SIMO SIIPPOLA

LASERPUHDISTUSMENETELMÄN KÄYTTÖ SILTOJEN YLLÄPIDOSSA

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

2024

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Simo Siippola
Työn nimi	Laserpuhdistusmenetelmän käyttö siltojen ylläpidossa
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ELY-keskus, Erkki Munter
Vuosi	2024
Sivut	47 sivua, liitteitä 18 sivua
Työn ohjaaja(t)	Juha Karvonen, Valtteri Perälahti

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää laserpuhdistustekniikan käyttömahdollisuuksia siltojen ylläpidossa uusinta- ja paikkausmaalauksen yhteydessä. Työn toimeksiantaja oli Kaakkois-Suomen Ely-keskus, jonka aloitteesta tutkittiin, millaisissa kohteissa laserpuhdistus on käyttökelpoinen ja kustannustehokas verrattuna nykyisin yleisimmin käytössä olevaan hiekkapuhalluksella tapahtuvaan puhdistukseen. Hiekkapuhallustekniikan yksi suurimmista ongelmista on suuri jätteen määrä likaisen puhallushiekan muodossa. Laserpuhdistuksesta toivotaan ratkaisua tähän ongelmaan. Lisäksi työssä oli tarkoitus selvittää laserpuhdistuksen mahdollisia ongelmakohtia ja mahdollisesti tarvittavia jatkotutkimuksia.

Tutkimustyö toteutettiin kahdessa aidossa siltakohteessa, joissa puhdistettiin teräspalkkia ja teräksisiä rullalaakereita. Kohteissa tutkittiin mm. työsuoritetta sekä puhdistusastetta, tehtiin VOC-mittauksia, tutkittiin puhdistetun pinnan kovuuksia sekä suoritettiin ultraäänimittauksia. Koekohteiden avulla saatiin selville laserpuhdistuksen olevan toistaiseksi hieman hitaampaa kuin hiekkapuhalluksella tehtävä puhdistus. Kuitenkin puhdistustyöhön kuluva kokonaisaika esivalmisteluineen ja jätteen poistoineen huomioituna on laserpuhdistus kilpailukykyinen. Haasteita laserpuhdistuksessa ovat laitteiston hankintahinta, savun muodostuminen ja savun poisto.

Koekohteiden tutkimusten tuloksena saatiin tietoa laserpuhdistuksen soveltuvuudesta erilaisissa kohteissa. Esimerkiksi monimuotoisten laakerien puhdistuksessa laserpuhdistus on hyvinkin käyttökelpoinen, koska hiekasta ei ole haittaa. Lisäksi saatiin lisätietoa jatkotutkimusten pohjaksi. Jatkotutkimuksia voisivat olla mm. mikroskooppiset tutkimukset puhdistetusta pinnasta, tarkemmat kemialliset analyysit savukaasuista ja puhdistetun pinnan ainejäämistä.

Opinnäytetyön tuloksena voidaan todeta laserpuhdistusmenetelmän olevan kehityskelpoinen menetelmä siltojen teräsosien puhdistamiseen osana siltojen ylläpitoa. Opinnäytetyön ja tulevien jatkotutkimusten pohjalta voidaan laserpuhdistukselle laatia siltakohteissa käytettävä ohjeistus työturvallisuuteen ja työtekniikoihin liittyen.

Asiasanat: Laserpuhdistus, hiekkapuhallus, siltakohteet

South-Eastern Finland University of Applied Sciences

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Simo Siippola
Thesis title	Use of laser cleaning method in bridge maintentance
Commissioned by	Centre for Economic Development, Transport and the Environment, Southeast Finland, Erkki Munter
Time	2024
Pages	47 pages, 18 pages of appendices
Supervisor	Juha Karvonen, Valtteri Perälahti

ABSTRACT

The objective of this thesis was to find out the possibilities of using laser cleaning technology in the maintenance of bridges. On the initiative of the Centre for Economic Development, a field study was launched to define at what kind of sites laser cleaning would be usable and cost-effective in comparison with the currently most used sandblasting. One of the most serious problems with sandblasting technology is the large amount of waste in the form of dirty blowing sand. Laser cleaning is hoped to be a solution to this problem. In addition, possible problem areas of laser cleaning were sought, and needs for further studies defined.

The research was conducted on two bridge sites, where steel beams and steel roller bearings were cleaned. At the sites, work performance was measured, the degree of cleaning evaluated, VOC measurements made, the hardness of the cleaned surface examined, and ultrasonic measurements performed. With the help of test items, it was found that laser cleaning is so far somewhat slower than cleaning with sandblasting. However, considering the total time spent on the cleaning work, including preparations and waste removal, laser cleaning is competitive. Challenges in laser cleaning are the purchase price of the equipment, smoke generation, and smoke removal.

As a result of the field studies, information was obtained on the suitability of laser cleaning on various sites. For example, laser cleaning is very useful for cleaning complex bearings, because there is no waste sand. Further research could include microscopic studies of the cleaned surface as well as more detailed chemical analyses of smoke gases and substance residues on the cleaned surface.

The conclusion of this thesis is that the laser cleaning method is a feasible method for cleaning steel parts of bridges as part of the maintenance of bridges. Based on the present thesis and future follow-up studies, guidelines can be complied for worksite safety and work techniques to be used in laser cleaning of bridge sites.

Keywords: laser cleaning, sandblasting, bridge sites

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 6

2 SILTOJEN YLLÄPITO 8

2.1 Ylläpidon määritelmä 8

2.2 Ylläpidon tavoitteet 8

2.3 Vastuut ja lainsäädäntö 9

2.3.1 Ylläpitovastuut 9

2.3.2 Ylläpitoon vaikuttava lainsäädäntö 9

3 SILTOJEN KUNNONHALLINTAJÄRJESTELMÄ 10

3.1 Tarkastukset 10

3.2 Tiedon hallinta 12

3.3 Siltojen kuntoluokitus 12

3.4 Siltojen kuntoluokituksen päivitys ja kehittäminen 14

3.5 Siltojen ylläpidon kehitystoiminta 14

4 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT 15

4.1 Tutkimuksen tavoitteet 15

4.2 Tutkimuksen rajaus 16

4.3 Tutkimuksen suoritus 16

5 LASERPUHDISTUSMENETELMÄ 17

6 TUTKIMUS SILTAPAIKALLA 17

6.1 Tutkimuskohteet ja lähtötilanteet 17

6.1.1 Korian silta 17

6.1.2 Mustolan silta 20

6.2 Tutkimuksen valmistelu 22

6.2.1 Puhdistuslaitteisto, yleisesittely 22

6.2.2 Liikennejärjestelyt 25

6.2.3 Muut esivalmistelut 25

6.3 Laserpuhdistustutkimuksen suoritus 26

6.3.1 Suojaimet 26
6.3.2 Puhdistus 26
6.4 Tutkimustulokset 28
6.4.1 Pinnoitepaksuus ja pinnan kuntoarvio 28
6.4.2 Teräksen kovuus 28
6.4.3 Ultraäänimittaus 30
6.4.4 VOC-mittaukset 30
6.4.5 Työsaavutus 33
6.4.6 Puhdistustulos 33
6.4.7 Lämpötilat 35
6.4.8 Jätteen määrä 37
6.4.9 Maalianalyysit 38
6.4.10 Betonin puhdistaminen 39
7 MENETELMIEN VERTAILUA 40
7.1 Hiekkapuhallus 40
7.2 Laserpuhdistus 41
8 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT 43
LÄHTEET 46
LIITTEET 47

Liite 1. Pinnoitepaksuuden mittauspöytäkirjat
Liite 2. Kovuusmittauspöytäkirja
Liite 3. Ultraäänitarkastuspöytäkirja
Liite 4. VOC tutkimusraportti, ilmanäyte
Liite 5. VOC tutkimusraportti, materiaalinäyte
Liite 6. Maalianalyysi, raskasmetallit
Liite 7. Asbestianalyysi
Liite 8. PCB analyysi

1 JOHDANTO

Suomessa on Väyläviraston omistuksessa yli 15 000 maantiesiltaa ja n. 2500 rautatieympäristössä olevaa siltaa. Näiden siltojen ylläpidosta vastaa joko Väylävirasto suoraan tai alueelliset ELY-keskukset paikallisesti. Väyläviraston siltojen lisäksi on myös kuntien ja joidenkin muiden organisaatioiden kuten teollisuuslaitosten omistamia siltoja. Nämä mukaan lukien siltamäärä Väyläviraston ylläpitämässä Taitorakennerekisterissä (TREX) nousee yli 22 000 sillan (Taitorakennerekisteri 2023). Lisäksi yksityisessä omistuksessa, kuten esimerkiksi tiekunnilla, on paljon siltoja, joiden tietoja ei ole Taitorakennerekisterissä.

