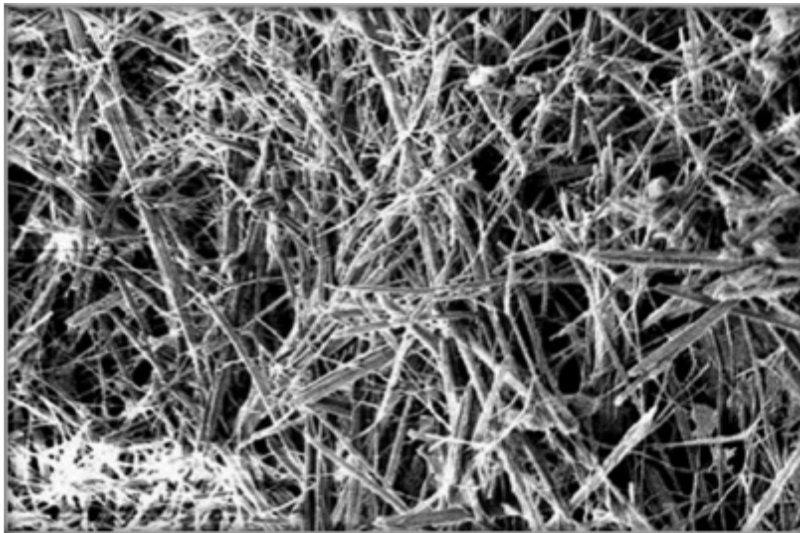
Xypex Admix -sarjan C-500, C-1000 ja C-2000 ovat betonimassaan sekoitettavia lisäaineita paineellisen veden tunkeumaa ja kemiallisia rasituksia vastaan. Tuotteet sisältävät reaktiivisia ja tiivistäviä ainesosia, jotka reagoivat veden ja sementin hydrataatiossa syntyvien reaktiotuotteiden kanssa. Reaktion seurauksena betonin halkeamiin ja huokosiin syntyy kalsiittimaisia veteen liukenemattomia kiteitä (kuva 17), jotka tiivistävät betonirakenteen pysyvästi estäen veden pääsyn rakenteeseen. Admix-sarjan kaikki tuotteet ovat yhtä tehokkaita, ainoa ero on niiden välillä betonin alkukovettumista hidastava vaikutus. C-500 NF ei vaikuta alkukovettumiseen ollenkaan, C-1000 NF vaikuttaa sitoutumista hieman hidastavasti ja C-2000 NF on suunniteltu lämpimiin olosuhteisiin, joissa betonin hidas sitoutuminen on eduksi kuivumiskutistumien ehkäisemiseksi. [17.]

Lisäaine sekoitetaan betonimassaan betonitehtaalla tai säiliöautossa työmaalla. Tämä takaa sen, että lisäaine on sekoittunut tasaisesti betonimassaan. Suomessa suurilta betonin toimittajilta löytyvät valikoimastaan Xypex-lisäaineet. Menekki on 1%-1,5% betonin sisältävän sementin määrästä. Kuutiossa betonia on 200-400 kg sementtiä, lisäaineen menekki vaihtelee kohteen vaativuuden ja tarpeen mukaan n. 2 kg - 6 kg/m³.

Valmistajan ilmoittamia lisäaineen betoniin tuottamia etuja ovat: [17].

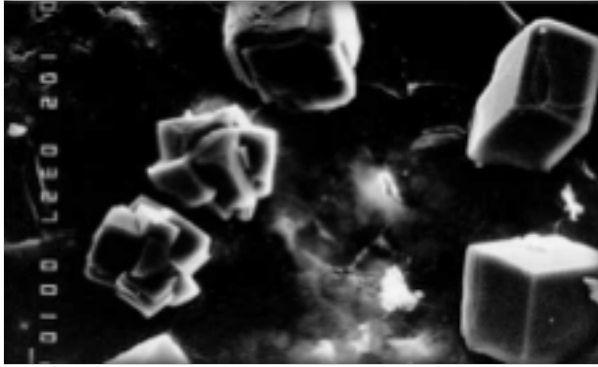
- Kestää kovaa hydrostaattista vedenpainetta
- Kiinteä ja erottamaton osa betonirakennetta
- Suojaa aggressiiviseltakin kemialliselta rasitukselta

- Kykenee silloittamaan staattisen halkeaman jopa 0.4 mm asti myös vesirasituksen aikana
- Säilyttää betonin diffuusioavoimuuden
- Myrkytön, ei VOC päästöjä tuottavia ainesosia
- Juomavesirakenteisiin hyväksyty
- Kustannustehokas ja pysyvä
- Säästää aikaa rakenteen vedeneristämässä
- Voidaan asentaa vuodenajasta ja sääolosuhteista riippumatta.



Kuva 17. 2500-kertainen suurennos Xypex-lisäaineella tiivistetystä betoninäytteestä. [19].

Vesitiiveyskokeessa testattiin 50 mm paksuja betoninäytteitä, josta toisessa oli Xypex-lisäainetta. Lisäaineella tiivistetty betoninäyte säilytti vesitiiveyden 10 bar:in paineessa, joka vastaa 100 metrin syvyyttä vedessä, (kuva 17) lisäaine kristallisoitunut huokosiin. Ilman lisäainetta oleva betoni säilytti vesitiiveyden 60 m asti. [19.]



Kuva 18. Ilman Xypex-lisäainetta olevan betonin mikroskoopi suurennos. [19].

Betonissa oleva Xypex Admix -sarjan lisäaineet betonissa eivät tee betonirakenteesta vesitiivistä välittömästi. Prosessi vie aikaa ja betoni tiivistyy n. 1 cm viikossa, tiivistymiseen tarvitaan vettä. Lisäaine kristallisoituu huokosissa ja halkeamissa reagoidessaan veden ja sementin partikkeleiden kanssa.

3.2 Käyttökohteet Suomessa ja ulkomailla

Xypexin kehittämiä betonin vesitiiveyteen vaikuttavia lisäaineita käytetään maailmanlaajuisesti tuhansissa kohteissa ja patentoidut lisäaineet ovat olleet yli 50 vuotta markkinoilla. Seuraavaksi esitellään muutamia käyttökohteita Suomesta ja ulkomailta.

Amos Rex Anderssonin museossa Helsingin lasipalatsissa Xypex Admix C-1000 NF betonin lisäainetta käytettiin kohteen vedenpaineeseinissä, vedenpainelaattarakenteissa, hissikuilujen montuissa sekä anturoissa (kuva 19). [17.]



