

TERÄSBETONISTEN SILTAKANSIEN KOSTEUDENHALLINTA JA KUIVATUS

Kuivatusratkaisuiden tehokkuus ja kustannukset

Pasi Oikarinen

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Pasi Oikarinen	Vuosi	2018
Ohjaaja	Ari Romakkaniemi		
Toimeksiantaja	Destia Oy, Jaakko Vanha-Kuitti		
Työn nimi	Teräsbetonisten siltakansien kosteudenhallinta ja kuivatus, Kuivatusratkaisuiden tehokkuus ja kustannukset		
Sivu- ja liitesivumäärä	41 + 1		

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin sillanrakentamisessa ja korjaamisessa käytettävien menetelmien tehokkuutta, kustannuksia ja menetelmien soveltuvuutta vallitseviin olosuhteisiin. Tavoitteena oli luoda hyvä kokonaiskuva kosteudenhallinnasta siltakohteissa ja löytää parhaimmat menetelmät vallitseviin olosuhteisiin. Työn yhtenä tavoitteena oli löytää uusia menetelmiä siltojen kansirakenteen kuivatukseen eristämiskuntoiseksi.

Tavoitteiden saavuttamiseksi analysoitiin työmaapäiväkirjojen sisältämiä tietoja olosuhteista ja kuivatuksen kestoista, sekä kerättiin Destia Oy:n sisältä tietoa kokemuksista ja kustannuksista haastatteleamalla yrityksen työnjohtajia ja muita asiantuntijoita. Näiden tietojen pohjalta suoritettiin tehokkuus- ja kustannusvertailu, jonka pohjalta eri ratkaisuiden toimivuutta voidaan tarkastella.

Työn tuloksia voidaan hyödyntää lämmitys- ja kuivatusratkaisuiden valinnassa siltakohteissa. Tulosten pohjalta voidaan valita parhaiten sopiva menetelmä kuhunkin tilanteeseen ja olosuhteisiin. Tätä kautta työmaiden läpivientiaikaan voidaan saada säästöjä, jonka myötä saadaan myös kustannussäästöjä. Työmaapäiväkirjojen ja haastatteluiden analysoinnin perusteella selvisi, että siltarakenteiden kuivattaminen ja kosteudenhallinta on kokonaisvaltainen prosessi, eikä absoluuttista vastausta parhaimman menetelmän valintaan voida antaa. Kuivatuksen onnistuminen on monen tekijän summa.

Avainsanat sillat, siltojen rakentaminen, siltojen eristystyöt, kustannukset, tehokkuus.

Lapland University of Applied Sciences
Technology, Communication and Transport
Degree Programme in Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Pasi Oikarinen	Year	2018
Supervisor	Ari Romakkaniemi		
Commissioned by	Destia Oy Jaakko Vanha-Kuitti		
Subject of thesis	Moisture Management and Drying of Reinforced Concrete Bridge Decks – Efficiency and Costs of the Drying Solutions		
Number of pages	41 + 1		

This thesis studied the efficiency, cost and suitability of the methods used in bridge construction and repair in the prevailing conditions. The goal was to create an overview of moisture management at the bridge construction sites and try to find the best methods for each condition. One of the aims of the thesis was to find new methods for heating the bridges and to dry the fresh concrete in isolation.

To achieve the goals information about the conditions and the duration of the drying included in the site diaries was analysed. In addition, information about the experiences and the costs was collected by conducting interviews in Destia Oy. Based on this information the efficiency and the costs were compared and the different solutions were considered.

The results can be utilized in the selection of heating and drying solutions at the bridge construction sites. Based on the results, the most appropriate method for each situation and all conditions can be selected. Thus, the duration of the construction work can be shortened, which also results in cost savings.

Key words bridges, bridge building, bridge waterproofing, costs, efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SILLAN VESIERISTYS.....	7
2.1	Eristettävän alustan vaatimukset	7
2.2	Eristysolosuhteet.....	8
3	SÄÄSUOJAT	9
3.1	Johdanto	9
3.2	Toiminnalliset vaatimukset.....	10
3.3	Sääsuojan suunnittelun vaatimukset.....	11
4	UUDET SILTAKOhteET.....	13
4.1	Kosteudenhallinta	13
4.2	Betonilaadun vaikutus.....	13
4.3	Lisäaineet	16
4.4	Betonipinnan puhdistus.....	16
4.5	Kuivatus- ja lämmitysratkaisut.....	18
4.5.1	Polttoöljypuhaltimet	18
4.5.2	Lämpökontti.....	19
4.5.3	Polttoöljylämpövaunu	20
4.6	Kaasukäyttöiset lämmittimet	23
4.7	Kuivatuksen tehostaminen.....	24
5	KOSTEUDENHALLINTA SILLANKORJAUKSESSA	25
5.1	Vanhan rakenteen kosteus	25
5.2	Betonipinnan puhdistus.....	25
5.3	Kuori- ja muotoiluvalu	26
5.4	Nopeasti pinnoitettava betoni.....	26
5.5	Kuivatus- ja lämmitysratkaisut.....	26
5.6	Kuivatuksen tehostaminen korjauskohteessa	27
6	LÄMMITYKSEN JA KUIVATUKSEN TEHOSTAMINEN	28
6.1	Tehostuskeinot.....	28
6.2	Matala sisäteltha.....	28
6.3	Infrapunasäteilylämmittimet	30

6.4	Reaaliaikainen olosuhdeseuranta.....	32
7	LÄMMITYS- JA KUIVATUSRATKAISUIDEN VERTAILU	34
7.1	Vertailukohde.....	34
7.2	Vertailuhinnat.....	34
7.3	Kuivatustehokkuus (vertailuluku)	34
8	OLOSUHTEIDEN VAIKUTUS.....	36
8.1	Sääolosuhteiden vaikutus.....	36
8.2	Sääsuojan sisäiset olosuhteet.....	36
9	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	38
	LÄHTEET.....	40
	LIITELUETTELO.....	42

1 JOHDANTO

Teräsbetonisten siltakansien kosteudenhallinta ja onnistunut rakenteen kuivatus on yksi tärkeimmistä kokonaisuuksista, jotka vaikuttavat lopullisen rakenteen laatuun, toimivuuteen ja kestävyYTEEN. Vesieristeiden asentamiseksi betonialustan absoluuttinen kosteus tulee olla alle 5-painoprosenttia epoksointia ja kermieristystä varten ja alle 6-painoprosenttia mastiksieristystä varten.

Nykyään sillanrakennuksessa käytetään pääsääntöisesti sääsuojaa, jotta voidaan helpommin saavuttaa oikeat olosuhteet vesieristämistä varten. Sääsuojan kustannukset, kuivatus- ja lämmitysjärjestelmät sekä aikataulujen venymiset muodostavat merkittävän kustannuserän siltahankkeissa. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kartoittaa käytössä olevien kuivatusratkaisujen toimivuutta ja kustannustehokkuutta sekä pyrkiä löytämään eri olosuhteisiin parhaiten sopivat ratkaisut.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Destia Oy, joka on yksi merkittävimmistä infrarakentamisen yrityksistä Suomessa. Tämän työn tarkoituksena on kerätä tietoa yrityksen sisältä ja jakaa sitä kootusti eteenpäin. Tarkoituksena on minimoida siltahankkeiden kustannuksia sekä aikataulullisia riskejä. Työn yhtenä tavoitteena on löytää uusia ja tehokkaampia kuivatusmenetelmiä siltatöiden nopeuttamiseksi.

2 SILLAN VESIERISTYS

2.1 Eristettävän alustan vaatimukset

Siltojen tiivistys- ja eristystyöt tulee tehdä sääsuojan sisällä. Sääsuojan tulee olla päädyistään tuuletettava ja tarvittaessa lämmitettävissä oleva tiivis rakenne. Sääsuojan tulee ulottua koko eristettävälle alueelle ja reunapalkin pystypinnalla vähintään reunapalkin puoleen väliin. Sääsuojan tulee estää myös kondenssiveden tippuminen eristettävälle alueelle. Sääsuojan tulee kestää kaikki siihen kohdistuvat rasitukset, kuten tuuli- ja lumikuormat. Sääsuojan tulee ulottua sillan päätyjen yli lukuun ottamatta yli 40 metriä pitkät sillat, joissa voidaan käyttää tarvittaessa siirrettävää sääsuojaa. (InfraRYL 2017; Liikennevirasto 2011, 16.)

Sillan vesieristettävälle betonipinnalle on asetettu useita laatuvaatimuksia. Laatuvaatimusten tarkoituksena on varmistaa vesieristeen kunnollinen tartunta kansirakenteeseen, riittävä kestävyys olosuhteidenmuutoksia vastaan, riittävä tiiveys ja rakenteen kestävyys liikenteen aiheuttamia rasituksia kohtaan. Tässä työssä paneudutaan tutkimaan vain kosteusvaatimuksia ja vaatimusten täyttymiseksi tarvittavia toimenpiteitä, eikä huomioida muita betonipinnalle asetettuja vaatimuksia.

Eristettävälle betonipinnalle on asetettu suurin sallittu kosteus, joka vaihtelee käytettävän eristysmateriaalin mukaan. Vaatimukset eri eristeille on esitetty myöhemmin taulukossa 1. Eristettävän pinnan kosteusmittaus tulee suorittaa absoluuttisena kosteudenmittauksena, joka suoritetaan ottamalla koepalat eristettävältä alueelta. Koekappaleet otetaan vähintään 30mm syvyisinä kuivaporaus- tai piikkausnäytteinä. Näytteet numeroidaan ja punnitaan tarkkuusvaa'alla, jonka jälkeen näytteet kuivataan vakiopainoon 105°C lämmössä. Kuivatetut näytteet punnitaan uudelleen ja tulosten perusteella lasketaan näytteiden absoluuttiset kosteuspitoisuudet. (InfraRYL 2017; VTT 2009, 17.)