Väyläviraston omistuksessa on tilastojen mukaan vuoden 2021 lopussa ollut noin 750 huonokuntoista siltaa, joiden kuntoluokka on joko huono tai erittäin huono (Väylävirasto 2022, 68).

Vuosittain korjauksia tehdään yli 500 sillalle, joista osa on laajoja peruskorjauksia ja osa pienempiä, kuntoa ylläpitäviä ylläpitokorjauksia (Väylävirasto 2022, 69). Määrä kuitenkin vaihtelee vuosittain, koska myös rahoituksen suuruus vaihtelee. Siltojen korjauksesta huolimatta huonokuntoisten siltojen määrä ei ole merkittävästi vähentynyt, koska uusia huonokuntoiseksi luokiteltuja siltoja tulee jatkuvasti lisää ja korjausvelka pysyy samana tai jopa kasvaa.

Yleisesti on tiedossa, että korjausmääriä pitäisi kasvattaa, mutta esteenä on rahoituksen pienuus ja resurssipula niin suunnittelupuolella kuin urakoinnissakin. Lisäksi korjaustyöt vievät aikaa, ja sen vuoksi korjauksia ei vuoden aikana voi kovin montaa suorittaa. Näiden seikkojen vuoksi on jo vuosia kehitetty erilaisia korjaustyömenetelmiä, joilla korjaustyöhön kuluvaa aikaa voitaisiin lyhentää ja samalla pienentää mahdollisesti myös kustannuksia. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan yhden tällaisen menetelmän käyttömahdollisuuksia.

Väyläviraston silloissa teräs on päärakennusmateriaalina n. 850 sillassa (Väylävirasto 2022, 50). Näiden lisäksi useimmissa silloissa on teräksestä valmistettuja osia, mm. kaiteet ja liikuntasaumalaitteet sekä joissain silloissa laakerit.

Usein teräksisissä silloissa esiintyy korjausta vaativia korroosio- tai maalivaurioita. Tällöin korjauksena on joko uusintamaalaus tai paikkausmaalaus. Kumpikin näistä vaatii maalausalustan puhdistuksen eli vanhan maalin ja ruosteen poiston korjattavalta alueelta. Yleisesti käytetty menetelmä maalin ja ruosteen poistossa on hiekkapuhallus.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää laserpuhdistustekniikan käyttömahdollisuuksia siltojen korjauksissa maalin ja ruosteen poistamisessa. Tarkoituksena on tuottaa tietoa, miten laserpuhdistus soveltuu teräksisten siltojen maalipinnan poistoon uusinta- tai paikkausmaalauksen yhteydessä. Lisäksi laserpuhdistusta on tarkoitus vertailla nykyisin käytössä oleviin menetelmiin, etenkin yleisimpään puhdistusmenetelmään, hiekkapuhallukseen.

Tutkimus laserpuhdistuksen käytöstä siltarakenteiden maalinpoistossa sai alkunsa Kaakkois-Suomen Ely-keskuksen aloitteesta. Useissa korjauskohteissa on ollut ongelmana, ja aikaa vieneenä työvaiheena, puhallushiekan poisto esimerkiksi telineiltä. Jos hiekkaa ei poisteta, se hyvin nopeasti aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta telineille. Lisäksi maalijätepitoisen hiekkapölyn leviämisen estäminen ympäristöön on yleensä ollut haasteena. Korjattava silta on jouduttu huputtamaan kokonaan pölyn leviämisen estämiseksi.

Kyseisiä ongelmakohtia on opinnäytetyön tekijä joutunut pohtimaan nykyisen työn kautta jo vuosia niin suunnittelijan kuin myös töiden valvojan ominaisuudessa. Tässä opinnäytetyössä pyritään hyödyntämään työn tekijän kokemusta erilaisista sillankorjauskohteista.

Tietoa laserpuhdistuksesta kerättiin kenttäkokeilla, jotka tehtiin opinnäytetyön pohjaksi vuoden 2022 marraskuussa ja vuoden 2023 syyskuussa. Opinnäytetyöstä ja kenttäkokeista saatua tietoa on tarkoitus käyttää työn tilaajan, Kaakkois-Suomen Ely-keskuksen sekä Väyläviraston mahdollisten jatkotutkimusten pohjana.

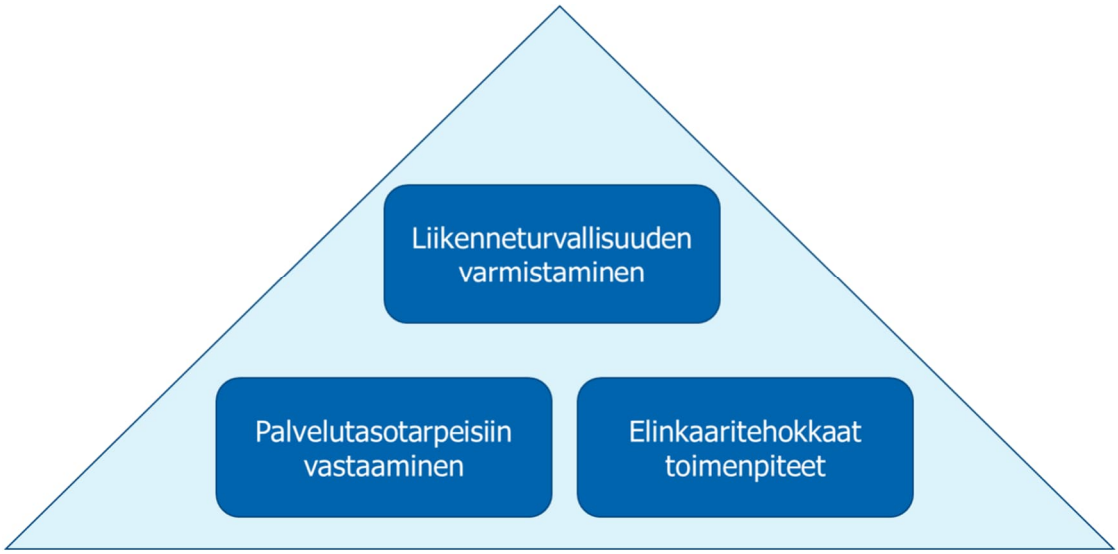
2 SILTOJEN YLLÄPITO

2.1 Ylläpidon määritelmä

Ylläpidoksi käsitetään yleisesti toimia, joilla siltaa tai muuta rakennetta korjataan ja rakenteen kunto palautetaan alkuperäiseksi tai vähintään turvallisesti toimivaksi. Ylläpitotoimiin kuulu suuri joukko eriasteisia toimenpiteitä, joilla rakenteen kuntoa seurataan ja pidetään yllä. Ylläpitoon kuuluvia ovat mm. yleistarkastukset, erikoistarkastukset, säilyvyyttä ylläpitävät hoitotoimenpiteet, ylläpitokorjaukset yksittäisille vaurioille ja peruskorjaukset. Lisäksi ylläpitoon lasketaan kuuluvaksi rakenteen elinkaaren hallinta. (Väylävirasto 2015, 15.)

2.2 Ylläpidon tavoitteet

Siltojen omaisuuden hallinnassa on Väyläviraston toimesta linjattu olevan kolme päätavoitetta, jotka on esitetty kuvassa 1. Päätavoitteet ovat liikenneturvallisuuden varmistaminen, palvelutasovaatimuksien täyttäminen ja elinkaaritehokkaat toimenpiteet, joita ovat mm. ylläpito- ja peruskorjaukset. Tärkein päätavoitteista on liikenneturvallisuuden varmistaminen. Tämä ylläpidetään mm. korjauksilla ja parantamisilla. (Väylävirasto 2023, 17.)



Kuva 1. Omaisuudenhallinnan päätavoitteet (Väylävirasto 2023)

2.3 Vastuut ja lainsäädäntö

2.3.1 Ylläpitovastuut

Pääsääntö on, että sillan omistaja vastaa sen ylläpidosta, ellei muuta ole sovittu. Tämä koskee myös yksityistiesiltoja, eli siltoja, jotka yksityistie ylittää. Paikallisesti on kuitenkin voitu sopia erikseen sillan ylläpidosta Ely-Keskuksen kanssa. Ylläpitoon ja hoitoon kuuluvat mm. tarkastukset, ylläpitokorjaukset ja peruskorjaukset sekä muut toimet, joilla silta pidetään kunnossa. (Liikennevirasto 2013, 8, 44; Liikennevirasto 2015, 15.)