Kuva 19. Amos Rex Anderssonin museon työmaa. [17].

Oulun kivisydän, maanalaisen pysäköintilaitoksen ruiskubetonointien tiivistämiseen käytettiin 25 tonnia Xybex Admix C-1000 NF -lisäainetta (kuva 20).



Kuva 20. Oulun kivisydän. [17].

Länsimetron tunneleiden ruiskubetonoinneissa ja metroasemien betonirakenteissa käytettiin Xypex Admix -sarjan tuotteita (kuva 21).



Kuva 21. Länsimetro tunnelit. [17].

La Crosse, Wisconsin, USA:ssa betonikantisen sillan korjaukseen käytettiin Xypex Concentrate -tiivistysainetta halkeamien korjauksiin (kuva 22).



Kuva 22. Kuvassa betonipäälysteisen sillankorjausta Xypexin tuotteilla. [20].

New Fane, USA:ssa kunnostettiin vuonna 1972 rakennetun sillan kansi käyttämällä betonissa Xypex Admix C-500 NF -lisäainetta (kuva 23).



Kuva 23. Sillan betonikansi korjattu vesitiivistetyllä betonilla. [20].

Australiassa rakennettiin kelluva laiturirakenne suolaiseen meriveteen käyttäen betonissa Xybex Admix -lisäainetta. 19 vuotta myöhemmin rakenteesta otettiin kloridimitauksia ja laskettiin rakenteen käyttöiäksi 129 vuotta (kuva 24). [21.]



Kuva 24. Laiturirakenne Australiasta. [21.]

4 Vesterängin risteysilta

Vesterängin risteysilta (U-1582) sijaitsee yksityisellä Vesterängintiellä Sipoossa. Teräsbetoninen jatkuva ontelolaattasilta on Liikenneviraston hallinnassa oleva risteysilta ja se on valmistunut vuonna 1971. Siltapaikkaluokka on tavanomainen ja sillalla on ympäristörasituksena maaseutu. Sillan hoitoluokka on III (KVL<350) tämä tarkoittaa, että tie on talvisin lumipintainen ja toimenpide aika pisin. Sillan alittaa Valtatie 7 (Helsinki-Vaalimaa) KVL 3947/443. Rakennusaikana on otettava huomioon sillan ylittävä ja alittava liikenne. Sillankorjaus työmaa on merkittävä selvästi ja niin näkyvästi, että liikennöinti sen ohi olisi turvallista. Urakoitsija laatii työ- ja liikennejärjestelyistä suunnitelmat tilaajan tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi ennen korjaustoimenpiteiden aloittamista. Urakoitsija laatii omiin tarpeisiinsa sopivat suunnitelmat, joiden pitää noudattaa ”Liikenne tietömaalla” ohjeistuksen vaatimuksia.

Korjaussuunnitelma perustuu SiltaExpert Oy:n tekemään erikoistarkastukseen vuodelta 2012. Käytettävien tuotteiden ja lopputuloksen on täytettävä infraRYL 2006 osa 3 ja SILKO:n (siltojen korjausohjeet) sekä työselostuksen laatuvaatimukset. [3.]

Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen hallussa oleva Vesterängin risteyssilta peruskorjattiin 11/2018 - 6/2019 välisenä aikana. Tämä peruskorjaus oli vuonna 1971 valmistuneelle sillalle ensimmäinen. Sillan tekniset tiedot kuvassa 25.

| Sillan mitat / ominaistiedot | Suunnitelmissa |
|------------------------------|---------------------------------|
| Kokonaispituus | 65,50 m |
| Kannen pituus | 58,20 m |
| Jännemitat | - |
| Vapaat aukot | 11,05 + 15,20 + 15,20 + 11,05 m |
| Alikulkukorkeudet | - + 4,80 + 4,80 + - |
| Kokonaisleveys | 5,30 m |
| Hyötyleveys | 4,50 m |
| Ajorataleveydet | - |
| Vinous | - |
| Kaarevuus | - |
| Kannen pinta-ala | ~ 310 m ² |
| Suunnitteluvuosi | 1968 |
| Suunnittelukuormitus | All |
| Suunnitelmanumero | 6821 |
| Suunnittelija | Insinööritoimisto Viatek |
| Valmistumisvuosi | 1971 |

Kuva 25. Sillan mitat ja ominaistiedot [3. s, 3].

4.1 Korjaustyön laajuus

Sillan peruskorjauksen laajuus sillan rakenneosien mukaan [3]:

Alusrakenteet

- Halkeamien injektointi etumuurista.
- Siipimuurien puhdistus ja yksittäisten vaurioiden laastipaikkaus.
- Välitukipilareiden vesipiikkaus, painevalu IT-betonilla ja impregnointi.

Reunapalkkirakenteet

- Reunapalkkien ja niiden liikuntasauvojen uusiminen.
- Vanhojen ukkopylväiden ja valaisinjalustojen poisto.

Päällyys- ja pintarakenteet

- Vanhan pintarakenteen (bitumihuopa + suojabetoni + asfaltti) poisto ja kansilaatan yläpinnan vesipiikkaus.
- Kannen valaminen vesitiivistetyllä betonilla ja liikuntasauvan teko molempiin sillan pätyihin.
- Kansilaatan alapinnan yksittäisten teräskorroosiovaurioiden ja törmäysvaurioiden laastipaikkaus.

Kaiteet

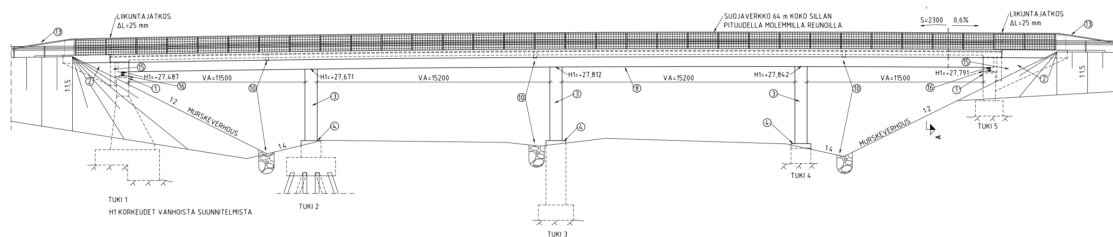
- Sillan kaiteiden uusiminen koko sillan pituudelta.

Varusteet ja laitteet

- Sillan kuivatusvarusteet uusitaan poistamalla vanhat tippuputket ja asentamalla uudet pintavesiputket (6 kpl).
- Kivipesien teko pintavesiputkille.
- Vanhan valaisinkaapelin suojaputken sementti-injektointi kansilaatan sisältä.