Taulukko 1. Vesieristettävän alustan kosteuspitoisuus (InfraRYL 2017 Taulukko 42310:T1)

Materiaali	Eristysalustan suurin sallittu kosteus Absoluuttinen kosteus m-% (VTT-2650-17) Absoluuttinen kosteus (VTT-2650) m-%
Kauttaaltaan kiinnitetty kermi, nestemäisenä levitettävä eristys tai epoksitiivistys	5,0
Paineentasauskermi tai kumibitumimastiksi	6,0

2.2 Eristysolosuhteet

Sillan verieristämiseksi on asetettu myös olosuhdevaatimuksia. Vaatimukset koskevat eristettävän pinnan lämpötilaa, ilman lämpötilaa, ilman kastepistelämpötilaa ja ilmansuhteellistakosteutta. Olosuhdevaatimukset koskevat sääsuojan sisällä vallitsevia olosuhteita, eivät ulkoilman olosuhteita (Liikennevirasto 2017, 14.) (Poikkeustapauksissa on eristystöitä tehty siltakohteissa myös ilman sääsuojaa ja silloin olosuhdevaatimukset koskevat tietysti ulkoilmaa).

Siltojen betonikansien tiivistämisen ja vesieristämisen olosuhdevaatimusten mukaan, ”Tiivistettävän ja eristettävän pinnan lämpötilan tulee olla vähintään 3 °C korkeampi kuin ilman kastepistelämpötila. Ilman suhteellinen kosteus saa olla enintään 85 % tiivistys- ja eristystyön aikana. Alhaisin tiivistystyön aikainen alustan pintalämpötila on epoksin levityksen ja kovettumisen aikana vähintään +10 °C. Kermi- ja nestemäisenä levitettävän eristyksen levityksen aikana pintalämpötilan tulee olla aina vähintään +5 °C, elleivät tuotekohtaiset vaatimukset edellytä korkeampia lämpötiloja. Mastiksieristyksen levityksen aikana lämpötilan on oltava vähintään +2 °C”. (InfraRYL 2017.)

3 SÄÄSUOJAT

3.1 Johdanto

Kuten jo edellä todettiin, siltojen tiivistys- ja eristystöissä on käytettävä aina sääsuojaa. Poikkeuksena voi olla pienet korjauskohteet, mutta asiasta on aina sovittava tilaajan kanssa etukäteen. Liikennevirasto on asettanut siltatöissä käytettäville sääsuojille laatuvaatimuksia, joita tulee noudattaa sääsuojaa suunniteltaessa ja tehtäessä. Sääsuoja voi olla valmiista osista rakennettu kevytrakenteinen sääsuoja (Kuvio 1) tai sen voi rakentaa paikalla myös kappaletavarasta (Kuvio 2). Paikallarakennettavaan sääsuojaan tulee olla suunnittelijan piirtämä suunnitelmakuva, josta käy ilmi rakenteen mitoitus. Sääsuojan suunnitelma tulee hyväksyttävä tilaajan edustajalla. (Liikennevirasto 2014, 3.)



Kuvio 1. Alumiinirunkoinen sääsuoja (Liikennevirasto 2014, 1)



Kuvio 2. Paikallarakennettu puurunkoinen sääsuoja

3.2 Toiminnalliset vaatimukset

Sääsuojan tarkoitus on suojata sillan pintarakenteita sään vaikutuksilta, kuten auringon paiste, vesisade, lumisade ja niin edelleen. Sääsuojan tulee olla riittävän suuri suojaamaan koko sillan kansirakenne tai vähintään kerrallaan eristettävä alue. Sääsuojan tulee olla riittävän tiivis ja suojattu kondenssiveden tippumiselta kansirakenteelle (Liikennevirasto 2014, 6.)

Sääsuojan sisälle tehdään yleensä työvaiheita, joissa käytetään kemikaaleja, joten sääsuojan tulee olla tuuletettavissa. Kesällä auringon lämmittävä vaikutus voi olla niin suuri, että tuuletusta tarvitaan myös sopivien työskentelyolosuhteiden saavuttamiseksi. Sääsuojan sisällä tehdään myös usein tulitöitä ja siksi sääsuojan rakenteet tulee suojata hyvin, ettei työstä aiheudu palovaaraa (Liikennevirasto 2014, 6.)

InfraRYL 42310.0 kohdan mukaan sääsuojan toiminnalliset vaatimukset ovat ”.9 Sääsuoja mitoitetaan, pystytetään ja kiinnitetään siten, että se kestää siirtymättä

siltapaikalla vallitsevat olosuhteet kuten tuulen, sateen, lumen ja liikenteen aiheuttaman kuormitukset..

.10 Sääsuoja on vesitiivis kaikissa sääolosuhteissa koko alueellaan ja ulottuu reunapalkin ulkopuolella vähintään reunapalkin pystypinnan puoliväliin asti. Sääsuojan sisäpuolisen esteettömän korkeuden tulee olla vähintään 2,5 m kannesta mitattuna. Sääsuoja ulottuu sillan päästä päähän, kun sillan kokonaispituus on enintään 40 m. Sitä pitemmillä silloilla voidaan käyttää joko siirrettävää sääsuojaa tai sillan päästä päähän ulottuvaa sääsuojaa.

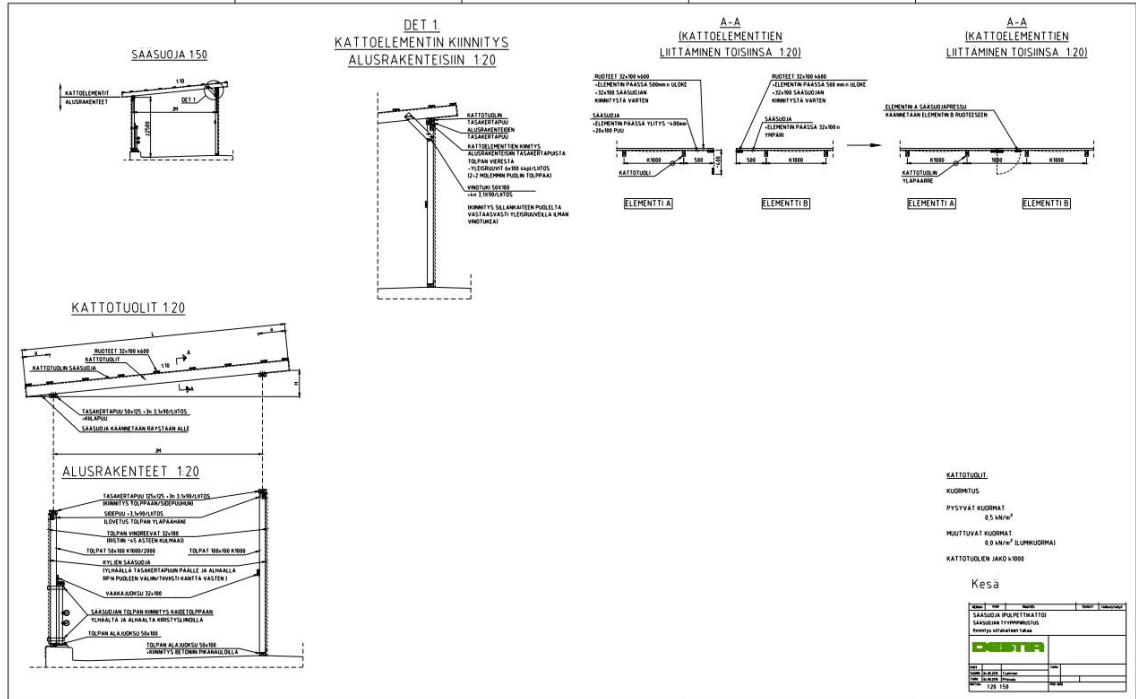
.11 Sääsuojan on oltava päistä tuuletettavissa ja tarvittaessa lämmitettävissä. Kondenssiveden valuminen kannelle estetään esimerkiksi varustamalla sääsuoja sisäkatolla. Huleveden kulkeutuminen sääsuojan sisälle on estettävä.

.12 Pölyn kulkeutuminen sääsuojan sisälle on estettävä. Eristettävän sillan ja sääsuojan lähistöllä vältetään pölyämistä aiheuttavien töiden tekemistä”. (Infra-RYL 2017.)

3.3 Sääsuojan suunnittelun vaatimukset

Sääsuojat luetaan osaksi teline- ja tukirakenteita. Sen rakentamiseksi tulee olla riittävän tarkat suunnitelmat tai vastaavat dokumentit, joilla voidaan todentaa rakenteen sopivuus käyttötarkoitukseen ja riittävä kestävyys vaikuttavia kuormia kohtaan. Jos käytetään omavalmisteista sääsuojaa, tulee rakenteesta olla suunnittelijan piirtämät suunnitelmakuvat, joista käy ilmi rakenteen mitoitus ja rakenteeseen vaikuttavat kuormat. (Liikennevirasto 2014, 7–9.)

Kuviossa 3 on esitetty esimerkkisuunnitelma sääsuojan suunnitelmakuvasta. Suunnitelmakuvasta on poistettu rakenteiden mitoitus tiedot, koska ne ovat Destia Oy:n omaisuutta ja salassa pidettävää tietoa.



Kuvio 3. Sääsuojasuunnitelmapiiirustus (Destia 2015)

4 UUDET SILTAKOhteET

4.1 Kosteudenhallinta

Uusien siltojen osalta kosteudenhallinta onnistuu kokonaisvaltaisemmin, koska kaikki rakenteet ovat uusia. Uuden betonirakenteen kosteuteen voidaan vaikuttaa jo ennen varsinaista betonointia valitsemalla betonilaatu vesi-sementtisuhteeltaan parhaimmaksi. Myös betonin lisäaineilla voidaan vaikuttaa betonin kuivumisnopeuteen.