2.3.2 Ylläpitoon vaikuttava lainsäädäntö

Siltojen ja muiden taitorakenteiden sekä väylänpidon ylläpitoa ohjaavat monet lait. Keskeisin laki on Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 23.6.2005/503. Tämä tunnettiin aiemmin nimellä Maantielaki. Nimi on muutettu 13.7.2018. Kyseisessä laissa määritellään ylläpidosta vastaavat tahot, määrätään liikennejärjestelmien ja rakenteiden suunnittelusta, tieliikenneturvallisuuden hallinnasta, määritetään mm. maantien määritelmä ja määrätään alueiden hankkimisesta ja hallinnasta. (Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 23.6.2005/503.)

Seuraavassa on luettelo tärkeimmistä ylläpitoa määrittelevistä ja siihen liittyvistä laeista (Väylävirasto 2015, 16; FINLEX s.a.):

- Laki Väylävirastosta 13.11.2009/862
- Maankäyttö – ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki) 5.2.199/132
- Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 23.6.2005/503
- Raideliikennelaki 28.12.2018/1302
- Vesilaki 27.5.2011/587
- Vesiliikennelaki 19.6.2019/782
- Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527
- Luonnonsuojelulaki 5.1.2023/9
- Jätelaki 17.6.2011/646
- Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.

3 SILTOJEN KUNNONHALLINTAJÄRJESTELMÄ

3.1 Tarkastukset

Siltojen ja myös muiden taitorakenteiden kuntoa seurataan koko niiden elinkaaren ajan. Ajantasaista tietoa kerätään eriasteisilla tarkastuksilla, joiden tulokset tallennetaan Taitorakennerekisteriin (TREX) seurantaa ja toimenpiteitä varten. Tietoja käytetään hyödyksi mm. siltojen korjausten ohjelmoinnissa. Tarkastukset ja niistä saatu tieto ovat keskeinen osa kunnonhallintajärjestelmää. Tarkastustietojen perusteella pystytään tekemään siltojen ikääntymismalleja ja optimoimaan siltojen palvelutaso. (Miettinen, Junes, Lumme, Airaksinen & Ala-Viikari 2024, 11.)

Siltojen ja muiden taitorakenteiden tarkastusjärjestelmään kuuluu eriasteisia ja eri sykleillä tehtäviä tarkastuksia. Seuraavassa on esitetty tehtäviä tarkastuksia sekä niiden pääasiallinen sisältö ja tarkoitus. Tarkastusten sisältöä ja tarkastusprosesseja ohjataan mm. Liikenneviraston, nykyisin Väylävirasto, julkaisemassa Taitorakenteiden tarkastusohjeessa 17/2013 sekä Sillantarkastuskäsikirjassa 33/2020. Seuraava koonti tarkastuksista pohjautuu edellä mainittuihin ohjeisiin.

Vastaanottotarkastus (VOT) (nimi muutettu vuoden 2024 alusta käyttöönottotarkastukseksi KOT) on tarkastustoiminnan käynnistävä tarkastus. Tarkoituksena on saattaa lähtötiedot ja rakenteen perustiedot ajan tasalle Taitorakennerekisteriin. Lisäksi määrätään ensimmäisen yleistarkastuksen ajankohta.

Vuositarkastus (VT) on nimensä mukaisesti vuosittain tehtävä tarkastus, jossa havainnoidaan rakenteen hoidon tasoa ja eri rakenneosien kuntoa. Kirjaukset tehdään vuositarkastuslomakkeelle sähköisesti.

Yleistarkastus (YT) tehdään pääsääntöisesti n. 3–7 vuoden välein. Keskimääräinen ja yleisin tarkastusväli on 5 vuotta. Yleistarkastus on tärkein tarkastus kunnonseurannassa ja toimenpiteiden ohjelmoinnissa. Havaittujen vaurioiden perusteella määritellään

seuraavan tarkastuksen tyyppi ja ajankohta. Lisäksi voidaan ehdottaa eri asteisia ja laajuisia ylläpitokorjauksia. Tarkastuksesta saadut tiedot kirjataan sähköisesti Taitorakennerekisteriin. Tarkastuksen yhteydessä myös sillan tietojen oikeellisuus tarkistetaan.

Laajennettu yleistarkastus (LYT) tehdään esim. suurille vesistösilloille ja erikseen määrätyille silloille. Laajennetussa yleistarkastuksessa tehdään rakenteelle joitakin tutkimuksia, joita ovat mm. betonipeitemittaus, kloridipitoisuuksien määritys ja halkeamakartoitus. LYT-siltojen tarkastusväli on joka toinen tarkastus eli n. 10 vuotta.

Erikoistarkastus (ET) tehdään rakenteen kunnon tarkemmin selvittämiseksi esimerkiksi peruskorjauksen lähtötiedoksi. Erikoistarkastus tehdään yleensä yleistarkastuksen perusteella, missä yleistarkastaja on esittänyt seuraavaksi tarkastukseksi erikoistarkastusta. Tarkastuksessa tehdään muiden tarkastusten lisäksi aineita rikkovia tutkimuksia, joita ovat mm. ohuthieet, kloridimittaukset, betonin vetolujuuskokeet ja muutamat muut laboratoriossa tehtävät tutkimukset. Erikoistarkastuksesta laaditaan yksityiskohtainen tarkastusraportti, joka muiden tarkastuskirjausten ohella viedään taitorakennerekisteriin. Erikoistarkastuksilla ei ole määrättyä tarkastussykliä, vaan tarkastuksen ajoitus riippuu rakenteen kunnosta.

Tehostettu tarkkailu (TT) mahdollistaa rakenteen laskennallisen kantavuuden ylittämisen. Usein tehostetun tarkkailun yhteydessä käytetään myös rakenteen monitorointia erilaisin mittalaittein. Tehostettua tarkkailua käytetään useimmiten silloin, kun rakenne aiotaan käyttää loppuun.

3.2 Tiedon hallinta

Kaikki tarkastuksista saatu tieto raportteineen tallennetaan Väyläviraston ylläpitämään Taitorakennerekisteriin (TREX). Tarkastustietojen lisäksi taitorakennerekisterissä on siltojen ja muiden taitorakenteiden yksityiskohtaiset tiedot ja koko elinkaarihistoria.

Taitorakennerekisterin tietojen perusteella voidaan laatia erilaisia elinkaarimalleja ja seurata kunnon kehittymistä erilaisten kuntoa kuvaavien tunnuslukujen avulla. Näiden tunnuslukujen ja muiden rekisterissä olevien tietojen avulla elinkaarikustannuksia voidaan hallita optimaalisesti. (Miettinen, ym. 2024, 10.)

3.3 Siltojen kuntoluokitus

Tarkastuksista saatua tietoa käytetään siltojen kunnon seurantaan, vaurioiden kehittymisen seurantaan, korjausten ohjelmointiin, liikenneturvallisuuden ylläpitoon sekä kustannusten hallintaan oikein ajoitettujen toimenpiteiden kautta. Apuna käytetään kuntoluokitusta. (Miettinen, ym. 2024, 11, 14.)

Seuraavalla sivulla on esitetty taulukko, jossa on esitetty viisiportaisen kuntoluokituksen perusteita. Taulukossa LYK tarkoittaa laskettua yleiskuntoa, joka tulee taitorakennerekisteristä laskennallisen kaavan avulla. YK tarkoittaa yleiskuntoa, joka on tarkastajan antama arvio rakenteen yleiskunnosta.

Taulukossa 1 esitetty kuntoluokitus on perustana sillan ja muiden taitorakenteiden kunnon määrittämiselle. Rakennekohtaisesti kunnon kuvauksessa on pieniä eroja, mutta pääpiirteittäin kukin kuntoluokka määräytyy samoilla perusteilla. Taitorakennerekisteri laskee kuntoluokan tunnusluvun tarkastajan vauriokirjausten perusteella.