Siltapaikan rakenteet

- Penkereiden päällysteiden uusiminen sillan päädyistä 10 metrin matkalta.
- Pengerkaiteen uusiminen yhdeltä nurkalta.
- Asfalttimakkaroiden teko sillan pätyihin vedenohjaukseksi.
- Vesivuotojälkien hionta ja pesu.
- Teräsrullalaakereiden huoltomaalaus.



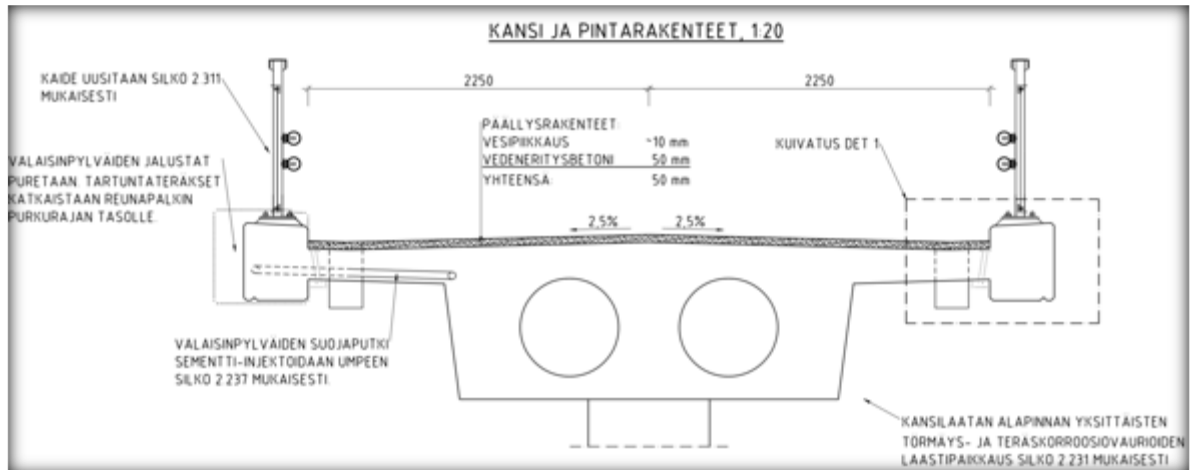
Kuva 26. Vesterängin risteyssillan yleispiirustuksen pituusleikkaus. [3].

5 Sillan pintarakenteiden uusiminen vesitiivistetyllä betonilla

Tilajan esityksestä betonikantainen silta voidaan jättää kokonaan eristämättä. Tällöin pintarakenteet uusitaan betonipäällysteenä tiiviistä ja halkeilemattomasta teräskuitu-betonista [4, sivu 40]. Betonipäällysteessä käytetään pakkasenkestävää betonia, jonka lujuusluokka on K50-1 ja pakkasenkestävyysluokka P50 [11, sivu 214].

Tässä kohteessa betonin vesitiiveyttä parannettiin Xypex Admix C-1000NF -lisäaineella, jota sekoitetaan betoniin kuivasekoitusvaiheessa betoniasemalla. Betonimassana käytetään samaa mitä kannen muotoiluvaluissa yleensä, P30 C30/37, jonka maksimirae koko on 8 mm ja notkeusluokkana S3. Uuden vesitiiviin betonipäällysteen paksuus on 50 mm, tällä saavutetaan täysin vedenpitävä päällystekerros. Standardin SFS-EN 12390-8 mukaan betoni luokitellaan vesitiiviiksi, jos vedentunkeuma vesitiiveyskokeessa on alle 100 mm. Tämän kohteen vaatimukseksi on asetettu veden tunkeamaksi betoniin 6 mm. Betoniin sekoitettavat teräskuidut korvattiin ruostumattomasta teräksestä valmistetulla raudoitusverkolla. Tämä rakenneratkaisu on Suomessa kokeilu asteella ja sopii teoriassa vähäliikenteisiin suolaamattomiin siltoihin.

Nastarenkaiden aiheuttamien urien korjaaminen betonipäällysteessä on kallista suhteessa asfaltin korjauskustannuksiin. Betonipäällysteessä olevia uria korjataan hiomalla tasaiseksi. Hionnan seurauksena päällysteen vedeneristys ominaisuus kärsisi. Suomessa betonipäällysteisiä teitä kokeiltiin, mutta kokeilut lopetettiin kun betonitiet rapautuivat ennen aikojaan. [24]. Liikennemäärät vaikuttavat suoraan päällysteiden urautumiseen ja rapautumiseen, määrien noustessa myös teiden suolaamistarve lisääntyy.



Kuva 27. Vesterängin risteys sillan betonikannen pintarakenteen poikkileikkaus. [3].

Silta suljettiin korjaustöiden ajaksi autoliikenteeltä kahdeksi viikoksi ja jalankulkijoilta pari päiväksi. Sillan läpi ei päässyt vesipiikkauksen, rauditusverkon asennuksen sekä päällysteen betonoinnin aikana. Pintarakenteiden korjaus suoritettiin yhdessä vaiheessa ilman työsaumoja. Usein jos sillalla leveyttä riittää tehdään kahdessa vaiheessa, jossa liikenne ohjataan toiselle kaistalle ja toista kunnostetaan. Kuvassa 27 sillan kansi ja pintarakenteiden poikkileikkaus. Harjakallistuksella ja kuudella kaivolla ohjataan sadevedet pois sillan kannelta.

5.1 Työvaiheet

Kannen kunnostustyöt aloitettiin pintarakenteiden purusta marraskuussa 2018. Asfalttikerrokset, suojabetoni sekä vanha vesieriste poistettiin kaivinkoneella (kuva 28).



Kuva 28. Pintarakenteiden purkua kaivinkoneella.

Pintarakenteiden purun jälkeen, talven ja kevään aikana, korjattiin sillan reunapalkit, pilarit sekä uusittiin sillan kaiteet. Näiden työvaiheiden jälkeen työmaa jäi tauolle odottamaan yöpakkasten väistymistä. Kansilaatan betonipäällystystä ei ryhdytty valamaan talvibetonointina.



Kuva 29. Sillan betoninen kansilaatta pintarakenteiden purun jälkeen.