4.2 Betonilaadun vaikutus

Uusien siltakohteiden osalta urakoitsijalla on rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa käytettävään betonilaatuun. Siltojen suunnittelua ohjaavat liikenneviraston ohjeet ja määräykset, joiden mukaan suunnittelija määrittelee käytettävän betonilaadun. Suunnitelmissa on määrätty betonin lujuus- ja pakkasenkestävyysvaatimukset. Urakoitsijan tulee käyttää sellaista betonilaatua, joka täyttää suunnitelmissa asetetut vaatimukset. Pintarakenteiden osalta pakkasrasituksen kestävyysluku on yleensä P30. Liikenneviraston ohjeen Siltabetonien P-lukumenettely mukaan betonin pakkasenkestävyyteen eniten vaikuttava tekijä on vesi-sementtisuhte. (Liikennevirasto 2016, 7.)

Urakoitsijan vaikutusmahdollisuudet ovat betonin suhteituksessa ja seosaineiden valinnassa. Aikaisemmin jo todettiin, että betonin tulee täyttää sille asetetut lujuus- ja rasituskestävyysvaatimukset, mutta muuten betonin laatuun voidaan vaikuttaa. Masuunikuonan käyttäminen osana betonin sideainetta nopeuttaa valetun betonin kuivumista. Masuunikuonan määrää on liikenneviraston ohjeistuksen mukaan rajoitettu siten, että sideaineenkokois määrää on nostettava 300 kg/m³:sta vähintään arvoon 350 kg/m³, jos masuunikuonan määrä sideaineen kokonaismäärästä ylittää 35 %. Masuunikuonan määrä ei saa ylittää 50 % sideaineen kokonaismäärästä. (Liikennevirasto 2016, 9–10.)

Masuunikuonan käytöllä on toisaalta myös haittoja. Kun portlandsementtiä korvataan osittain masuunikuonalla, niin betonin hydrataatio eli sitoutuminen ja lujuudenkehitys hidastuvat. Tämä täytyy ottaa huomioon betonin suhteituksessa, työnsuunnittelussa, toteutuksessa ja jälkihoidossa. Lujuudenkehittymisen hidastuminen viivästyttää siltamuottien purkamista, joka täytyy huomioida työnsuunnittelussa.

Masuunikuonan käyttöä on jo tutkittu esimerkiksi Oulun ammattikorkeakoululle tehdyssä opinnäytetyössä. Kyseisessä opinnäytetyössä päästiin siihen tulokseen, että käytettävän masuunikuonalaadun raekoolla on suuri merkitys lujuudenkehityksen nopeuteen ja lopulliseen lujuuteen. (Heikkinen 2013, 25–27.)

Taulukko 2. Lujuudenkehittymisen seuranta betonin sideaineiden kokeilumassoissa (mukailten Heikkinen 2013, 25)

Massa	Puristuslujuus (MPa)			Tiheys (kg/m ³)
	3-vrk	7-vrk	28-vrk	
I	0,92	2,46	10	2110
II	5,51	7,12	32	2200
III	1,43	7,95	17	2230
IV	2,12	5,21	6,5	2100
V	6,95	10,16	14,5	2230
VI	1,25	8,78	21,5	2230
VII	14,75	32	46,5	2220
VIII	12,9	18	24	2250
IX	23,12	36	44	2230
X	5,07	19	36	2280
XI	1,5	4	12,5	2110
XII	7,5	18	34,5	2230
XIII	14	19	24,5	3270

Taulukko 3. Sideainetestauksessa käytetyt sideaineresepit (mukailten Heikkinen 2013, 26)

Massa	Sideaine (%)						Lisäaineet (% sideaineen kokonais-tiivyydestä)		Lisäaineet (konsentraatio ⁵)
	CEM II/A-LL	Masuunikuona	Biopolton lentotuhka ⁷	Teräs-kuona	Ca(OH) ₂	Meta-kaoliini	NaSiO ₃	CaCl ₂	
I	15	80 ³			5			5	
II	15	80 ¹			5			5	
III	15	80 ¹			5		5		
IV	Verrokki: Kiviaines 1095 kg/m ³ , CEM II/A-LL 250 kg/m ³ , vesi 190kg/m ³								
V		50 ¹	50						M6
VI		50 ¹	50					10	
VII	15	80 ²			5			5	
VIII		50 ²	50						M6
IX	Verrokki: Kiviaines / CEM II/A-LL suhteessa 3.0								
X	20	40 ²	40						
XI	15	80 ⁴			5			5	
XII	15	40 ²	40		5			5	
XIII		50 ²	35			15			M6
XIV		60 ³		20	5	15		5	

¹ Finnsementin granuloitu masuunikuonajauhe, pinta-ala 1,5806 m²/g

² Rautaruukin granuloitu masuunikuonajauhe, hienempi kuulajauhettu, pinta-ala 1,1530 m²/g

³ Rautaruukin granuloitu masuunikuonajauhe, karkeampi kuulajauhettu

⁴ Rautaruukin granuloitu masuunikuonajauhe, hienempi tankojauhettu, pinta-ala 0,3027 m²/g

⁵ Rautaruukin granuloitu masuunikuonajauhe, karkeampi tankojauhettu, pinta-ala 0,2316 m²/g

⁶ Lisäaine liuotettu veteen konsentraationa

⁷ Biopolton lentotuhkan pinta-ala 3,4455 m²/g

Heikkisen tekemien betonisuhteitusten ja lujuudenkehityksen seurantalosten (Taulukot 2 ja 3) perusteella voidaan olettaa, että tarkempien tutkimuksien ja ennakkokokeiden avulla voitaisiin löytää sellainen betonisuhteitus, sideaineseos ja masuunikuonalaatu, joka täyttää siltarakenteille asetetut laatuvaatimukset myös korkeilla masuunikuonamäärillä. Heikkisen tekemien kokeiden perusteella suurimman mielenkiinnon herättäjä on betonimassa, jossa on käytetty jopa 80 % masuunikuonaa sideaineen kokonaismäärästä. Kyseisessä reseptissä on toisaalta käytetty kalsiumkloridia masuunikuonan aktivoimiseksi. Suolan lisääminen betonimassaan on kuitenkin kyseenalaista rakenteen kestävyys- ja betoniterästen korroosioriskin takia. Edellä mainitut testitulokset antavat kuitenkin hyvän kuvan siitä, että masuunikuonan maksimaalinen käyttö voi todellakin nopeuttaa sillanrakentamisen työvaiheita. (Heikkinen 2013, 25–27.)

4.3 Lisäaineet

Betonimassan pieni vesi-sementtisuhde, masuunikuonan tai silikan ja muiden sementtiä korvaavien aineiden käyttäminen vaatii joka tapauksessa ennakkokokeiden tekemisen, huolellisen suunnittelun ja toteutuksen jälkihoitoineen. Sementtiseosten käyttämisen yleistyttyä on ollut pakko lisätä betoniin lisäaineita, joilla voidaan parantaa betonin työstettävyyttä ja ominaisuuksia. Lisäaineiden käytössä piilee riskitekijöitä, jotka ovat ikävä kyllä muutamassa kohteessa realisoituneet. Esimerkkeinä tehonotkistimen ja huokoistimen yhteiskäytöstä johtuneet ennakoimattomat lujuskadot betonirakenteissa. (Mölsä 2016.)

4.4 Betonipinnan puhdistus

Sillan vesieristettävät betonipinnat tulee puhdistaa ennen tiivistys- ja eristystöitä. Eristettävällä betonipinnalla ei saa olla jälkihoitoainejäämiä, sementtiliimaa tai muita epäpuhtauksia. Betonin puhdistamiseen käytetään pääsääntöisesti hiekkapuhallusta (Kuvio 4) tai sinkopuhallusta (Kuvio 5). Suihkupuhdistus tulee tehdä huolellisesti ja puhdistusaste tulee todentaa ennen tiivistys- ja eristystöitä.

Betonipinnan huolellisella suihkupuhdistuksella on myös suuri vaikutus betonin kuivumisnopeuteen. Uusien rakenteiden osalta suihkupuhdistus kannattaa tehdä heti, kun seitsemän vuorokauden jälkihoitoaika on täynnä. Suihkupuhdistuksen jälkeen rakenne täytyy joko imuroida tai puhaltaa puhtaaksi pölystä ja muista irtoskista. Huolellisesti puhdistettu betoni kuivuu nopeammin. Pölyisissä olosuhteissa imurointi tai puhallus on suositeltavaa tehdä päivittäin, kunnes betonin absoluuttinen kosteus on riittävän alhainen ja tiivistys- ja eristystyöt voidaan aloittaa.



Kuvio 4. Sillan hiekkapuhallus sääsuojan sisällä (Esakon 2018)



Kuvio 5. Sinkopuhdistus (Alatalon rakennuspalvelu 2018)

4.5 Kuivatus- ja lämmitysratkaisut

Sillan betonirakenteiden nopean lujoudenkehityksen ja jälkihoidon päätyttyä, nopean kuivatuksen onnistumiseksi, joudutaan yleensä turvautumaan rakenteen lämmitykseen ja sääsuojan tuulettamiseen. Tätä varten on olemassa useita erilaisia ratkaisuja. Keskikesällä voi riittää pelkkä ilmaa kierrättävien puhaltimien käyttö, mutta muina vuodenaikoina joudutaan rakennetta ja sääsuojan ilmamasaa lämmittämään. Siltojen lämmittämisessä on kuitenkin omat vaikeutensa. Sääsuoja on hankala rakentaa riittävän tiiviiksi ja yleensä hukkalämmön osuus on suuri. Tästä syystä verrattain pienen ilmatilavuuden lämmittämiseen on käytettävä tehokkaita lämmittämiä.

4.5.1 Polttoöljypuhaltimet

Uusien siltojen kansirakenteen kuivatukseen ja lämmitykseen on useita vaihtoehtoja. Perinteisin ratkaisu on polttoöljyllä toimivien lämmittimien käyttö (kuva 6). Ne sijoitetaan siltakannen päätyihin, joko sääsuojan sisälle tai ulkopuolelle siten, että kuuma ilma saadaan puhallettua sääsuojan sisälle. Polttoöljypuhaltimen käytössä täytyy huomioida polttoaineen vuotoriski. Polttoöljyä ei saa päästää siltakannelle, koska se heikentää vesieristeen tarttumista alustaansa. Jos polttoöljyä pääsee valumaan suojaamattomaan kansirakenteeseen, joudutaan tekemään mittavia toimenpiteitä altistuneen betonin poistamiseksi.