Taulukko 1. Siltojen kuntoluokitus (Miettinen, Junes, Lumme, Airaksinen & Ala-Viikari 2024, 14)

Kuvaus kunnosta	Luokitteluperusteet		
	Varsinaiset sillat	**Putkisillat**	**Rautatiesillat**
5 ERITTÄIN HYVÄ Uusi tai lähes uuden veroinen silta.	LYK = 0,00–0,50 ja YK = 0	LYK = 0,00–0,50 ja YK = 0	LYK = 0,00–0,50 ja YK = 0
4 HYVÄ Hyväkuntoinen silta, jossa on normaalia kulumista ja ikääntymistä. Sillan yleiskunto voi olla hyvä, vaikka jonkin päärakenneosan kuntoarvio on tyydyttävä tai huono.	LYK = 0,51–1,25 tai YK = 1 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 0,51–1,25 tai YK = 1 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 0,51–1,25 tai YK = 1 eikä kumpikaan huonompi
3 TYYDYTTÄVÄ On jo puutteita ja vaurioita, kuten rapautumista tai ruostumista, mutta korjaamista voidaan vielä siirtää. Yleiskunto voi olla tyydyttävä, vaikka jonkin päärakenneosan kuntoarvio olisikin huono tai erittäin huono.	LYK = 1,26–2,00 tai YK = 1,5–2,5 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 1,26–2,00 tai YK = 1,5–2,5 tai jompikumpi on huonompi, mutta teräsputkessa ei ole vaurioluokan 4 korroosiovauriota.	LYK = 1,26–2,00 tai YK = 1,5–2,5 eikä kumpikaan huonompi
2 HUONO Useita selvästi havaittavia korjausta vaativia vaurioita tai jokin yksittäinen vakava vaurio. Erikoistarkastuksen ja peruskorjauksen tarve on ilmeinen.	LYK = 2,01–2,75 tai YK = 3 eikä kumpikaan huonompi tai kansilaatan vesivuotovaurio vaurioluokassa 4 tiellä, jota ei suolata	LYK = 2,01–3,25 tai YK = 3–3,5 eikä kumpikaan huonompi ja teräsputkessa on vaurioluokan 4 korroosiovaurio	LYK = 2,01–2,75 tai YK = 3 eikä kumpikaan huonompi tai kansilaatan vesivuotovaurio vaurioluokassa 4
1 ERITTÄIN HUONO Silta on täydellisen peruskorjauksen tai jopa uusimisen tarpeessa. Kunto ei ole hyväksyttävissä. Vaurioita on niin paljon, että pelkästään niiden kirjaaminen on työlästä.	LYK = 2,76–4,00 tai YK = 3,5–4 tai kansilaatan vesivuotovaurio vaurioluokassa 4 tiellä, jota suolataan	LYK = 3,26–4,00 tai YK = 4	LYK = 2,76–4,00 tai YK = 3,5–4

3.4 Siltojen kuntoluokituksen päivitys ja kehittäminen

Tiedon määrän kasvaessa ja laadun kehittyessä on myös kuntolukujen laskennan ja tulkinnan kehityttävä. Aiheesta ovat Miettinen, H., Junes, J., Lumme, E., Airaksinen, M. & Ala-Viikari, R. tehneet vuonna 2024 projektiraportin ”Siltojen kuntoluokituksen kehittäminen”, joka on julkaistu Väyläviraston julkaisuja – sarjassa numerolla 13/2024.

Edellä mainitun projektin tavoitteena oli kartoittaa kuntoluokituksen nykytilanne ja selvittää mahdollisia vaihtoehtoja siltojen kunnonhallinnan kuntoluokitukselle ja sen kehittämiselle kuvaamaan sillan kuntoa ja turvallisuutta mahdollisimman hyvin (Miettinen, Junes, Lumme, Airaksinen, & Ala-Viikari, 2024, 17).

Projektin seurauksena kuntolukuihin on tulossa vuoden 2024 alussa joitakin muutoksia. Muutoksia tulee mm. kuntolukujen laskentakaavoihin sekä kunnonseurannassa otetaan käyttöön uusia kuntolukuja. Näitä uusia kuntolukuja ovat suhteellinen kuntoluku ja turvallisuuden kuntoluokka. (Miettinen, ym. 2024, 37–56).

3.5 Siltojen ylläpidon kehitystoiminta

Siltojen ylläpitokorjauksia on pyritty kehittämään vuosien saatossa ohjeistuksien ja useiden erilaisten tutkimuksien avulla. Kehittämistä on tehty niin työmenetelmissä kuin materiaaleissa. Eräs tällainen laajempi tutkimus on tehty vuonna 2008, Sillan peruskorjauksen nopeuttaminen, Tiehallinnon selvityksiä 11/2008. Kyseisessä selvityksessä on käyty läpi sillan jokainen rakenneosa ja niihin liittyvät korjauksen vaiheet sekä mahdolliset kehitysehdotukset ja - tarpeet.

Myös tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia uuden korjausmenetelmän käyttöä osana korjausten kustannustehokasta kehittämistä.

4 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT

Tällä hetkellä yleisimmin teräspinnan maalin ja ruosteenpoistossa on käytössä hiekkapuhallus. Pienemmissä kohteissa, joissa pinta-alat ovat pieniä, käytetään myös teräsharjausta.

Hiekkapuhallus on erittäin käyttökelpoinen menetelmä ja ammattitaitoista työvoimaa sekä kalustoa on runsaasti tarjolla. Puhdistustulos on useimmiten hyvää luokkaa ja maalausalusta on sopiva useimmille maalityypeille ja maalausjärjestelmille. Ongelmana on yleisesti hiekan kertyminen esim. telinetasoille ja pölyn leviäminen ympäristöön. Kohteet joudutaan yleensä huputtamaan pölyn leviämisen estämiseksi. Pöly saattaa sisältää maalijäämiä ja myös raskasmetalleja, joten pölyn talteenotto ja leviämisen estäminen on tärkeää.

Nyt tarkastelun kohteena olevasta laseriin perustuvasta puhdistusmenetelmästä toivotaan, ainakin joissain kohteissa, näihin ongelmiin ratkaisua.

4.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia laserpuhdistusmenetelmän etuja ja haittoja verrattuna yleisimmin käytössä olevaan puhdistusmenetelmään eli hiekkapuhallukseen. Tutkimuksessa keskityttiin tutkimaan laserpuhdistuksen toteutukseen kuluvaa aikaa, käytännön toimenpiteitä sekä erilaisia mitattavia asioita tutkimuskohteesta. Näitä mitattavia suureita olivat muun muassa lämpötilat, puhdistustulos, jätteen määrä, jne. Myös muita esille tulevia ongelmakohtia pyrittiin selvittämään.

Tutkimuksella haluttiin myös selvittää laserpuhdistuksen kustannuksia niin laitteiston hankinnan osalta kuin itse työn suorittamisen osalta. Osittain työn kustannuksiin vaikuttaa myös työhön kuluva aika, jota koekohteessa seurattiin.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli koota uutta tietoa käytettäväksi jatkotutkimuksissa ja määrittää, mitä jatkotutkimuksia mahdollisesti tarvitaan, sekä tuottaa saatujen tietojen pohjalta ohjeistusta laserpuhdistuksen suorittamiseen.

4.2 Tutkimuksen rajaus

Tehdyssä kenttätutkimuksessa ei voitu tehdä kohdekohtaista vertailua hiekkapuhalluksen ja laserpuhdistuksen välillä. Hiekkapuhallukseen liittyvät suureet on haettu erilaisista kirjallisista lähteistä, mm. Väyläviraston SILKO-ohjeista, sekä apuna on käytetty aikaisempia kokemuksia hiekkapuhalluksesta.

Laserpuhdistetusta teräspinnasta ei kenttäkokeessa voitu tehdä kemiallista analyysia mahdollisesti pintaan jääneistä ainejäämistä. Tämä onkin yksi suositeltava tutkimus jatkotutkimuksissa ja kenttäkokeissa. Koe voidaan suorittaa esimerkiksi standardin mukaisena pyyhkäisykokeena.

Yhtenä tarkoituksena kenttäkokeessa oli myös puhdistetun kohdan maalauksen vetokoetesti, mutta syksyn 2022 sääolosuhteet olivat sellaiset, että maalausta ei voitu tehdä virallisen maalausjärjestelmän vaatimusten mukaan. Puhdistettu kohta paikkausmaalattiin käsin pohjamaalilla. Tästä pinnasta ei ollut tarkoituksenmukaista tehdä vetokoetta.

Laserpuhdistukseen käytetty aika (aika/neliömetri) sekä puhdistusteho ja -tulos perustuvat vain nyt tehtyyn, syksyn 2022, kenttäkokeeseen ja siinä käytettyyn laserpuhdistuskoneeseen ja senhetkisiin säätöarvoihin. Toisenlaisella laitteella ja toisilla säätöarvoilla tulokset saattavat poiketa nyt saaduista tuloksista. Tämän vuoksi tarvitaan vielä lisää tutkimuksia ja kenttäkokeita erilaisilla laite- / tehoyhdistelmillä laajemman aineiston saamiseksi.

4.3 Tutkimuksen suoritus

Laserpuhdistuksen soveltuvuutta ei toistaiseksi ole tutkittu Suomen siltakohteissa. Tämän vuoksi sovittiin tämän opinnäytetyön tilaajan, Kaakkois-Suomen ELY-Keskuksen, kanssa, että soveltuvuutta ja käytäntöjä tutkittaisiin kenttäkokeella. Koe oli tarkoitus suorittaa sillalla, jossa olisi maali- ja ruostevaurioita. Tällainen silta oli Korian silta Kouvolassa ja myöhemmässä vaiheessa Mustolan silta Lappeenrannassa.

Kenttätutkimus suoritettiin Korian sillalla marraskuussa 2022. Lisäksi tehtiin toinen, pienempi kenttäkoe, Mustolan sillan laakereille syyskuussa 2023.