Toukokuussa 2019 kannen betonipinta vesipiikattiin uutta tartuntaa varten, samalla rapautunut betonin pinta saatiin poistettua. Kuva 29 otettu ennen vesipiikkauksen al-

kua, suojaukset rakennettu uusien kaiteiden varaan. Suojausten rakentaminen oli tehtävä huolellisesti sillan alapuolisen liikenteen vuoksi, betonikappaleen sinkoutumisella moottoritielelle olisi ollut kohtalokkaat seuraukset. Kansilaatan pinnasta poistettiin n. 20 mm betonia, koneen nopeutta ja vedenpainetta muuttamalla pystyttiin vaikuttamaan poistettavan kerroksen paksuuteen. Kuva 30 otettu vesipiikkauksen jälkeen.



Kuva 30. Kansi vesipiikkauksen jälkeen.

Vesipiikkauksen jälkeen kansi pestiin puhtaaksi, porattiin ja asennettiin uudet pintavesiputket ja rst 7-150 -raudoitusverkko kannelle halkeilun vähentämiseksi. Tämän jälkeen kansi oli betonoitavaksi. Teräksen on oltava ruostumatonta, koska suojaetäisyydet raudoitusverkolle jäivät alle rakenteelle vaaditun 45 mm.



Kuva 31. Betonin tasausta tärypalkilla.

Betonointi suoritettiin betoninpumppausautolla sillan eteläpäästä, betonin purkutapaan ja kalustoon vaikutti työmaan ahtaus ja kannella oleva raudoitusverkko. Kannen pätyihin tehdyt valustopparit ja reunapalkkiin merkatut korkomerkit toimivat betonin tsaamisen apuna. Betonin tasaukseen ja tiivistykseen käytettiin tärypalkkia (kuva 31). Se on kahvallinen teräspalkki, johon on kiinnitetty moottoritärytin. Sen käsittelyyn riittää yksi henkilö ja sitä vedetään betonin pinnalla johteiden päällä tai vapaasti. Uuden lisäaineella tiivistetyn betonikerroksen paksuus on n. 50 mm. Teräsverkko on nostettu välikkeillä 15 mm irti alustasta.

Xypex Admix C-1000NF -lisäaine betonissa hidasti alkukovettumista. Tämä vaikutti hierron aloitus ajankohdan siirtymistä normaalia myöhemmäksi. Hierron aloitusajankohta normaalisti määritetään siitä, kun vesi ei enää erotu pintaan. Pakkasen kestäville P-luku betoneilla vesi haihtuu suoraan ulkoilmaan ja veden erottumista pintaan ei tapahdu. Liian aikaista hiertoa on vältettävä, sopiva aika on, kun betoni on sitoutunut pintaa syvemmillä eikä jalka upota 5 mm enempää siinä kävellessä. Usein kannen ohuissa muotoiluvaluissa aikaikkuna hierron alkamisajankohdan suhteen on pieni ja aurinkoisella sekä tuulisella säällä hierto saattaa alkaa liian myöhään. Seurauksena pintaa ei saada tiiviiksi eikä plastisesta kutistumasta johtuvia halkeamia suljettua. [14.]

Tämänkaltaisissa olosuhteissa lisäaineen sitoutumista hidastava vaikutus on vain lopputuloksen kannalta hyvä asia.

Hierro tapahtui kolmessa vaiheessa, jossa ensimmäisessä käytetään levyhietokoneita tasoitushiertoon. Koneen annetaan kulkea tasaisella nopeudella lakaisevin edestakaisin liikkein. Toisessa vaiheessa hierro tehdään siipihietokoneella pienellä siipikulmalla, tarkoituksena saada kiviainesta kulutuspinnoille. Kolmannessa vaiheessa hierro tehdään siipihietokoneella suurella kulmalla, kun pinta on tarpeeksi kuivunut, tarkoitus on painaa pinta mahdollisimman tiiviiksi. Reuna-alueet on käytävä käsin viimeistelemässä.



Kuva 32. Betonin hietotyö suoritettu kohteessa

Jälkihoidoksi käytettiin jälkihoitoainetta, suojamuoveja ja vesikastelua seitsemän päivän ajan. Jälkihoidon pituuteen vaikutti liikennekatkon pituus.

Jälkihoidon tarkoitus on riittävän kosteuden turvaaminen lujuuden kehitystä varten. Kuivuessaan betoni kutistuu ja riittävän pitkällä jälkihoidolla voidaan vähentää kutistumisesta johtuvaa halkeilua. Kastelu on aloitettava mahdollisimman pian, oikea aika on heti kun betonipinta kestää kastelun erottumatta.



Kuva 33. Hierretty betonipinta peitetty muovilla.

5.2 Laadunvarmistus

Laadunvarmistuksella pyritään tavoiteltuun lopputulokseen. Ennen betonointisuunnitelman tekoa on varmistettava betonin toimittajalta ennakkokokeet ja suhteutustiedot. Näin pystytään varmistumaan, että betonimassa on sitä mitä vaaditaan.

Taulukko 1. Betonitoimittajan ennakkokoe Xypex-lisäaineistettuun betoniin [12].

| Tunnus | | 500d |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Pvm. | | 8.5.2018 |
| Sementti / Plus | kg/m ³ | 300 |
| Tuhka | kg/m ³ | - |
| Tehollinen vesi | kg/m ³ | 182,9 |
| v/s-suhde | | 0,609 |
| 0-5 Kivituhka | % | 15,0 % |
| 0-8 h | % | 7,0 % |
| 0-8 k | % | 39,5 % |
| 5-16 | % | 38,5 % |
| Notkistin | | Saitti-Parmix |
| Notkistinmäärä | %*sem. | 0,38 % |
| Kutistuman estoaine | | Xypex |
| Kutistuman estoaine annostus | % | 1,00 % |
| Painuma (tavoite) | | s3 |
| heti | mm | 150 |
| Muut | | |
| Ilma | % | 2,30 % |
| Tiheys | kg/m ³ | 2413 |
| Puristuslujuus | | |
| + 20 1d | MPa | 6,9 |
| +20 7d | MPa | 31,2 |
| +20 28 d | MPa | 40,1 |
| +20 91 d | MPa | 40,1 |
| +20 365 d | MPa | |
| +20 730 d | MPa | |
| Vesitiiveys max.tunkeuma | | |
| +20 7d | mm | 0,30 |
| +20 28d | mm | 0,20 |
| +20 91d | mm | 0,05 |
| Kutistuma | | |
| 7d | mm/m | 0,00 |
| 14d | mm/m | 0,12 |
| 21d | mm/m | 0,20 |
| 28d | mm/m | 0,23 |
| 56d | mm/m | 0,35 |
| 91d | mm/m | 0,35 |
| 182d | mm/m | |
| 273d | mm/m | |
| 364d | mm/m | |
| HUOM! | | Ihan ok massa! |

Taulukon tuloksista selviää, että vesitiiveys vaatimukseen päästään (SFS standardi <100 mm) ja kutistuma on karkeasti puolet normaalista. Sillan betonipäällyste kuuluu

rasitusluokkaan XC2, XD1, XF2 eli rakenneosaan kohdistuvat rasitukset ovat karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio, kloridit muusta kuin merivedestä sekä jäätymsulatus rasitus. Vähimmäisvaatimuksena lujuusluokka C30/37 ja P-lukuvaatimus P30. P-lukuvaatimuksen vuoksi on tutkittava myös ennakkokokeita sekä suhteutustietoja huokoistettuun ja notkistettuun betonimassaan.