Polttoöljylämmittimien käyttöä puoltaa niiden helppo saatavuus ja vähäinen huolontarve. Kyseisiä lämmittämiä on saatavilla lähes jokaisesta rakennuskonevuokraamosta. Lämmitin on useimmiten varustettu pitkällä polttoaineenimuletkulla, joten se voidaan liittää suureen polttoainesäiliöön. Tämän ansiosta lämmitin voi toimia itsenäisesti pitkiä aikoja. Polttoöljykäyttöisten lämmittimien etuna on myös pieni sähkökulutus. Monesti työmailla on käytössä rajallisesti sähköä tai se tuotetaan aggregaatilla, jolloin sähkönkulutus täytyy pitää pienenä.



Kuvio 6. Thermo Betox -polttoöljylämmitin (Polartherm 2018)

Polttoöljylämmittimet ovat tehokkaita ja niitä löytyy monessa eri teholuokassa, aina muutamasta kilowatista yli 100 kilowatin tehoisiin. Sillan kansirakenteen lämmitykseen käytetään useimmiten 50–60 kW tehoisia lämmittimiä. Suurissa sääsuojissa voidaan käyttää yli 100 kW tehoisia lämmittimiä. Suuri lämmitysteho tarkoittaa tietysti myös suurta polttoaineenkulutusta. Polttoaineen menekki muodostaa näin ollen suurimman kuluerän lämmityskuluista. Esimerkiksi 110 kW tehoinen Thermo Betox -lämmitin kuluttaa polttoainetta 11 kg/h. (Polartherm 2018.)

Polttoöljykäyttöiset lämmittimet puhaltavat kuumaa ilmaa. Ilmavirta auttaa osaltaan kuivumista vieden mukanaan betonista haihtuvaa kosteutta. Pienissä kohteissa ei välttämättä tarvita lämmittimien lisäksi muuta kalustoa riittävän ilmavirran aikaansaamiseksi. Kuten kuvioista 6 nähdään, Thermo Betox -lämmittimien puhallusteho suuntautuu pyöreän suulakkeen kautta. Tästä syystä ilmavirran ohjaaminen siltakannen suuntaisesti on hankalaa. Usein käy niin, että ilmavirta ja lämmitysteho suuntautuu liian ylös ja siksi osa laitteen kuivatustehosta jää hyödyntämättä.

4.5.2 Lämpökontti

Suurissa siltakohteissa lämmitettävä alue ja sääsuojan tilavuus voi olla huomattavan suuri. Tällaisessa kohteessa voi olla järkevintä käyttää lämpökonttia (Kuvio

7), jonka teho on erittäin suuri verrattuna liikuteltavaa lämmittimeen. Lämpökontteja on saatavilla monen tehoisina versioina. Suurimpien lämpökonttien teho on useita satoja kilowatteja. Lämpökontin toimintaperiaate on samankaltainen, kuin Thermo Betox -lämmittimen, vain mittakaava on suurempi. Lämpökontin liikutteluun tarvitaan järeämpää kalustoa ja kokonsa puolesta lämpökontit sijoitetaan aina sääsuojan ulkopuolelle. (Ramirent 2018.)



Kuvio 7. Hot Box -lämpökontti (Ramirent 2018)

4.5.3 Polttoöljylämpövaunu

Roudansulatusvaunut, kuten esimerkiksi HeatWork -roudansulatusvaunut (Kuvio 8) ovat suhteellisen uusia lämmityslaitteita. Ne on kehitetty roudansulattamiseen ja routaantumisen estoon. Näissä laitteissa on letkusto, jossa polttoöljyllä lämmitetty vesi-glykoliseos kiertää. HeatWorkin yksi ominaisuus on kiertävän neste-seoksen lämmönsäätömahdollisuus. Nesteen lämpötila voidaan valita väliltä 0–100 °C. Joissakin malleissa on polttimen, kiertovesipumppujen, säiliöiden ja letkujen lisäksi oma generaattori, joten lämpövaunun käyttämiseksi ei välttämättä tarvitse ulkopuolista sähköliitintä. (Ramirent 2018.)



Kuvio 8. HeatWork -roudansulatusvaunu (Ramirent 2018)

Destia Oy on soveltanut kyseistä lämmityslaitetta myös siltavalun lämmittämiseen muutamassa kohteessa. Siltakannen alueelle asennettiin lattialämmitysputkisto, joka sidottiin kansiraudoituksen yläpinnan harjaterästen alle. Lämmitysputkisto jää siis kansibetonin sisälle ja lämmityksen päätyttyä putkisto voidaan injektoida täyteen sementtiliuksella. HeatWorkin letkusto kytkettiin kierrättämään nesteseosta sillalle asennetussa putkistossa (Kuviot 9 ja 10). Laitteen siirtovempuria käytettiin myös sillan lämmitysputkien täyttämiseen lämmitysneesteellä. (Savola 2018.)

HeatWork -lämpövaunu voidaan tarvittaessa varustaa etäseurantalaitteella. Etäseurantalaitteeseen asennetaan matkapuhelimeen tarkoitettu sim-kortti, jonka avulla lämpövaunun toimintaa voidaan seurata paikasta riippumatta. Etäseuranta vähentää huoltokäyntien määrää ja vähentää niistä aiheutuvia kustannuksia. Häiriötilanteessa etäseurantalaite lähettää hälytyksen valittuun puhelinnumeroon, jolloin korjaaviin toimenpiteisiin voidaan ryhtyä nopeasti. Tämä ominaisuus vähentää lämmityksen katkeamisesta mahdollisesti seuraavien ongelmien mahdollisuutta. (Savola 2018.)



Kuvio 9. Sillan lämmityspotkien asennus (Savola 2018)



Kuvio 10. Lämmönjakotukki (Savola 2018)

HeatWorkilla toteutettu lämmitysratkaisu osoittautui varsin toimiva, vaikka ulkoiset olosuhteet olivat huonot. Betoni pysyi hyvin lämpimänä, koska laitteen lämmitysteho saatiin siirrettyä suoraan betonirakenteeseen. Näin välttyttiin suurelta hukkalämmön määrältä, jos vertailukohtana käytetään koko sääsuojan ilmamäärää lämmittävää polttoöljylämmitintä. Lämmön siirtyessä suoraan rakenteeseen äärialueet lämpenivät paremmin, eikä suuria lämpötilaeroja syntynyt lämmityksen eri vaiheissa. (Savola 2018.)



Kuvio 11. Sääsuojaus HeatWork -lämmityksellä (Savola 2018)

4.6 Kaasukäyttöiset lämmittimet

Nestekaasukäyttöiset lämpöpuhaltimet ovat myös tehokkaita. Nestekaasua poltettaessa syntyy kuitenkin vesihöyryä, joten nestekaasukäyttöiset lämmittimet soveltuvat lähinnä tuoreen vastavaletun betonin lujoudenkehityksen aikaiseen lämmittämiseen, mutta eivät niinkään betonin kuivattamiseen. Tästä syystä johtuen nestekaasukäyttöisiä lämmittimiä ei käsitellä tässä työssä tämän enempää.

4.7 Kuivatuksen tehostaminen

Sillan betonikannen kuivatuksesta tulee huomattavia kustannuksia suurimmassa osassa siltaprojekteja. Tässä opinnäytetyössä on kustannusvertailun lisäksi pyritty löytämään tehostettuja ratkaisuita, jotka soveltuisivat useimpiin kohteisiin.

Tehokkaan betonin kuivumisen saavuttamiseksi on olosuhteiden oltava mahdollisimman optimaaliset. Lämmityslaitteen lämmitysteho tulisi saada mahdollisimman tehokkaasti siirrettyä kuivatettavaan rakenteeseen ja sitä ympäröivään ilmaan. Ei ole kovin energiatehokasta lämmittää suurta sääsuojaa kokonaisuudessaan ja siksi tässä työssä tutkitaan sääsuojan sisälle tehtävän pienemmän teltan vaikutuksia.

Teoriassa kuivumisen pitäisi tehostua, kun lämmitettävä ilmamäärä pienennetään alle puoleen koko sääsuojan tilavuudesta. Toinen kuivumista tehostava vaikutus on ilmavirran suurempi virtausnopeus. Kosteuden haihtumisen pitäisi tehostua ilmavirran nopeuden kasvaessa. Pienemmän ilmamäärän myötä tarvittavien laitteiden ja kulutetun polttoaineen määrän pitäisi oleellisesti pienentyä. Tätä tehostustoimenpidettä käsitellään tämän työn myöhemmässä vaiheessa.

Toinen tässä työssä tutkittavista uusista menetelmistä on infrapunasaiteilylämmittimien käyttö kansirakenteen lämmityksessä ja kuivatuksessa. Myös infrapunalämmittimien tapauksessa on tarkoitus kokeilla lämmittämiä yhdessä sisäteltan kanssa ja etsiä sopiva ripustuskorkeus saiteilylämmittimille. Tästäkin kokeesta kerrotaan tämän työn myöhemmässä vaiheessa tarkemmin.

5 KOSTEUDENHALLINTA SILLANKORJAUKSESSA

5.1 Vanhan rakenteen kosteus

Sillankorjauskohteiden kosteudenhallinta poikkeaa hieman uudisrakentamisen kohteista. Monesti korjaussuunnittelu on tehty puutteellisin lähtötiedoin ja korjaustyöhön ryhdyttäessä huomataankin rakenteen olevan oleellisesti kosteampi, kuin mitä suunnitteluvaiheessa on oletettu. Ylimääräinen kosteus luo suuren aikataulupaineen työnsuorittajille, koska tilaajan aikataulutavoitteet on tehty korjaussuunnitelmien pohjalta kireiksi jo muutenkin.