5 LASERPUHDISTUSMENETELMÄ

Tässä opinnäytetyössä ei tarkasteltu tarkemmin lasertekniikoiden teoriaa. Työssä keskityttiin pääsääntöisesti laserpuhdistuksen soveltuvuuteen siltakohteissa ja saamaan selville, mitä lisätutkimuksia vielä tarvittaisiin.

Yleisiä laserpuhdistuslaitetyyppejä ovat mm. pulssilaserit ja jatkuvatoimiset kuitulaserit. Näistä on olemassa monia eri valmistajakohtaisia sovellutuksia. Tämän työn koekohteissa käytettiin jatkuvatoimista laseria eli CW-laseria (CW = continuos wave). Laserpuhdistuslaitteisto kuuluu laserluokkaan 4, mikä on korkein laserluokka. Se on tehokkain ja vaarallisin laserluokka.

Laserin puhdistusteho perustuu äkilliseen lämpö- ja energiapulssiin, joka kohdistuu pienelle alueelle aiheuttaen esim. metallin pinnalla olevan maalin, pinnoitteen tai lian irtoamisen ja osittaisen höyrystymisen (Suutari 2023). Laserpisteessä energiatiheys voi olla 2070 kW/cm^2 (Wang ym. 2022).

Yleensä laserpuhdistus ei ole tulityötä, koska lämpötila ei nouse tulityötä edellyttävälle tasolle (>500 ºC). Kuitenkin joissain olosuhteissa pinnan laadun vuoksi saattavat tulityön kriteerit täyttyä, kuten myöhemmin tämän työn yhteydessä tehdyssä koekohteessa havaitaan. Lisäksi nyt käytetyillä mittausmenetelmillä ei pystytty havainnoimaan laserpisteen hetkellistä energiapulssin maksimilämpötilaa.

6 TUTKIMUS SILTAPAIKALLA

6.1 Tutkimuskohteet ja lähtötilanteet

6.1.1 Korian silta

Kenttäkoe 1 suoritettiin marraskuussa v. 2022 Korian sillalla (KaS-936), Kouvolassa. Silta sijaitsee Kouvolassa Korian taajamassa, kohdassa, missä se ylittää Kymijoen maantiellä 364.

Silta on rakennettu v. 1984. Silta on tyypiltään teräksinen jatkuva palkkisilta, teräsbetonikantinen ja liittorakenteinen (Tjpbl). Sillan kokonaispituus on 154 m ja hyödyllinen leveys 13 m. Sillan jännemitat ovat 36 + 72 + 36 m.

Sillan maatukina toimivat massiiviset teräsbetonituet, jotka on perustettu kaivinpaalujen varaan. Välitukina toimivat pilarituet, jotka on perustettu kallionvaraisille anturoille. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty sillan rakenteita yleiskuvien avulla.

Kuva 2. Yleiskuva Korian sillasta. Kuvassa silta on vasemmanpuoleisin. (Taitorakennerekisteri 2023.)

Kuva 3. Yleiskuva sillan alta teräsrakenteista

Sillalle on tehty erikoistarkastus v. 2018, jossa sillan kuntoluokaksi on määritetty tyydyttävä (3). Merkittävimmät vauriot sillassa ovat pääkannatinpalkkien korroosiovauriot. Lisäksi korroosiovaurioita on myös muissa teräksisissä rakenneosissa. (Taitorakennerekisteri 2023.)

Viimeisimmän erikoistarkastuksen suoritti sillalle Ramboll vuonna 2018. Sen mukaan sillan teräsosien maalausjärjestelmä ei ole ylimaalauskelpoinen. Pintamaalina on käytetty kloorikautsu- tai vinyylimaalia. (Ramboll 2018.) Sillan piirustuksien mukaan pintakäsittely on tehty Sillanrakennustöiden yleisten työselitysten 3800 (SYT 3800), 1982 mukaan rasitusluokan M3 vaatimuksia vastaavaksi.

Kenttäkokeen aikana koekohdasta mitattiin maalin kuivakalvon paksuus ehjästä maalikohdasta kalvonpaksuusmittarilla. Mittaus tehtiin palkin alalaipan alapinnasta, jossa maalikalvon paksuuden keskiarvoksi saatiin 238 µm. Rakennusaikainen kuivakalvon kokonaispaksuusvaatimus on ollut 200 µm.

Ennen kenttäkokeen varsinaista suorittamista tehtiin koekohdan maalipinnan kuntoarvio. Arvio tehtiin normaalin Väyläviraston yleistarkastuskäytännön mukaisesti.

Apuna käytettiin SILKO-ohjeita 1.353, 1.354, 1.355 (Väylävirasto 1986), joissa on esitetty ruostuneen teräspinnan ruostumisasteet (Ri3, Ri4, Ri5). Näiden, ja sillantarkastuskäsikirjan perusteella (Väylävirasto 2020), maalatun pinnan vaurioluokka määritettiin luokkaan huono (3). Kuvassa 4 on esitetty pinta ennen puhdistuskäsittelyä. Ruostumisaste vaihtelee eri kohdissa välillä Ri4 - Ri5.

Samaan johtopäätökseen oli tultu myös vuonna 2018 tehdyssä erikoistarkastuksessa (Taitorakennerekisteri 2023).

Kuva 4. Koekohdan ruostunut palkin alalaippa. Vaurioluokka 3.

6.1.2 Mustolan silta

Kenttäkoe 2 suoritettiin syyskuussa v. 2023 Mustolan sillalla (KaS-725), Lappeenrannassa. Silta sijaitsee Lappeenrannan Mustolassa, kohdassa, missä se ylittää Saimaan kanavan.

Silta on rakennettu v. 1967. Silta on päätyypiltään teräksinen läppäsilta, ja se on teräsbetonikantinen (Tläppäb). Yksi aukoista on läppäsilta. Muut aukot kuuluvat kiinteään siltaosaan, joka on tyypiltään teräsbetoninen jatkuva kotelopalkkisilta. Sillan kokonaispituus on 92,25 m ja hyödyllinen leveys 7 m. Sillan jännemitat ovat 18,3+ (1,35) + 19,27 + 19,5 + 19,27 m.

Sillan maatukina (3 kpl) toimivat massiiviset teräsbetonituet, joista läppäosan viereiset on perustettu kallionvaraisesti ja kotelopalkkiosan päässä oleva maatuki on perustettu teräsbetonipaalujen varaan. Välituet ovat suorakaiteen muotoisia pilaritukia, jotka on perustettu kallionvaraisille anturoille.

Laserpuhdistusmenetelmän koekohteena olivat kotelopalkkisillan teräksiset rullalaakerit sillan koillispäässä. Koe suoritettiin vain sillan toisessa päässä.

Tässäkin kohteessa, ennen kenttäkokeen varsinaista suorittamista, tehtiin koekohdan maalipinnan kuntoarvio. Arvio tehtiin normaalin Väyläviraston yleistarkastuskäytännön mukaisesti.

Sillantarkastuskäsikirjan perusteella (Väylävirasto 2020) laakerien maalatun pinnan vaurioluokka määritettiin luokkaan huono (3). Kuvassa 7 on esitetty laakerin pinta ennen puhdistuskäsittelyä.

Samaan johtopäätökseen oli tultu myös vuonna 2022 tehdyssä laajennetussa yleistarkastuksessa (Taitorakennerekisteri 2023). Kuvissa 5…7 on esitetty sillan rakenteita yleiskuvien avulla ja koekohteena olevat laakerit.

Kuva 5. Yleiskuva Mustolan sillasta. Vasemmalla läppäsiltaosa ja oikealla kotelopalkkisiltaosa.

Kuva 6. Yleiskuva sillan alta

Kuva 7. Laakerit maatuella 5 ennen puhdistuskäsittelyä

6.2 Tutkimuksen valmistelu

6.2.1 Puhdistuslaitteisto, yleisesittely

Laserpuhdistukseen tarvittava laitteisto kulkee kätevästi normaalissa pakettiautossa ja hinattavassa aggregaattivaunussa. Laserpuhdistuskone voi työn aikana olla pakettiauton sisällä. Auton on kuitenkin päästävä riittävän lähelle puhdistettavaa kohdetta, koska puhdistuspistoolille tuleva kaapeli on n. 15 m pitkä. Markkinoilla on saatavilla myös pidempiä kaapeleita, jota soveltunevat paremmin siltakohteisiin.

Aggregaattina on käytettävä riittävän tehokasta ns. voimavirta-aggregaattia, jonka jännite on 380 V.

Itse laserpuhdistuslaitteistona näissä kohteissa käytettiin ”SLP Laser” -merkkistä laitteistoa. Laite on esitetty kuvissa 8–11. Sen maksimipuhdistusteho on 2000 W. Laserlaitteisto kuuluu laserluokkaan 4.