Laadunvarmistustoimenpiteitä ovat myös korjaustyön aikaiset kelpoisuuskokeet laaditaan siltakohtaisesti. Lisäksi on huomioitava InfraRYL:n ja SILKO-ohjeiden yleiset laatuvaatimukset rakenteen kelpoisuuden osoittamiseksi.

| Vedeneristyspäällyste | | | |
|--|---|----------------------------------|-------|
| Päällysteen tasaisuus 3 m oikolaudalla | Koko kansi kauttaaltaan | 7 mm / 3 m | |
| Päällysteen tartuntavetolujuus kansilaattaan. | 4 kpl | Vetolujuus > 1,5 Mpa | 4 kpl |
| Betonin puristuslujuuskoe | 6 koekappaletta, joista vähintään 3 tehty valupaikalla. | InfraRYL 42020.1.1.5 mukaisesti. | 6 kpl |
| Betonin vesitiiveys SFS-EN 12390-8 mukaisesti | 2 koekappaletta | Veden tunkeutuma < 6 mm | 1 kpl |
| Rengaskoe (O-rengas) SFS-EN 12617-4 mukaisesti | 2 koekappaletta | 0 halkeamaa | 2 kpl |

Kuva 34. Vesterängin risteys sillalta vaadittavat kelpoisuuskokeet vedeneristyspäällysteelle [13].

Betonimassasta otettiin työmaalla ilmamäärämittaukset sekä tehtiin olosuhdekappalet, jotka testattiin neljän viikon ikäisinä työmaalla. Betonointi aloitettiin, kun ilmamäärät betonissa olivat sallitun rajoissa.

P-luku menettelyssä ilmamäärämittaus on osa kokonaisuutta, johon vaikuttaa myös betonin vesi-sementtisuhde, suhteutustiedot ja sideaineet. Laskentakaavan kautta saadaan tulos, vaatimus P-30 tarkoittaa laskenta tuloksen vähimmäisarvoa 30. Eli todellisuudessa laskettu tulos voi olla korkeampi ja usein onkin, esim. 45. Kun ennakkoon tiedetään muut tekijät, saadaan raja-arvot betonin ilmamäärille esimerkiksi 4%-6%. Eli ilmamäärämittaustuloksen on osuttava tuohon haarukkaan. Mitä pienemmästä reakoosta olevasta P-luku betonista on kyse, sitä pienempi haarukka ilmamäärille on. [14].

Taulukko 2. Kelpoisuuskokeiden tulokset Vesterängin risteyssillan olosuhdekappaleista. [25,26.]

| Näyte | Rakenneosa | Materiaali | Näyte (ikä 31vrk) | Tulos | ilma (%) |
|-------|------------------|---------------------|----------------------|---------|----------|
| 1 | Betoni päällyste | C30/37 #8mm P-30 | Puristuslujuus | 63,3MPa | 5,5 |
| 2 | Betoni päällyste | C30/37 #8mm P-30 | Puristuslujuus | 62,4MPa | 5,5 |
| 3 | Betoni päällyste | C30/37 #8mm P-30 | Puristuslujuus | 60,9MPa | 5,4 |
| 4 | Betoni päällyste | C30/37 #8mm P-30 | Puristuslujuus | 60,6MPa | 5,4 |
| 5 | Betoni päällyste | C30/37 #8mm P-30 | Puristuslujuus | 59,4MPa | 5,7 |
| 6 | Betoni päällyste | C30/37 #8mm P-30 | Puristuslujuus | 59,8MPa | 5,7 |
| 1 | Betoni päällyste | C30/37 #8mm P-30 | Vesitiiveys | 25mm | 5,7 |
| 2 | Betoni päällyste | C30/37 #8mm P-30 | Vesitiiveys | 8mm | 5,4 |
| 3 | Betoni päällyste | C30/37 #8mm P-30 | Vesitiiveys | 15mm | 5,5 |

6 Vertailu pintarakenneratkaisujen kesken

Vertailuun on otettu kolme pintarakenneratkaisua: vesitiivistetty betonipäällyste, kak-sinkertainen kermieristys sekä mastiksieristys. Näitä eri ratkaisuja verrataan toisiinsa aikataulu- ja kustannusnäkökulmasta. Vertailun kohde on Vesterängin risteyssilta, johon pintarakenteet uusittiin vesitiivistetyllä betonipäällysteenä. Vertailu mielessä kohde on ihanteellinen, koska sillan kansineliöt ovat kohtuulliset, joten virhemarginaali jää teoreettisen laskennan osalta pieneksi.