Vanhan siltakannen kosteus on vaikeinta hallita silloin, kun rakenne on muuten hyvässä kunnossa, mutta liian kostea, eikä vaatisi toimenpiteitä vetokokeiden ja kloridimittauksien perusteella. Tilaaja eli työn maksaja haluaa vain harvoin lähteä piikkaamaan pintaa rikki ja maksamaan kuori- tai muotoiluvalua pelkän rakenteen kosteuden takia. Tämän työvaiheen pois jääminen tietää tilaajalle huomattavia säästöjä, mutta urakoitsijalle se taas voi aiheuttaa pahoja viivästyksiä ja mahdollisesti sakkomaksujen erääntymisen.

5.2 Betonipinnan puhdistus

Vanhan siltakannen korjaamisen ja mahdollisen kosteuden poistamisen tärkein työvaihe on kunnollinen betonipinnan puhdistus. Jos kansirakenne on liian kostea, täytyy vanha vesieristys poistaa erittäin tarkasti, jotta kuivuminen pääsee käyntiin. Yleensä vesieristys poistetaan koneellisesti joko petkeleellä tai kaivinkoneella kaapimalla. Edellä mainittu työvaihe ei kuitenkaan poista läheskään kaikkea bitumia, joten on turvaututtava lisäksi vähintäänkin hiekkapuhallukseen. Usein hiekkapuhalluksen teho ei ole riittävä, vaan kansirakenne täytyy joko tasovesipestä tai sinkopuhaltaa. Kyseiset toimenpiteet ovat usein ylimääräisiä kuluja verrattuna urakkalaskentavaiheessa huomioituihin kuluihin. Joka tapauksessa betonipinta on puhdistettava mahdollisimman hyvin, kuluja tai ei.

5.3 Kuori- ja muotoiluvalu

Sillankorjauksessa kuori- ja muotoiluvalu käytetään silloin, kun kannen muoto on huono vedenpoiston kannalta, kansirakenteessa on klorideja, kansirakenne on rapautunut tai joitakin muita ongelmia on ilmennyt. Kyseinen työvaihe alkaa kansirakenteen jyrksinnällä tai yleisemmin vesipiikkauksella. Kansirakenteesta poistetaan vaurioitunut ja huono betoni, jonka jälkeen piikatun pinnan päälle valetaan uusi pintakerros. Tämä helpottaa osittain korjaustyön etenemistä, koska nykyään on saatavilla Silko hyväksytyjä nopeasti kuivuvia (nopeasti pinnoitettavia) betonilaatuja. Esimerkkinä näistä mainittakoon Suomen rakennelujitus Oy:n valmistama korjausbetoni SRL-60/6/RH, jonka käytöstä on Destiassa kokemuksia. Nopeasti pinnoitettavilla betonilaaduilla on päästy parhaimmillaan todella nopeaan työnsuoritukseen. (Vanha-Kuitti 2018.)

5.4 Nopeasti pinnoitettava betoni

Nopeasti pinnoitettavia betonilaatuja on käytetty jo useissa siltakohteissa. Korjausmassojen osalta betonimassalla tulee olla SILKO-hyväksyntä. Nopeasti pinnoitettavat betonimassat ovat erittäin kalliita verrattuna betonitoimittajien valmistamiin valmisbetonilaatuihin. Kuutiohinta nousee näissä SILKO hyväksytyissä nopeissa korjausmassoissa todella korkeaksi ja niiden käyttö rajoittuu useimmiten suunnitelmissa määrättyihin kohteisiin. Valmisbetonin korvaaminen näillä massoilla ei yleensä tule kysymykseen kustannussyistä. Kyseisistä korjausmassoista on kuitenkin hyviä kokemuksia. Tiivistys- ja eristystöihin on päästy nopealla aikataululla, mutta työvirheiden mahdollisuus kasvaa. (Työpäällikön haastattelu 2018.)

5.5 Kuivatus- ja lämmitysratkaisut

Sillankorjauskohteissa lämmitys- ja kuivatusratkaisut ovat pääosin samanlaisia, kuin edellä mainitut menetelmät siltojen uudisrakentamisessa. HeatWork -raudansulatusvaunun käyttäminen sillankorjauskohteessa vaatii laajan kansirakenteen purkamisen, joten HeatWorkin käyttäminen korjauskohteessa voisi lähinnä rajoittua betonin lujoudenkehityksen aikaiseen pintalämmitykseen. Pintalämmityksessä lämpövaunun lämmitysletkut voidaan asentaa betonin pinnalle heti, kun

betonipinta kestää levitystyöstä aiheutuvat rasitukset. Lämmitysletkut voidaan tarvittaessa peittää kevyillä eristysmatoilla, jolloin hukkalämmön määrä saadaan pieneksi.

5.6 Kuivatuksen tehostaminen korjauskohteessa

Sillankorjauskohteessa kuivatuksen tehostaminen on todennäköisesti helpointa toteuttaa matalan sisäteltan avulla. Lämmityksen tehostaminen pelkällä laitevalinnalla voi olla haastavaa, koska esimerkiksi HeatWork -lämpövaunun käyttäminen kuivatusvaiheessa ei usein onnistu. Sisätelttaratkaisua on käsitelty tarkemmin tämän opinnäytetyön luvussa kuusi (6).

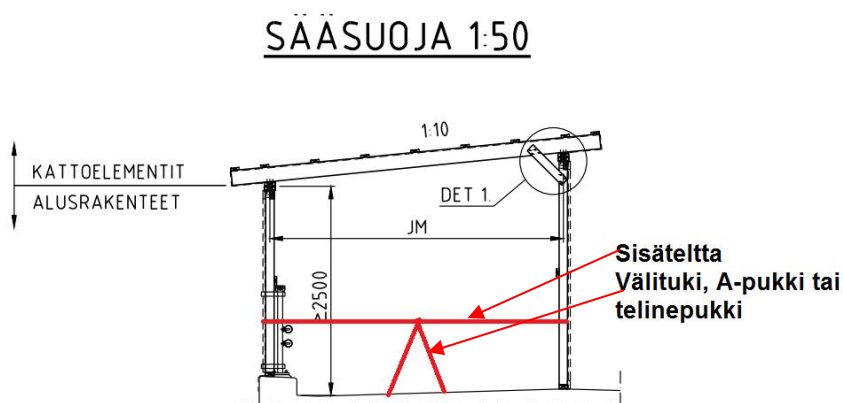
6 LÄMMITYKSEN JA KUIVATUKSEN TEHOSTAMINEN

6.1 Tehostuskeinot

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kustannus- ja tehokkuusvertailun ohella yrittää löytää kuivatusta tehostavia menetelmiä. Näistä helpoimmaksi ja halvimmaksi keinoksi on ajateltu sääsuojan sisälle tehtävän matalan sisäteltan rakentamista. Sisäteltan varsinaiset testaamiset tehdään kuitenkin vasta kesällä 2018, joten näiden testien tulokset eivät ole käytettävissä tätä työtä tehdessä. Matalan sisäteltan käyttöä on käsitelty teoreettiselta pohjalta.

6.2 Matala sisäteltta

Sääsuojan sisälle rakennettava matalampi telta voidaan rakentaa alumiinisia telineitä hyödyntäen tai sen runko voidaan rakentaa kokonaan puusta. Tärkein ominaisuus sisäteltalle on lämmitettävän ilmassan kuutiolavuuden pienentäminen ja lämpötilan nostaminen korkeammaksi kuivatettavassa rakenteessa ja sitä ympäröivässä ilmassassa (Kuvio 12). Samalla saadaan tehostettua ilmavirran nopeutta, joka tehostaa kuivumista entisestään.