Kyseinen laite on vesijäähdytteinen, jatkuvatoiminen laser. Jäähdytysvesi on säiliössä koneen sisällä, ja vaikka vettä käytetään jäähdytykseen, on se lämmitettävä tiettyyn lämpötilaan, ennen kuin kone käynnistyy. Kyseinen toiminto on automaattinen, ja se kestää muutamia minuutteja, kunnes käyttölämpötila on saavutettu. Tämän jälkeen kone on periaatteessa käyttövalmis.

Kuitenkin ennen puhdistuksen aloitusta koneen eri parametrit säädetään vastaamaan puhdistettavaa kohdetta, jotta puhdistustulos saadaan mahdollisimman hyväksi ja työsaavutus tehokkaaksi. Säätöarvojen asettaminen sopiviksi

perustuu pitkälti koneenkäyttäjän tietoon ja kokemukseen erilaisista puhdistettavista pinnoista. Säädettäviä arvoja ovat mm. teho, lasersäteen heilahduspituus ja –leveys sekä heilahdusnopeus. Arvojen säätö onnistuu kätevästi digitaalisesta ohjauspaneelista, kuva 11.

Kuva 8. Laserlaitteisto mahtuu hyvin pakettiautoon

Kuva 9. Käyttöpaneeli

Kuva 10. Käyttöpaneelin näyttö

Kuva 11. Kosketusnäytöltä säädettäviä arvoja

Varsinaisen lasersädettä tuottavan laitteen lisäksi tarvitaan siihen liitettävä puhdistuspistooli, kuva 12. Se kytkeytyy laserlaitteistoon yhdistelmäkaapelin välityksellä. Kaapeliryhmässä kulkevat valokaapeli laseria varten, paineilma- ja vesijäähdytysputket sekä tarvittaessa muita anturikaapeleita. Itse pistoolissa on vaihdettava linssi, jossa lasersäde muokataan oikeaan muotoon. Muoto voi olla viuhkamainen tai ympyrä. Pistoolin kahvassa on vain yksi käyttönappi, josta ohjaus tapahtuu, joten puhdistuskohteessa käyttö on yksinkertaista. Kuvassa 12 on suora pistoolimalli. Pistooleja on tarjolla erimuotoisia mm. enemmän perinteisen pistoolin kaltainen ”taitettu” malli.

Kuva 12. Puhdistuspistooli.

6.2.2 Liikennejärjestelyt

Kummassakin tutkimuskohteessa liikennejärjestelyt voitiin tehdä melko kevyillä järjestelyillä. Korian kohteessa järjestelyt tehtiin kevyenliikenteen väylää kaventamalla ja Lappeenrannan kohteessa toinen ajokaista sulkemalla väistämisjärjestelyin.

6.2.3 Muut esivalmistelut

Korian kohteeseen käytiin etukäteen rakentamassa alumiiniputkitelineet, joilta työkohteeseen päästiin esteettä. Telineen osa, jolla lasertyöskentelyä tehtiin, suojattiin vaalealla kuitukankaalla mahdollisten lasersäteen heijastumien vuoksi, jotta ne eivät etenisi työalueen ulkopuolelle.

Sekä hiekkapuhdistuskalusto että myös laserpuhdistuskalusto vaativat tilaa laitteistoille kohteen vierestä. Kuitenkin laserpuhdistuskalusto vaatii huomattavasti pienemmän tilan kuin hiekkapuhdistuskalusto. Kalusto erotettiin liikenteenalaiselta väylän osalta sulkulamellein.

Työstä laadittiin tämän opinnäytetyön tekijän toimesta tutkimusohjelma, joka toimitettiin etukäteen tilaajalle ja laserurakoitsijalle. Työstä laadittiin myös turvallisuussuunnitelma, jossa kerrottiin lasertyöskentelyyn liittyvistä vaaratekijöistä. Suunnitelma ohjeineen ja vaatimuksineen käytiin läpi työhön osallistuvien kesken ennen työn aloittamista.

Kuva 13. Työtelineet suojauksineen (Korian kohde)

6.3 Laserpuhdistustutkimuksen suoritus

6.3.1 Suojaimet

Laserpuhdistusta suorittaessa puhdistajan ja läheisyydessä työskentelevien on käytettävä tarkoitukseen sopivia suojalaseja. Suojalasien on oltava erikoisvalmisteisia suojalaseja, jotka on tarkoitettu lasertyöskentelyyn. Laseja valittaessa on oltava tiedossa laserpuhdistuksessa käytettävän lasersäteen aallonpituus ja valittava sellaiset suojalasit, joiden suojauksen aallonpituusalue kattaa käytettävän lasersäteen aallonpituuden. Tässä kohteessa lasersäteen aallonpituus oli 1064 nm. Suojalaseja on hyvin paljon erilaisia. Saatavilla on mm. sellaisia suojalaseja, joiden suojattu aallonpituusalue on vain yksi aallonpituus tai sellaisia, joilla se on laajempi. Laserpuhdistuksessa ei saa käyttää esim. rakennusmittauksissa käytettävien tasolaserien tai vastaavien laitteiden käyttöön soveltuvia laseja. Ne eivät anna suojaa laserpuhdistuksessa käytettävältä lasersäteeltä. Lisäksi on suositeltavaa käyttää hengityssuojainta, jos puhdistuksessa syntyvää savua ei poisteta kohdeimurilla.

Edellisten lisäksi on tietenkin käytettävä normaaleja rakennustyössä käytettäviä henkilökohtaisia suojaimia, joita ovat esimerkiksi kypärä ja turvakengät, jne.

6.3.2 Puhdistus

Ennen työn aloittamista laserpuhdistuslaitteisto asetetaan lämpenemään, joka kestää n. 5–10 minuuttia. Se on täysin automaattinen toiminto.

Laserpuhdistuskaapeli pistooleineen vedetään esteetöntä reittiä pitkin puhdistuskohteeseen. Samalla on varmistuttava siitä, että kaapeli pääsee liikkumaan esteettä puhdistuksen aikana.

Kun puhdistuskone on lämmennyt ja muut valmistelut ovat kunnossa, voidaan laserin käyttö aloittaa. Kohteen olosuhteiden mukaan, voidaan ensimmäiseksi tehdä pieni koealue puhdistettavaan pintaan, jonka puhdistustuloksen perusteella laserpuhdistuslaitteen parametreja voidaan säätää kohteeseen sopiviksi.

Itse puhdistus suoritetaan tähtäämällä puhdistuspistoolilla kohteeseen n. 30–60 cm etäisyydeltä ja liikuttamalla pistoolia edestakaisin pinnalla, kunnes vaadittu puhdistustulos on saavutettu. Ylityskertojen määrä riippuu suuresti kohteen maalikerroksista, ruostumisasteesta ja kulloinkin käytettävästä laserin tehosta. Puhdistus pyritään tekemään kohtisuoraan pintaa vastaan, mutta puhdistus onnistuu myös vinossa kulmassa pintaan nähden.

Puhdistuksessa voidaan käyttää erilaisia laserin kuvioita, esimerkiksi viuhkamaista kuviota tai ympyränmuotoista kuviota, jotta saavutetaan mahdollisimman tehokas puhdistustulos. Kuvio vaihdetaan koneen asetuksista ja pistoolin linssiä vaihtamalla.

Puhdistuksen aikana todettiin, että puhdistuskohteessa, jossa joudutaan kohdistamaan puhdistussäde ylöspäin, putoaa osa maalijätteestä helposti puhdistuspistoolin linssiin aiheuttaen puhdistustehon laskua. Lisäksi linssiä on tällöin aika ajoin puhdistettava maalijätteestä. Asia voidaan korjata käyttämällä esim. työkohdekohtaista erillistä imuria tai puhdistuspistooliin integroitua imurin suutinta.

Kuva 14. Viuhkamainen lasersäde

Kuva 15. Ympyränmuotoinen lasersäde (tässä betonipinnassa)

6.4 Tutkimustulokset

6.4.1 Pinnoitepaksuus ja pinnan kuntoarvio

Maalin kuivakalvon paksuus mitattiin ehjästä maalikohdasta kalvonpaksuusmittarilla. Mittarina käytettiin ELCOMETER 456 -kalvonpaksuusmittaria. Koekohdasta, palkin alalaipan alapinnasta, maalikalvon paksuuden keskiarvoksi saatiin 238 µm. Rakennusaikainen kuivakalvon kokonaispaksuusvaatimus on ollut 200 µm. Maalikalvon paksuus täyttää siten rakennusaikaiset vaatimukset. Pinnoitteen mittauspöytäkirjat ovat liitteessä 1.