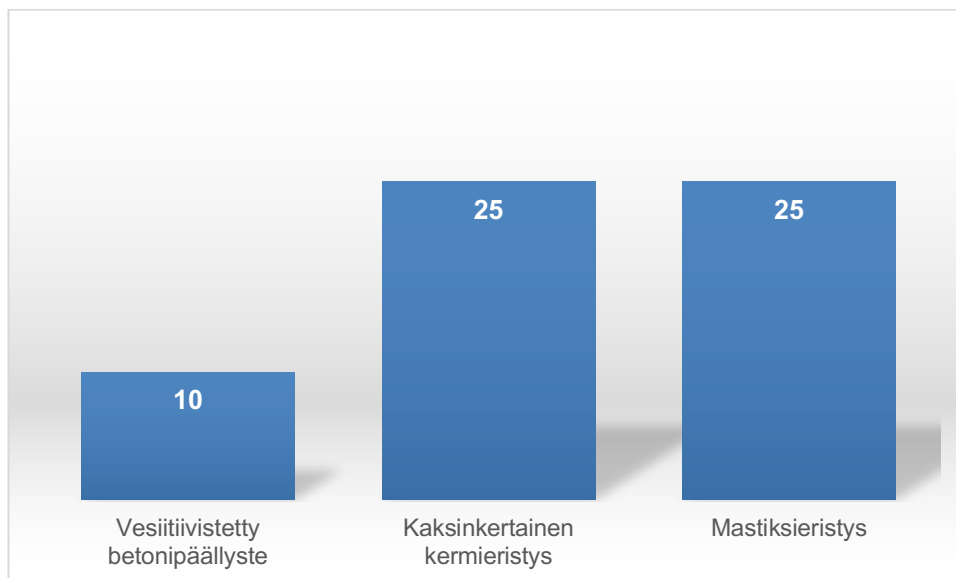
Kustannus- ja aikataulutiedot ovat Destia sillankorjausryhmän laskemia ja nämä tiedot ovat piilotettu muilta lukijoilta. Lisäksi on huomioitava, että laskentaan otettiin mukaan vain pintarakenteiden rakentaminen eli jo purelta alustalta. Purkuvaihetta ei laskettu, koska purkutapa on kaikissa sama. Tämä täytyy huomioida, kun tarkastelee vertailun tuloksia. Purkuvaihe lisäisi kaikkiin ratkaisuihin saman verran kokonaispäiviä ja kustannuksia. Lisäksi lähtötilanteeksi kermi- ja mastiksieristykselle valittiin kannen muotoiluvalu. Sillan kansia voidaan kunnostaa ilman muotoiluvaluakin, jos kannen pintabetoni on hyvässä kunnossa ja kaadot toimivat. Vuosina 2018-2019 Destian siltaryhmä korjasi UUD2 projektissa seitsemän siltaa, joista neljään tehtiin muotoiluvalu ja yhteen vesitiiv-

vistetty betonipäälyste. Eli kahdelle sillalle seitsemästä ei muotoiluvalua tehty. Tästä voi päätellä, että hyvin usein muotoiluvalu kansille tehdään.

6.1 Aikataulujen vertailu

Aikatauluvertailussa käytettiin Destian aikataulutietoja, joista laadittiin aikataulut kermi- ja mastiksieristykselle Vesterängin risteyssillalle. Vesitiivistetyn betonipäälysteen osalta käytettiin todellisia aikataulutietoja. Pintarakenteiden purkua ei huomioitu vertailussa.

Taulukko 3. Pintarakenteiden uusimiseen kuluva aika Vesterängin risteyssillalle (vrk). [27.]



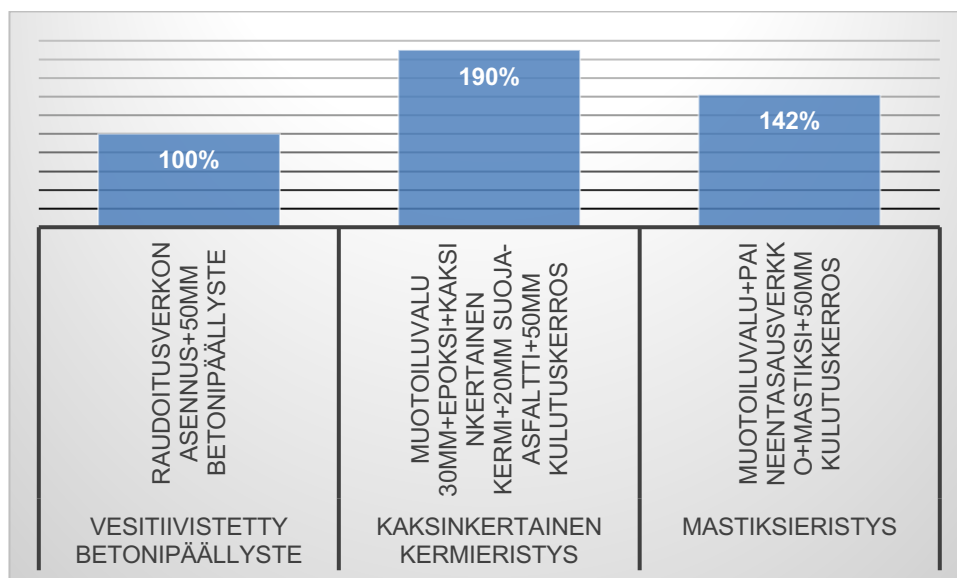
Pintarakenteiden uusiminen vesitiivistetyllä betonipäälysteenä on aikatauluvertailun pohjalta nopein tapa kunnostaa sillan betonikansi kuin kahdella muulla tavalla. Erot selittyvät muotoiluvalun kuivumisajoilla ja nekin vaihtelevat olosuhteista riippuen. Tarkkaa ennustetta 30mm paksuiselle muotoilun kuivumiselle ei pystytä laskemaan, vaikka betonimassana käytetään nopeasti kuivuvaa NP-betonia, joka täyttää rakenteen P-luku- ja lujuusvaatimukset. Ihanteellisissa olosuhteissa kansi kuivuu viikossa pinnoitettavaan kuntoon. Aikatauluvertailuun on valittu optimistinen keskiarvo toteutuneista keskikesän kuivumisajoista. Vesitiiviin betonipäälysteen osalta betonin kuivumista pinnoituskuuntoon ei tarvitse odottaa, siltatöistä aiheutuvat häiriöt liikenteelle pienenevät merkittävästi.

6.2 Kustannusten vertailu

Kustannusvertailussa käytettiin Destian siltaryhmän laskennasta saatuja tietoja neliö/kuutio hinnoista vuoden 2018 hintatasolla. Vertailukohteen eli Vesterängin risteys sillan kansineliöitä on 265m² ilman erityispiirteitä, joten virhemarginaali teoreettisen laskennan osalta tuloksissa on pieni.

Kustannuksissa on otettu huomioon vain uuden pintarakenteen rakentamisen kustannukset. Purkuvaihe on kustannuksiltaan sama kaikille ratkaisuille. Mastiksieristysten osalta paineentasausta reikien teko on laskennasta jätetty huomioimatta. Lähtökohtaisesti mastiksieristys uusitaan mastiksieristykseenä, jossa paineentasausta reitit ovat jo ennestään rakenteessa.

Taulukko 4. Kustannuserot eri pintarakenneratkaisujen välillä (%). [28.]