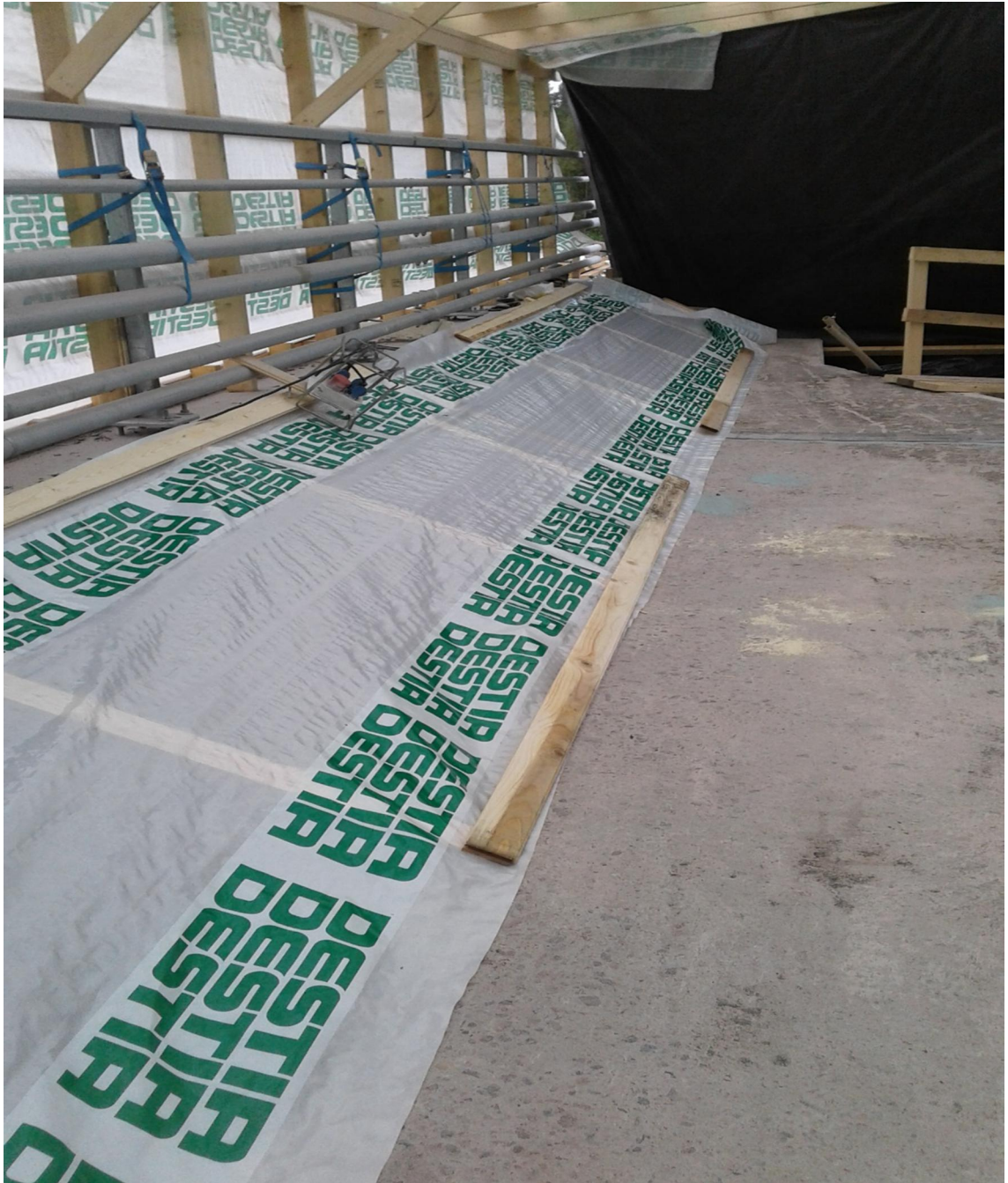


Kuvio 12. Sisäteltan havainnekuva (mukaiillen Destia 2015)

Sisäteltan ei tarvitse olla yhtä tiivis, kuin varsinaisen sääsuojan, vaan riittää, että lämpö saadaan ohjattua tehokkaammin betonirakenteeseen. Sisäteltan ilmanvaihto tulee kuitenkin olla erittäin hyvä, jotta voidaan välttää kasvihuoneiden olosuhteilta. Sisäteltan tulee olla päistä kokonaan avoin, jotta ilma kiertää koko sääsuojan sisällä. Niissä kohteissa, joissa on lämmitys tai puhallusjärjestelmä molemmissa sillanpäädyissä, sisäteltta kannattaa tehdä keskeltä avoimeksi. Näin ollen ilmankierto saadaan mahdollisimman suureksi ja kostea ilma ohjattua sisäteltasta pois. Pienissä alle 350 m² siltakohteissa on todennäköisesti järkevämpää suunnata kaikki puhallusteho samaan suuntaa. Asennettaessa kaikki lämmittimet ja puhaltimet puhaltamaan samaan suuntaa, sisäteltta kannattaa rakentaa koko siltakannen pituiseksi. Tällöin ilman kierto hoituu sisäteltan aukinaisten päiden kautta.

Sisätelttarakenteen tulee olla helposti ja nopeasti asennettava, sekä purettavissa tarpeellisten näytteenottojen tai vastaavien töiden edestä. Ennen sisäteltan rakentamista kansirakenteen muut korjaustyöt on suositeltavaa hoitaa pois alta, ettei sisätelttaa tarvitse tarpeettomasti purkaa ja rakentaa uudelleen.

Sisäteltan vaikutuksien selvittäminen ei tätä opinnäytetyötä tehdessä onnistunut kiireisen työtilanteen takia, mutta tähän opinnäytetyöhön liittyen laajamittaisempia testejä tullaan tekemään Destian todellisissa siltakohteissa kesällä ja syksyllä 2018. Alkuperäinen idea sisäteltasta muodostui kesällä 2017, jolloin yhdessä Destian siltakohteessa kuivatusta ja lämmitystä tehostettiin sillan ulokkeen ja reunapalkin osalta pienellä sisäteltalla (Kuvio 13). Tässä kohteessa teltta rakennettiin mahdollisimman pieneksi, jotta pienten sähkölämmittimien teho saatiin riittämään. Sisäteltan muoto muistutti tässä tapauksessa pientä tunnelia. Sisäteltan päädyt olivat kokonaan auki, mutta lämpötilaero sääsuojan ja sisäteltan välillä nousi siitä huolimatta noin 20 asteeseen. Tässä pienessä kohteessa menetelmä toimi erittäin hyvin ja betonin absoluuttinen kosteus laski 6,1 %:sta 4,8 %:in noin kolmen vuorokauden aikana.



Kuvio 13. Pieni sisäteltha sillankorjauskohteessa

6.3 Infrapunasäteilylämmittimet

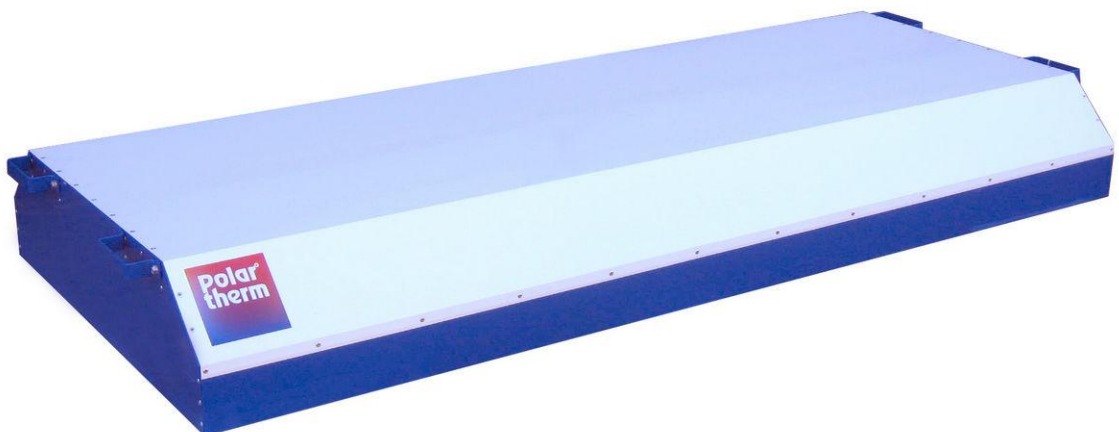
Infrapunasäteilylämmittimet ovat harvemmin olleet käytössä sillanrakentamisen tai korjaamisen yhteydessä. Infrapunalämmittimiä on perinteisesti käytetty rou-dansulatukseen kaivutöiden yhteydessä. Infrapunalämmittimet ovat tehokkaita

siirtämään lämpöä suoraan rakenteeseen, koska lämmitysvaikutus perustuu säteilylämmitykseen, eikä ympäröivän ilmassan lämmittämiseen. Tämän tiedon pohjalta haluttiin selvittää säteilylämmittimien käyttökelpoisuutta siltakohteissa.

Infrapunasäteilylämmittimien käyttökelpoisuuden selvittämiseksi oli suunnitteilla tehdä pienenmittakaavan kokeita Destian tukikohdassa Raisiossa. Koetilannetta järjestettäessä oli Raision toimipisteessä sopivasti tulossa yhden työkohteen siirtymäläaattaelementtien betonointi. Testien suorittaminen oli tarkoitus tehdä hyödyntäen todellista lämmitystarvetta.

Lämmitystestiä järjestettäessä kävi kuitenkin niin, että kyseisen kohteen työmaapäällikkö oli kokeillut infrapunalämmittimiä aikaisemmassa siltakohteessaan. Hänen haastattelun perusteella testaus oli kannattavaa jättää tekemättä. (Työpäällikön haastattelu 2018).

Infrapunalämmittimien tuotekorteista käy nopeasti selville niiden sähkönkulutus. Kyseisiin testeihin kaavailut Sähköroudax -lämmittimien (Kuvio 14) teho on 3,3 kW. Lämmittimen tehollinen lämmitysala on kuitenkin vain muutamia neliömetrejä, joten lämmittimiä tarvittaisiin useita pienelläkin siltakohteella. Työmaaolosuhteissa sähköliittymän kapasiteetti on usein rajallinen ja pienemmissä kohteissa työskennellään aggregaatin varassa. Usean sähkökäyttöisen säteilylämmittimen käyttäminen ei ole mahdollista suuren sähkönkulutuksen takia.



Kuvio 14. Sähköroudax -infrapunalämmitin (Polartherm 2018)

Infrapunasäteilylämmittimiä on saatavilla myös nestekaasukäyttöisenä (Kuvio 15), mutta niiden ongelma on nestekaasun polttamisessa syntyvä vesihöyry.

Näin ollen kaasukäyttöiset infrapunälämmittimet eivät sovellu betonin kuivatukseen, vaan lähinnä tuoreen reagointivaiheessa olevan betonin lämmitykseen.



Kuvio 15. Nestekaasuinfrapunälämmitin (Ramirent 2018)

Testien suorittamisen hyödyllisyydestä keskusteltiin työn tilaajan kanssa ja päätettiin siihen lopputulokseen, ettei infrapunasähkölämmittimien kokeita suoriteta. Keskustelun tuloksena, kuitenkin todettiin, että kyseiset lämmittimet voivat olla sopivia talviaikana tehtyjen betonointien lämmittämiseen, kunhan lämmitettävä pinta-ala ei ole kovin suuri.

6.4 Reaaliaikainen olosuhdeseuranta

Matalan sisäteltan ja sääsuojan olosuhdeseurannalla voidaan osaltaan tehostaa kuivatusmenetelmien toimivuutta. Haastatteluiden perusteella olosuhteiden seuraaminen on useissa tapauksissa laiminlyöty täysin. Sääsuojan sisäilman kosteusseuranta on tehty lähinnä eristystöihin ryhdyttäessä, jolloin ilman suhteellinen kosteus on mitattu liikenneviraston ohjeistuksen mukaisesti.