Kuten aiemmin kohdassa 6.1.1 mainittiin, tehtiin ennen kenttäkokeen suorittamista maalipinnan kuntoarvio. Arvio tehtiin Väyläviraston yleistarkastuskäytännön mukaisesti. Maalatun pinnan vaurioluokka määritettiin Korian sillan tutkimuskohteessa luokkaan huono. Kuvassa 4 on esitetty pinta ennen puhdistuskäsittelyä.

Mustolan sillan tutkimuskohteessa maalikalvon paksuutta tai kuntoarviota ei tehty erikseen. Taitorakennerekisterin mukaan laakerien pinnan kuntoarvio oli huono. (Taitorakennerekisteri 2023.) Laakerit on esitetty kuvassa 7.

6.4.2 Teräksen kovuus

Teräksen pinnasta tehtiin pistokokeina kovuusmittaukset sekä varsinaisesta siltapalkista että erillisestä testikappaleesta, jona toimi teräslevy 250 x 250 x

20 mm. Kummastakin testikohdasta tehtiin kovuusmittaus ennen laserpuhdistusta ja laserpuhdistuksen jälkeen. Lisäksi testikappaleeseen kohdistettiin voimakas pitkäkestoinen laserpuhdistus, jotta nähtiin, onko ”vääränlaisella” puhdistustavalla merkitystä teräksen ominaisuuksiin.

Mittauksen suoritti DEKRA Industrial Oy. Mittauksessa käytettiin Sonodur 3 -kovuusmittauslaitetta (Kuva 16). Seuraavassa taulukossa on esitetty saadut mittaustulokset. Kovuusarvo on esitetty yksikössä HV (Vickers-kovuus).

Taulukko 2. Kovuusarvot

		HV
Testikappale 1 (levy)	Ennen puhdistusta	164
	Puhdistuksen jälkeen	163
	Voimakas ”yli”puhdistus	174
Sillan palkin alalaippa	Ennen puhdistusta	232
	Puhdistuksen jälkeen	225

Kovuusarvoissa ei ollut merkittävää muutosta puhdistamattoman ja laserpuhdistetun pinnan välillä. Mittauspöytäkirja on esitetty erillisessä liitteessä 2.

Kuva 16. Kovuusmittauslaite

6.4.3 Ultraäänimittaus

Siltapalkin alalaipasta tehtiin laserpuhdistuksen jälkeen ultraäänitutkimus mahdollisten vaurioiden selvittämiseksi. Ultraäänitutkimuksen suoritti DEKRA Industrial Oy. Ultrauksessa käytettiin USM 35 -ultraäänimittauslaitetta.

Tarkastus tehtiin kahdessa kohdassa, joissa ei havaittu laminaarisuutta, joten voidaan olettaa, että laserpuhdistus ei aiheuta tämänkaltaisia vaurioita teräkseen. Tutkimuspöytäkirja on erillisessä liitteessä 3.

Varsinaisen rakenteen ultrauksen lisäksi ultraus tehtiin myös testikappaleesta. Myöskään testikappaleessa ei havaittu laminaarisuutta. Näiden kokeiden perusteella laserpuhdistus ei aiheuta puhdistettavaan kohteeseen ultraäänitutkimuksessa havaittavia vaurioita.

Kuva 17. Testikappale

6.4.4 VOC-mittaukset

Korian sillan koekohteessa tehtiin työskentelyalueen ilmasta sekä maalinäytteistä VOC-analyysit (Haihtuvat orgaaniset yhdisteet: VOC). Tällä pyrittiin selvittämään työskentelyalueen ilman laatua, mitä yhdisteitä puhdistustyön aikana voisi esiintyä ja mm. sitä, minkälaisia hengityssuojaimia olisi käytettävä työskentelyn aikana.

Koska kohteessa tehtiin vasta ensimmäinen kartoitus laserpuhdistuksessa syntyvistä mahdollisista VOC-yhdisteistä, suositellaan lisätutkimuksia lisäaineiston saamiseksi tarkempia määrityksiä silmällä pitäen. Kartoituksessa oli vain muutamia mittauspiteitä. Ilmanäytteitä otettiin laserpuhdistuksen aikana kankaalla suojatun työtelineen lattialta, puhdistustyöntekijän olkapään kohdalta ja läheltä puhdistettavaa työkohdetta.

Näyte ilmasta otettiin ilmanäytteen keräyslaitteella, joka asetettiin näytteenottokohtaan määräajaksi (1 tunti). Käytännön syitten takia, läheltä laseria puhdistettavasta kohteesta näytteenottoaika, siis ilmanäytteen keräysaika, oli noin 10 minuuttia. Muissa näytteenottokohdissa ilmanäytteen keräysaika oli noin 1 tunti.

Ilmanäytteiden TVOC pitoisuudet (tolueeniekvivalenttina µg/m^3) olivat suhteellisen pieniä, jos niitä verrataan Työterveyslaitoksen tavoitetasoihin teollisten työympäristöjen yleisilmassa. (Työterveyslaitos 2012, 1.)

Teollisuusilman viitearvona käytetään 3000 µg/m^3 (Työterveyslaitos 2012, 1), joka ei ole terveysperusteinen arvo. Nyt tehdyissä ilmanäytteissä kaikki TVOC-pitoisuusarvot jäivät viitearvon alapuolelle. Kuitenkin on huomioitava, että näytteissä oli paljon tunnistamattomia yhdisteitä ja näytteiden määrä kohtuullisen pieni. Tämän vuoksi suositellaan tarkempia lisätutkimuksia.

Puhdistuksen aikana ilmaan tulee runsaasti savua, mikä jo osaltaan kertoo mahdollisista haitallisista yhdisteistä (esim. VOC-yhdisteet). Lisäksi savu vaikeuttaa ajoittain työkohteen näkyvyyttä. Savun poisto on kuitenkin mahdollista toteuttaa kohdeimurilla tai rajatun alueen yleisimurilla. Molemmat imurityypit on varustettava oikeanlaisella suodattimella, jotta haitalliset aineet saadaan poistettua ilmasta. Myös itse laserpistooliin on saatavissa pistoolin sisäinen imuri. Lisätutkimuksilla on selvitettävä myös oikeanlainen suodatin ja sopiva imurityyppi.

Maalinäytteistä tehdyissä VOC-analyyseissä TVOC-pitoisuudet vaihtelivat välillä 170–790 µg/m^{3}g. Tutkimusraportit on esitetty liitteissä 4 ja 5.

Kuva 18. Ilmanäytteen keräyslaite

Kuva 19. Ilmanäytteen keräyslaitteen sijoituspaikka telineellä

Kuva 20. Puhdistus aiheuttaa savua ilmaan

6.4.5 Työsaavutus

Korian sillan koekohteessa mitattiin karkeasti aikaa, mikä kuluu puhdistukseen. Korialla puhdistamista hidasti kylmä ilma ja alkuvaiheessa oikeiden asetusten ja tehon määrittäminen hyvän puhdistustuloksen saavuttamiseksi.

Työsaavutusta mitattiin aikaa / m^2 periaatteella. Korian kohteessa työsaavutukseksi saatiin n. 15–20 minuuttia / m^2. Nyt koekohteessa puhdistettu alue oli melko pieni, joten tarkemman työsaavutuksen määrittämiseen vaadittaisiin kohde, jossa puhdistettava alue olisi huomattavasti isompi.

Tehdyn kokeen perusteella työvuoron työsaavutus olisi noin 25–30 m^2/ työvuoro.

Työsaavutus paranee melkoisella varmuudella mitatusta, kun laserpuhdistuslaitteen asetukset saadaan kokemuksen myötä kuhunkin kohteeseen ja maalipintaan sopiviksi. Tällöin riittävä puhdistustulos saavutetaan vähemmillä laserin ylityskerroilla, minkä seurauksena työn tehokkuus kasvaa.

Lisäksi laserin eduksi on laskettava työskentelyn kokonaisaikaan vaikuttavat pienemmät esivalmistelut ja pienempi jälkisiivous verrattuna esim. hiekkapuhallukseen ja puhallushiekan poistoon työskentelyalueelta.

6.4.6 Puhdistustulos

Korian sillan koekohteessa puhdistustulokset eivät laserpuhdistuslaitteessa käytettyjen ensimmäisten asetusten kanssa olleet kovinkaan hyviä. Kuitenkin, kun asetuksia säädettiin, alettiin saada kelvollista puhdistustulosta. Tällöin päästiin arviolta vähintään puhdistusastetta Sa 2 vastaavaan tulokseen. Läheltä tarkastellen pinnassa näkyy lieviä juovia lasersäteen jättäminä. Puhdistustulokseen vaikuttavat mm. käytetty teho, laserpistoolin liikuttelunopeus, lasersäteen viuhkan liike ja lasersäteen muoto ja leveys.