Tulosten perusteella vesitiivistetyn betonipäällysteen rakentaminen kannen pintarakenneeksi on verrokiryhmän edullisin ratkaisu. Mastiksieristys on kustannuksiltaan 42% kalliimpi. Ero kalleimpaan ratkaisuun selittyy epoksiivistyksen ja suoja-asfaltti työvaiheiden poisjäämisellä. Suomessa yleisin pintarakenneratkaisu, joka sopii kaikkiin sillan kansiin, kaksinkertainen kermieristys on kustannuksiltaan kallein. Erot tasoittuvat, kun otetaan huomioon kermieristysten 40 vuoden ja mastiksieristysten 30 vuoden käyttöikä. Vesitiivistetyn päällysteen osalta käyttöikä on ilman lisätutkimusta vaikea arvioida. Lähtökohtaisesti kymmeniä vuosia ehkä jopa yli 100 vuotta. Vesitiivistetyn betonipäällysteen täytyy kulua mekaanisesta rasituksen johdosta pois, jotta vesitiiveys mene-

tetään. Täytyy muistaa, että vähäliikenteisillä silloilla nastarenkaiden aiheuttama päällysteen kuluminen on hidasta.

7 Yhteenveto

Sillan pintarakenteiden uusiminen vesitiiviinä betonipäällysteenä on ajallisesti nopein ja toteutus kustannuksiltaan edullisin ratkaisu. Maailmalla on tuhansissa kohteissa käytetty Xypex Admix -sarjan betoniin sekoitettavia lisäaineita ja viime vuosikymmenen aikana sen käyttö on myös Suomessa lisääntynyt. Aineen ylivertaisuudesta huolimatta itse kannen betonipäällysteen työstäminen vaatii tarkkuuta ja suunnitelmallisuutta. Päällysteenä betoni ei anna anteeksi painanteita ja epätasaisuuksia samalla tavalla kuin asfalttipäällyste. Vesi imeytyy asfaltin huokosista. Työvirheet ovat suurin riski onnistuneelle työlle, koska massa levitetään ja tiivistetään käsin ihmisen toimesta ja mahdollisuus onnistua riippuu ammattitaidosta. On myös olosuhderiskejä, joihin on syytä varautua. Sateella ei betonointia ei voi suorittaa, heikko sade levitysvaiheessa ei vielä betonointia pilaa, mutta hiertovaiheessa kaikki ylimääräinen vesi on betonipinnalle myrkyä.



Kuva 35. Vesterängin risteyssillan uusi betonipäällyste ensimmäisen sateen jälkeen. [22].

Vesterängin risteyssillan betonityö ei täysin onnistunut, betonin tasoituksen ja hierron jäljiltä on reunoihin jäänyt vettä kerääviä painanteita (kuva 35). Lätäköitä on sillan puolestavalista sillan pätyyn saakka. Vastaavanlaisia ongelmia on ollut korjaustyön tilaajaedustajan mukaan muissakin kokeilukohteissa. Korjaustöihin ryhdyttiin kesäkuussa

noin kuukausi betonipäällysten teosta. Painanteet korjattiin paikkauksin ja hionnin. Kuva otettu syyskuussa 2019 sateen jälkeen (kuva 36).



Kuva 36. Vesterängin risteyssillan korjattu betonipäällyste.

Ongelmat lienevät pienistä asioista kiinni. Betonin levitystapaan on kiinnitettävä huomiota, hyviä tuloksia on saatu, kun levitys työn apuna on käytetty ohjuriputkia. Putket asennetaan ennen betonointia oikeaan korkoon vaaitsemalla. Betonin levitys vaiheessa linjaria tai tärypalkkia vedetään putkia pitkin niin, että betonimassa jää putkien yläpinnan tasolle, putket poistetaan työn etenemisen mukaan. Toinen keino hyvien tulosten aikaansaamiseksi on koneiden käyttö. Suomessa ja maailmalla on käytössä koneita betonipinnan oikaisuun ja tiivistykseen (kuva 37). Betonielementtien tuotanto on jo pitkälle koneistettu vuosikymmeniä sitten, koneiden tuomista työmaalle edelleen viroksutaan.



Kuva 37. Japanissa kehitetty laserohjattu oikaisukone [22, sivu 411].

Sillan vesitiivistetyn betonipäällysteen pitkäinen seuranta jää tässä työssä tekemättä, se olisi varmasti tutkimusaihe, josta riittää raportoitavaa. Toistaiseksi ongelmat ovat liittyneet työvirheisiin, laatukokeiden tulokset materiaalista ovat lupaavia ja enteilevät pitkää käyttöikää rakennosalle.

Lähteet

- 1 Destia oy verkkosivut, <https://www.destia.fi/yritys.html>, luettu 1.3.2019
- 2 Liikenneviraston sillat 1/2018, Liikennevirasto.
- 3 Sillan korjaustyön työselitys ja detaljipiirustukset, Heikki Väisänen Siltaexpert Oy 31.5.2013
- 4 Liikenneviraston ohjeita 25/2017, täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun, Liikennevirasto.
- 5 Siltojen korjausohjeet, SILKO 2.812 vedeneristyksen uusiminen mastiksieristyksenä, insinööritoimisto Jorma Huura Oy, Edita Prima Oy Helsinki 2009.
- 6 Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset, kannen pintarakenteet – SYL6, Tiehallinto, Edita Prima Oy 2005
- 7 Siltojen korjausohjeet, SILKO 2.240 vedeneristyksen alustan kunnostaminen 10/07, Tiehallinto.
- 8 Siltojen korjausohjeet, SILKO 2.811 vedeneristyksen uusiminen kermieristyksenä 3/2018, Liikennevirasto.
- 9 Siltojen korjausohjeet, SILKO 1.801 vedeneristykset, Liikennevirasto.
- 10 Sto sillat – epoksitiivistys, Sto Finexter Oy 21.10.2010
- 11 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset osa 3, Rakennustieto Oy 2006.
- 12 Yhteenveto xypex vertailu, Rudus Oy 8.5.2018
- 13 Kelpoisuuskokeiden taulukko, Heikki Väisänen SiltaExpert Oy 31.5.2013
- 14 NP-betoni käyttöohje, <https://www.rudus.fi/ohjeet/betonin-ohjeet/np-lattiabetoni-kayttoohje>, luettu 2.9.2019
- 15 Siltabetonien P-lukumenettely, Tiehallinto 2005
- 16 betoniyhdistyksen verkkosivut, http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkr-2019/luento2.kolio_betonirakenteiden_kosteus_2019-03-19.pdf, luettu 5.9.2019