Olosuhteilla on kuitenkin erittäin suuri vaikutus kuivumiseen, joten jatkuvan seurannan avulla voidaan ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin, jos olosuhteet ovat huonot. Destian kehityspäälliköllä oli tähän tarpeeseen tiedossa sopiva laitteisto, jota on tarkoitus testata ja käyttää sisätelttatestauksen yhteydessä sekä sääsuojien olosuhdeseurannassa yleensäkin. (Savola 2018.) Kyseinen järjestelmä mittaa ympäröivän ilmansuhteellistakosteutta ja lämpötilaa kahden tunnin välein ja lähettää tiedot etäseurantapalveluun. Kyseinen MATOlog -laite (Kuvio 16) ei tarvitse ulkoista virtalähdettä, sim -korttia tai wlan verkkoa. (Mato Engineering 2018.)



Kuvio 16. MATOlog mittauslaitteen toimintaperiaate (Mato Engineering 2018)

Mittauslaite lähettää tiedot Digitan IoT verkkoa hyödyntäen. Laitteen käyttö on helppoa, koska sen toiminta on täysin itsenäistä ja tiedot voidaan lukea palvelimelta missä ja milloin vain. Mittauslaitteesta ei aiheudu käyttökuluja hankintahinnan lisäksi ja sen toiminta-aika on viisi vuotta. Mittaustuloksien lukeminen etäpalvelusta on helppoa, koska palvelu piirtää mitattavista arvoista käyrää. Mittaustuloksia vertailemalla säätietoihin voidaan oppia reagoimaan olosuhdemuutoksiin oikealla tavalla ja oikea-aikaisesti. (Mato Engineering 2018.)

7 LÄMMITYS- JA KUIVATUSRATKAISUIDEN VERTAILU

7.1 Vertailukohde

Lämmitys- ja kuivatusratkaisuiden vertailua varten päätettiin suorittaa vertailu keskiverto sillanrakennus- tai sillankorjauskohteeseen. Vertailukohteen lämmitettäväksi pinta-alaksi valittiin 350 neliömetrin kokoinen siltakansi ja kohteessa käytetään liikenneviraston ohjeistuksen mukaista sääsuojaa, jonka sisäkorkeus on 2,5 metriä. Kustannusvertailun onnistumiseksi vertailukohde oli kaikille lämmitysmenetelmille sama. Kokorajauksen avulla voitiin selvittää tarvittava lämmitysteho ja tarvittavien laitteiden lukumäärät. Kustannus- ja lämmitystekokkuusvertailutiedot taulukoitiin (Liite 1) asian esittämisen helpottamiseksi.

7.2 Vertailuhinnat

Vertailuhintoina käytettiin rakennuskonevuokraamon listahintoja kyseisille lämmittimille ja puhaltimille. Kustannusvertailussa huomioitiin laitteiden sähkön- ja polttoaineenkulutus, sekä mahdolliset asennuskulut jälkitöineen. Asennuskuluissa on selkeä ero esimerkiksi polttoöljypuhaltimien ja HeatWork -lämpövaunun välillä, koska HeatWork -lämpövaunua käytettäessä siltabetoniin on asennettava lämmitysputkisto. Lattialämmityksissä käytettävä muoviputki kustantaa noin euron per metri ja lämmityksen loputtua lämmitysputkisto tulee injektoida sementti-liimalla. (Romakkaniemi 2018).

7.3 Kuivatustehokkuus (vertailuluku)

Lämmitys- ja kuivatuslaitteiston tehokkuus on vertailussa huomioitu vertailuluvun avulla. Kuivumisnopeuteen vaikuttavia asioita on lämmön siirtyminen kuivatettavaan rakenteeseen, ilman virtausnopeus, ilman lämpötila ja tietysti olosuhteet. Vertailulukua on käytetty kuivatusaikaa määriteltäessä (pieni vertailuluku = nopea kuivuminen). Lämmitysajan määrittämisen lähtöarvona käytettiin 18vrk kuivatusaikaa. Olosuhteiden vaikutusta ei vertailussa ole huomioitu, vaan on oletettu, että jokaisessa tilanteessa ulkoiset olosuhteet ovat samat. Vertailu on tehty erikseen eri vuodenaajoille, jotta tuloksista saatiin kattavammat. Vertailuluku on

määritelty tutkimalla työmaapäiväkirjoja, haastatteleamalla Destian asiantuntijoita ja omien kokemusten perusteella. Absoluuttista totuutta vertailu ei anna, koska ulkoisten tekijöiden vaikutusta ei voida koskaan täysin poistaa. Todellisten kohteiden välillä voi olla merkittäviä vaihteluita kuivumisnopeudessa.

7.4 Vertailun tulokset

Vertailun eri vaiheiden tulokset on esitetty taulukossa (Liite 1). Taulukon viimeiseen sarakkeeseen on laskettu yhteen eri lämmitysmenetelmien asennus- ja jälkitöiden kulut, käyttökulut sekä laitteiston vuokratulot. Eri lämmitysmenetelmien kuivatustehokkuus on huomioitu vertailuluvun avulla.

8 OLOSUHTEIDEN VAIKUTUS

8.1 Sääolosuhteiden vaikutus

Sillanrakennus- ja korjaustyöt tehdään lähes poikkeuksetta ulkotilassa, joten valitsevat sääolosuhteet vaikuttavat merkittävästi itse rakennus- ja korjaustyöhön. Kosteudenhallinnan näkökulmasta sääolosuhteet voivat olla huomattavan haastavat ja vaihdella todella paljon.

Uudisrakentamisessa kosteudenhallinta on hieman helpompaa, koska sääolosuhteet voidaan huomioida helpommin. Sillan betonoinnin jälkeen silta voidaan sääsuojata nopeasti ja näin estää mahdollisten sateiden aiheuttama kosteuskuorma. Uudisrakentamisen yhteydessä voidaan vaikuttaa myös käytettävän betonilaadun ominaisuuksiin ja vähentää jo rakentamisvaiheessa veden käyttöä.

Sääsuojan rakentamisen jälkeen kosteudenhallintaan ja betonin kuivumiseen vaikuttavat eniten sääsuojan sisäiset ja ulkoiset olosuhteet. Betonin kuivumiseksi olosuhteiden on oltava riittävän lämpimät ja ympäröivän ilmassa suhteellinen kosteus RH % mahdollisimman alhainen. Hyvien olosuhteiden saavuttamiseen vaikuttavat edelleen sääolosuhteet. Syyssateiden ja kylmien talvikelien aikana optimaalisten olosuhteiden saavuttaminen sääsuojan sisällä on hyvin vaikeaa ja kallista, mutta välttämätöntä. Sateinen kesä voi aiheuttaa sen, että sääsuojattu silta tarvitsee lämmitystä ja kunnollisen tuuletuksen, jotta riittävän hyvät olosuhteet saavutetaan sääsuojan sisällä. Ulkoisia vaikutuksia ei voida koskaan kokonaan poistaa, mutta oikeiden toimintatapojen ja nopean reagoinnin avulla niiden vaikutus voidaan minimoida.

8.2 Sääsuojan sisäiset olosuhteet

Siltojen rakentamisessa ja korjaamisessa käytettävät sääsuojat estävät sadevesien, lumen ja ilmankosteuden pääsemisen suoraan betonirakenteeseen. Kosteus siirtyy kuitenkin myös kulkeutumalla ilmassa mukana, joten sen estämiseksi sääsuojan sisätilaa tulee usein lämmittää. Lämmityksen ansiosta sääsuojan sisäpuolella on lämpimämpää ja ilman suhteellinen kosteus pienenee.

Lämmityksellä saadaan aikaan rakenteellisen kosteuden siirtyminen ympäröivään (sääsuojan sisäiseen) ilmaan ja tuuletuksella kostea ilmamassa johdetaan sääsuojan sisältä ulos. Käytännössä se tapahtuu sääsuojan vuotokohtien kautta tai tarkoituksellisesti sääsuojan päätyjen kautta tuulettamalla. Puhaltimien avulla tuuletusta voidaan tehostaa.

Kesäaikana hyvissä olosuhteissa sääsuojan päädyt kannattaa pitää kokonaan auki ja näin tehostaa ilmankiertonopeutta. Toisaalta olosuhteet voivat muuttua jo hetkellisen sadekuuron takia pitkäksi aikaa. Nopean ja tehokkaan kuivumisen varmistamiseksi, tulisi sääsuojan sisällä tehdä päivittäin tai useammin mittauksia, jotta voidaan varmistua oikeanlaisten olosuhteiden pysyvyydestä. Jatkuvan seurannan avulla voidaan luoda selkeät toimintatavat aina ulkoisten olosuhteiden muuttuessa. Olosuhteidenseurantaan on olemassa itsenäisesti toimivia mittauslaitteita, joista yksi on edellä mainittu MATOlog -laite.

9 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Sillanrakentamisen ja -korjaamisen kosteudenhallinnassa on vielä huomattavan paljon parantamisen varaa. Liikenneviraston vaatimusten mukaan, työt tehdään nykyään lähes poikkeuksetta sääsuojan sisällä, joka vähentää suoraa kosteusrasitusta, mutta ei poista kosteusongelmaa kokonaan. Olosuhteiden vaikutus kuivumiseen on niin suuri, että niiden seurantaan kannattaa panostaa. Olosuhdemittaus ei vaadi suuria taloudellisia tai työmäärällisiä panostuksia, mutta sen avulla voidaan päästä merkittäviin aika- ja kustannussäästöihin.

Rakenteellisen kosteuden hallinta on hieman helpompaa, kuin ulkoisista olosuhteista johtuvan kosteuden hallinta. Rakenteelliseen kosteuden määrään voidaan vaikuttaa oikeilla valinnoilla rakentamisvaiheessa, mutta ulkoisiin tekijöihin vaikuttaminen on mahdotonta. Ulkoisten tekijöiden vaikutusta voidaan ainoastaan pyrkiä minimoimaan sääsuojan, lämmityksen ja tuuletuksen avulla. Kustannus- ja tehokkuusvertailun lopputuloksena ei voida antaa mitään absoluuttista taulukkoa lämmitys- ja kuivatusjärjestelmän valintaan, vaan valinta täytyy tehdä aina kohdekohtaisesti. Kustannus- ja tehokkuusvertailun avulla voidaan kyllä haaruroida mahdollisesti tehokkaimmat menetelmät.

Kylmissä olosuhteissa lämmitysjärjestelmän ominaisuudet korostuvat ja lämmön siirtyminen kuivatettavaan rakenteeseen korostuu. Tästä syystä verrattain kallis lämmitysjärjestelmä voi olla taloudellisesti kannattavin ja tehokkain rakenteen kuivumisen kannalta. Lämmitysjärjestelmää valittaessa tulee selvittää mitkä ominaisuudet ovat kulloinkin tärkeimmässä roolissa, kuivatustehokkuus vai kustannustehokkuus.

Kokonaan oman mielenkiintoisen osan kosteudenhallintaan tuo uusien betonin sideaineseoksien kehittäminen. Uskoisin, että lähitulevaisuudessa valmisbetonitoimittajat joutuvat kilpailemaan asiakkaista hinnan lisäksi myös palvelukokonaisuuden avulla. Tähän kokonaisuuteen voi kuulua kokonaan räätälöityjen betonilaatujen kehittäminen. Siltakohteissa kehitys lienee ympäristöystävällisimpien tuotteiden kehittelyä ja yhä paremmin kohteisiin sopivia nopeita betonimassoja. Siltatöistä aiheutuva liikennehaitta on tulevaisuudessa vielä suuremmassa

osassa työnsuunnittelussa, koska tienkäyttäjien vaatimustaso todennäköisesti nousee entisestään, eikä liikennemäärissä todennäköisesti tule tapahtumaan las-
kua.

LÄHTEET

Alatalon rakennuspalvelu 2018. Kuvia kohteista. Viitattu 26.02.2018 <https://www.arp.fi/kuvagalleria>.

Destia Oy 2015. Sääsuojasuunnitelmat. Ei julkinen.

Esakon Oy 2018. Palvelut-Hiekkapuhallukset. Viitattu 26.2.2018 <http://esakon.fi/palvelu/hiekkapuhallukset/>.

Heikkinen, J. 2013. Teollisuuden sivutuotteiden käyttö betonissa sementin korvaajana. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka.

Liikennevirasto 2011. Silko 1.801. Siltojen pintarakenteet, vedeneristykset, yleiset laatuvaatimukset. Edita Prima Oy Helsinki 2011.

Liikennevirasto 2014. Liikenneviraston ohjeita. Sääsuojiin käytön turvallisuusohje. Viitattu 28.2.2018 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/ohje_2014_saa-suojien_kayton_web.pdf.

Liikennevirasto 2016. Liikenneviraston ohjeista 22/2016. Siltojen P-lukumenettely. Viitattu 9.3.2018 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2016-22_siltabetonien_p-lukumenettely_web.pdf.

Liikennevirasto 2017. Liikenneviraston ohjeita 2/2017. Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus. Viitattu 6.3.2018 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/.../lo_2017-02_sillan_vedeneristystyomaan_web.pdf.

Mato Engineerin 2018. Ominaisuudet. Viitattu 23.4.2018 <https://www.mato-log.fi/tekniikka>.

Mölsä, S. 2016. Oliko ekologinen sementtiseos yksi syy Turun ja Kemijärven valujen epäonnistumisiin? Rakennuslehti 15.11.2016. Viitattu 6.3.2018 <https://www.rakennuslehti.fi/2016/11/oliko-ekologinen-sementtiseos-syypaa-turun-ja-kemijarven-valujen-epaonnistumisiin/>.

Polartherm 2018. Thermo Betox tuotekuvat. Viitattu 9.3.2018 <http://www.polartherm.fi/fi/civ-/tuotteet/rakentaminen---saneeraus/siirrettavat-oljy--ja-kaasukayttoiset/tuotekuvia-.html>.

InfraRYL 2017. 4200 Sillat. Rakennustietosäätiö.

Ramirent 2018. Tuotteet. HeatWork. Viitattu 9.3.2018 <http://tuotteet.ramirent.fi/node/2088>.

Romakkaniemi, A. Sähköpostitiedonanto. pasi.oikarinen@edu.lapinamk.fi. Tulostettu 6.4.2018.

Savola, M. 2018. Sillan lämmitys HeatWork, työmaakuvat. Ei julkinen.

Savola, M. 2018. Kehityspäällikön haastattelu. Destia Oy.

Työmaapäällikön haastattelu 2018. Destia Oy.

Vanha-Kuitti, J. 2018. Työmaapäällikön haastattelu. Destia Oy.

VTT 2009. Vedeneristysalustan kosteuden mittausmenetelmät ja kriteerit. Tutkimusraportti Nro VTT-S-08802-09. Viitattu 26.2.2018 https://julkaisut.liikennevirasto.fi/sillat/julkaisut/vedeneristysalusta_kosteus_selostus_2009.pdf.

LIITELUETTELO

Liite 1. Lämmitys- ja kuivatusratkaisuiden vertailu

Liite 1. Lämmitys- ja kuivatusratkaisuiden vertailu

Lämmitys- ja kuivatusratkaisuiden vertailu, kesäolosuhteet													
Menetelmä	Käytetyt laitteet	Tehostustoimenpiteet	Laite määrä Kpl	Laitevuokra alv 0% (€/vrk)	Käyttökustannus sähkö (€/vrk)	Polttoainekustannus (€/vrk)	Yhteensä (€)	Rakenteen lämpötila (°C)	Asennuskulut (€)	Lämmityskulut €/m ² /vrk vertailukohte 350m ²	Kuivatustehokkuus (vertailuluku)	Lämmitysaika (vrk) (18vrk*vertailuluku)	Yhteensä (€) (lämmitys ja asennus)
Tuuletus	Simpukkapuhaltimet	ei	6	16,94	4,08	0	126,12	10-20	40,00	0,36	1,5	27	3445,24
Tuuletus	Simpukkapuhaltimet	Sisätelulta	6	16,94	4,08	0	126,12	10-20	500,00	0,36	1,2	21,6	3224,192
Lämmitys	thermo betox 50-60kW	ei	3	24	2,64	144	511,92	15-25	60,00	1,46	0,8	14,4	7431,648
Lämmitys	thermo betox 50-60kW	Sisätelulta	2	24	2,64	144	341,28	20-30	500,00	0,98	0,75	13,5	5107,28
Lämmitys+tuuletus	TB 50-60kW+simpukkapuhaltimet 6kpl	ei	2	125,64	6,72	144	552,72	15-25	80,00	1,58	0,7	12,6	7044,272
Lämmitys+tuuletus	TB 50-60kW+simpukkapuhaltimet 6kpl	Sisätelulta	2	125,64	6,72	144	552,72	20-30	550,00	1,58	0,6	10,8	6519,376
Lämmitys	HeatWork	ei	1	350	0	230,4	580,4	30-40	2500,00	1,66	0,5	9	7723,6
Lämmitys- ja kuivatusratkaisuiden vertailu, syys- ja kevätoolosuhteet													
Menetelmä	Käytetyt laitteet	Tehostustoimenpiteet	Laite määrä Kpl	Laitevuokra alv 0% (€/vrk)	Käyttökustannus sähkö (€/vrk)	Polttoainekustannus (€/vrk)	Yhteensä (€)	Rakenteen lämpötila (°C)	Asennuskulut (€)	Lämmityskulut €/m ² /vrk vertailukohte 350m ²	Kuivatustehokkuus (vertailuluku)	Lämmitysaika (vrk) (18vrk*vertailuluku)	Yhteensä (€) (lämmitys ja asennus)
Lämmitys	thermo betox 50-60kW	ei	4	24	2,64	144	682,56	15-25	80,00	1,95	0,9	16,2	11137,472
Lämmitys	thermo betox 50-60kW	Sisätelulta	3	24	2,64	144	511,92	20-30	500,00	1,46	0,85	15,3	8332,376
Lämmitys+tuuletus	TB 50-60kW+simpukkapuhaltimet 6kpl	ei	4	125,64	6,72	144	1105,44	15-25	100,00	3,16	0,8	14,4	16018,336
Lämmitys+tuuletus	TB 50-60kW+simpukkapuhaltimet 6kpl	Sisätelulta	2	125,64	6,72	144	552,72	20-30	550,00	1,58	0,7	12,6	7514,272
Lämmitys	HeatWork	ei	1	350	0	230,4	580,4	30-40	2500,00	1,66	0,7	12,6	9813,04
Lämmitys- ja kuivatusratkaisuiden vertailu, talviolosuhteet													
Menetelmä	Käytetyt laitteet	Tehostustoimenpiteet	Laite määrä Kpl	Laitevuokra alv 0% (€/vrk)	Käyttökustannus sähkö (€/vrk)	Polttoainekustannus (€/vrk)	Yhteensä (€)	Rakenteen lämpötila (°C)	Asennuskulut (€)	Lämmityskulut €/m ² /vrk vertailukohte 350m ²	Kuivatustehokkuus (vertailuluku)	Lämmitysaika (vrk) (18vrk*vertailuluku)	Yhteensä (€) (lämmitys ja asennus)
Lämmitys	thermo betox 50-60kW	ei	5	24	2,64	144	853,2	15-25	120,00	2,44	1,2	21,6	18549,12
Lämmitys	thermo betox 50-60kW	Sisätelulta	4	24	2,64	144	682,56	20-30	600,00	1,95	1,1	19,8	14114,688
Lämmitys+tuuletus	TB 50-60kW+simpukkapuhaltimet 6kpl	ei	5	125,64	6,72	144	1381,8	15-25	140,00	3,95	0,9	16,2	22525,16
Lämmitys+tuuletus	TB 50-60kW+simpukkapuhaltimet 6kpl	Sisätelulta	4	125,64	6,72	144	1105,44	20-30	600,00	3,16	0,8	14,4	16518,336
Lämmitys	HeatWork	ei	1	350	0	230,4	580,4	30-40	2500,00	1,66	0,8	14,4	10857,76