- 17 Xypex Suomenkieliset verkkosivut, <https://www.xypex.com/finland/products>, luettu 5.9.2019
- 18 Betoninormit, Suomen betoniyhdistys 2004
- 19 Xypex englanninkieliset verkkosivut, https://www.xypex.com/docs/default-source/default-document-library/english/no-equal-brochure.pdf?sfvrsn=87d90169_4 , luettu 5.9.2019
- 20 Xypex englanninkieliset verkkosivut, <https://www.xypex.com/projects/bridges/project-examples>, luettu 5.9.2019
- 21 Xypex englanninkieliset verkkosivut, <http://xypex.com/docs/default-source/articles/2014-08-cpi.pdf?Status=Temp&sfvrsn=4>, luettu 5.9.2019
- 22 Kuva, Timo Turunen, Siltainsinöörit TH Oy
- 23 Betonitekniikan oppikirja by 201, Suomen betoniyhdistys 1999.
- 24 Tekniikan talous verkkosivut, <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/betonitiet-jaiivat-suomessa-kokeiluksi/5b39f898-7b10-32d5-aa0f-c0f5cc0da3d9>, luettu 28.9.2019
- 25 Paineellisen veden tunkeuma, eurofins expert services Oy, 12.7.2019.
- 26 Puristuslujuus, Labroc Oy, 24.6.2019.
- 27 Aikataulut, Toni Liljeroos, Destia Oy
- 28 Kustannuslaskenta, Toni Liljeroos, Destia Oy

Laadunvarmistusmittaukset

| eurofins Expert Services | | TESTAUSSELOSTE NRO B-338-19 | | 1(1) | | | |
|---|---|-----------------------------|----------|------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Tilaaaja | Labroc Oy Teknologiantie 11 90590 OULU | | | | | | |
| Tilaus | Kimmo Peura 6.6.2019 | | | | | | |
| Yhteyshenkilö | Eurofins Expert Services Oy Vastaava testaaja Jarl Lindholm PL 47 02151 ESPOO Puh. 040 731 9558 | | | | | | |
| Tehtävä | SFS-EN 12390-8. Betoni. Paineellisen veden tunkeuma | | | | | | |
| Näytteet | Betonikoeappaleet, lieriö 150x300 mm, 3 kpl | | | | | | |
| Näytteenottoaika | | | | | | | |
| Valmisbetonitehdas | | | | | | | |
| Lisätietoja | Näytteitä ei ole säilytetty vedessä ennen testausta | | | | | | |
| TILAAJAN ILMOITTAMAT TIEDOT | | | | TULOKSET | | | |
| Tunnus | Valmistus-päivä | Lujuus-luokka | Ikkä vrk | Veden tunkema mm | Tiheys kg/m ³ | Vedenpaineen vaikutussuunta | Testauksen aloituspäivä |
| Vesitiiveys 1 | 24.5.2019 | C30/37 | 31 | 25 | 2220 | 3) | 24.6.2019 |
| Vesitiiveys 2 | 24.5.2019 | C30/37 | 31 | 8 | 2240 | 3) | 24.6.2019 |
| Vesitiiveys 3 | 24.5.2019 | C30/37 | 31 | 15 | 2200 | 3) | 24.6.2019 |
| <small>Tiheyden määrittäminen: toimitustilassa / mitatut mitat. Vedenpaineen vaikutussuunta: 1) valussuunta, 2) 90° valussuuntaan, 3) 180° valussuuntaan, 4) ei tiedossa.</small> | | | | | | | |
| Espoo | | 12.7.2019 | | | | | |

Kuva 38. Vesitiiveyskoetulokset



94151/PUR Lieriö

24.6.2019
1/1



| PURISTUSLUJUUS | | | | | | |
|---|---|----------------|--------------------------------|------------|----------------|-----------|
| Tilaaaja: | Destia Oy | | | | | |
| Kohde: | Vesterängin risteysilta | Tilauspäivä: | 3.6.2019 | | | |
| Projektinnumero: | UUD2 2018-2019 | Toimituspäivä: | 3.6.2019 | | | |
| Näytteiden muoto ja mitat: | Lieriö 300 x 150 mm | Valu pvm: | 15.4.19,24.5.19 | | | |
| | | Testaus pvm: | 5.6.19,24.6.19 | | | |
| Menetelmät: | | | | | | |
| <p>Puristuslujuuskoe on akkreditoitu menetelmä ja se suoritettiin tilaajan toimittamista näytteistä laboratorioissa standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti. Koekappaleiden puristuspinna on tasoitettu tarvittaessa hiomalla siten, että piteuden ja halkaisijan suhde on 1,0 tai 2,0. Kokeessa käytetty puristustestauskone on Controls Automax 55-C46D02. Puristuslujuuskokeen mittauserävarmuus on $\pm 2,1$ %. Laitteisto on kalibroitu 09/2018 (Espoo) ja 10/2018 (Oulu). Tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Labroc Oy vastaa toimeksiannoista KSE 2013 mukaisesti.</p> | | | | | | |
| TULOKSET: | | | | | | |
| Näyte | Materiaali / tila tai rakennusosa | Ikä [vrk] | Tiheys 2) [kg/m ³] | Voima [kN] | Tulos 1) [MPa] | Poikkeama |
| 1 | Pilari 3-1, Pilari/ C37/45 | 51 | 2210 | 817,7 | 56,5 | - |
| 2 | Pilari 3-2, Pilari/ C37/45 | 51 | 2210 | 827,0 | 57,1 | - |
| 3 | Päällyste 1, Sillan betonipäällyste/ C30/37 | 31 | 2240 | 921,7 | 63,3 | - |
| 4 | Päällyste 2, Sillan betonipäällyste/ C30/37 | 31 | 2240 | 909,9 | 62,4 | - |
| 5 | Päällyste 3, Sillan betonipäällyste/ C30/37 | 31 | 2230 | 888,2 | 60,9 | - |
| 6 | Päällyste 4, Sillan betonipäällyste/ C30/37 | 31 | 2230 | 887,2 | 60,6 | - |
| 7 | Päällyste 5, Sillan betonipäällyste/ C30/37 | 31 | 2220 | 870,0 | 59,4 | - |
| 8 | Päällyste 6, Sillan betonipäällyste/ C30/37 | 31 | 2220 | 874,9 | 59,8 | - |

1) Lujuudet on ilmoitettu 150 mm kuution lujuuksina BY65 kohdan 5.2.2.1 mukaisesti.
2) Tiheys on määritetty veden kyllästämästä koekappaleesta käyttäen mitattuja mittoja.

Kuva 39. Päällysten puristuslujuudet näytteet 3-8.