Käytännössä todettiin, että karkeaksi ruostuneen (”lehtiruoste”, ”korpparuoste”) pinnan puhdistus helpottuu ja nopeutuu huomattavasti, kun pinnasta

helposti irtoava maalihilse ja ruoste kaavitaan tai petkelöidään pois ennen laserpuhdistusta. Tällainen ennakkopuhdistus tarvitsee tehdä vain pahasti ruostuneisiin kohtiin. Kaavinta tai petkelöinti on nopea tehdä, eikä sillä ole suurta vaikutusta työmenekkikokonaisuuteen, koska se tehdään oletettavasti vain pienelle alueelle. Tämä riippuu tietenkin hyvin paljon puhdistettavasta kohteesta ja sen ruostumisasteesta sekä ruostuneista pinta-aloista suhteessa kokonaisuuteen.

Kuva 21. Ensimmäiset puhdistustulokset eivät olleet kelvollisia

Kuva 22. Palkin alalaipan oikeassa reunassa parempaa puhdistustulosta asetusten säätöjen jälkeen

Mustolan sillan laakeripuhdistuksessa puhdistamista haittasi laakerin suojarasva. Laseria suunnattaessa laakerin kohtaan, jossa oli rasvaa, syttyi rasva hetkellisesti palamaan. Palaminen jatkui niin kauan, kun laseria kohdistettiin

kyseiseen kohtaan. Palamisesta aiheutui puhdistamista haittaavaa nokea laakerin pintaan.

Yleensä laserpuhdistusta ei katsota tulityöksi, mutta tässä kyseisessä tapauksessa tulityön määritelmä täyttyi. Jatkossa esim. rasvaisia laakereita puhdistettaessa on laakeri esipuhdistettava rasvasta ennen laserpuhdistuksen tekemistä esim. mekaanisesti ja liuottimen avulla. Tällaisissa tapauksissa on varauduttava tulityökäytäntöjen toteuttamiseen laserpuhdistuksen yhteydessä. Mustolan sillan laakeripuhdistuksessa kokeiltiin kahta erityyppistä lasersäteen muotoa, viuhkamaista ja ympyrän muotoista. Puhdistustulosvertailussa todettiin ympyränmuotoisen säteen tuottavan parempaa puhdistustulosta.

Laakeria puhdistettiin vastaamaan jopa suihkupuhdistusastetta Sa 2,5. Kohdissa, joissa oli ollut ruostetta, laakerin pinnassa oli puhdistuksen jälkeen mattamainen harmaa pinta. Kohdissa, joissa ei ollut ruostetta, pinta jäi kiiltäväksi, alkuperäistä sorvauspintaa vastaavaksi (ks. valokuva 23).

Kuva 23. Laakerirullan oikean puoliskon keskellä jokseenkin valmista puhdistuspintaa

6.4.7 Lämpötilat

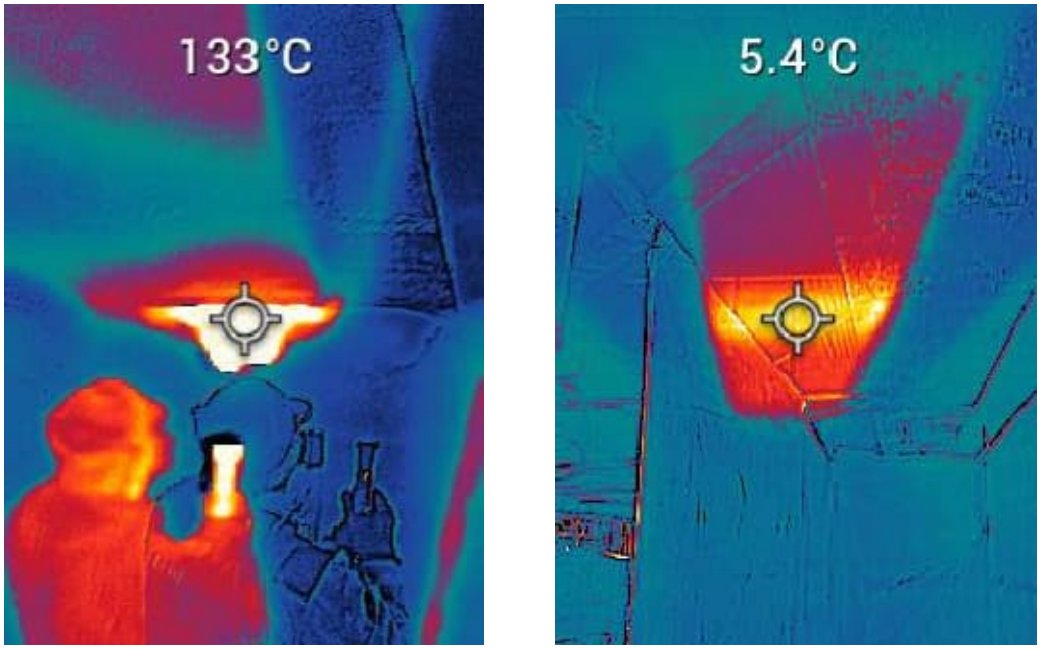
Lämpötiloja tarkkailtiin Korian koekohteessa lämpökameralla ja infrapunalämpömittarilla, Mustolan kohteessa vain infrapunalämpömittarilla.

Korian sillan palkin lämpötila ennen puhdistuksen aloittamista oli n. -6,9 ºC. Ajankohta oli myöhäinen syksy, joten puhdistusolosuhteet eivät olleet parhaat mahdolliset ajatellen puhdistetun kohdan paikkausmaalausta. Itse puhdistukseen ilman tai puhdistettavan palkin lämpötilalla ei ollut merkitystä.

Puhdistuksen aikana lämpötilat vaihtelivat suuresti johtuen lämpötila-anturin kohdistuksesta suhteessa lasersäteen kohtaan. Suurimmillaan lämpötila oli hetkellisesti n. 130–165 ºC. Heti lasersäteen ohitettua kunkin mittauskohdan lämpötila laski nopeasti ”normaaliksi”, n. 5–20 ºC:een. Pinta lämpeni siis vain hiukan lähtölämpötilaan verrattuna, eikä tällä ole rakenteen kannalta suurta merkitystä. Kuitenkin nyt käytetyillä mittausmenetelmillä ei pystytty havainnoimaan laserpisteen hetkellistä energiapulssin maksimilämpötilaa.

Mustolan sillan laakeripuhdistuskohteessa lämpötiloja mitattiin siis infrapunalämpömittarilla, jolla saatiin samansuuntaisia tuloksia kuin Korialla. Suurimmat arvot olivat tavanomaisessa puhdistuskohdassa n. 250 ºC. Kuitenkin, kuten aiemmin todettiin, aiheutti laakerin suojarasva (vaseliini) lieviä ongelmia puhdistukseen. Laseria kohdistettaessa rasvaiseen kohtaan syttyi rasva palamaan, jolloin lämpötila nousi hetkellisesti yli 500 ºC:een. Rasva sammui kuitenkin hyvin nopeasti, kun laserin vaikutus kyseiseen kohtaan loppui. Tämä korkea lämpötila ja avoliekki aiheuttavat sen, että tällaisissa kohteissa laserpuhdistus on luokiteltava tulityöksi.

Koska mitatut lämpötilat olivat tässäkin kohteessa hetkellisiä, ei laakeri lämminnyt tai kuumentunut hälyttävästi. Toisin sanoen juuri laserpuhdistettua teräspintaa voi lämpötilojen puolesta huoletta koskettaa. Kuitenkin on huomioitava palaneen rasvan kuumentuminen.



Kuva 24. Lämpökameralla kuvattu kuvapari teräspalkin alalaipan lämpötiloista puhdistuksen aikana ja heti sen jälkeen

Kuva 25. Rasvainen kohta syttyi hetkellisesti palamaan

6.4.8 Jätteen määrä

Jätteen määrää arvioitiin Korian koekohteessa silmämääräisesti. Varsinaisia punnituksia tai tilavuusmittauksia ei tehty jätteen vähäisen määrän vuoksi.

Joka tapauksessa on todettava, että maalijätteen määrä on hyvin vähäinen (ks. kuva 26), jos määrää verrataan esim. hiekkapuhallukseen, jossa maalijätteen lisäksi on ongelmajätepitoinen hiekka, mistä muodostuu pääosa poistettavasta jätteestä.

Laserpuhdistuksesta syntyvä jäte on raemaista maalijätettä, mikä on helppo esim. imuroida pois työskentelytasoilta tai jo suoraan puhdistuspistoolin läheisyydestä.

Kuva 26. Maalijätettä syntyy hyvin vähän. Tässä näkyvä jätemäärä on n. yhden neliömetrin puhdistetulta alueelta.

6.4.9 Maalianalyysit

Korian sillan koekohteessa tehtiin maalipinnasta ja maalijätteestä raskasmetallianalyysit, asbestitutkimus ja PCB-tutkimus. Näytteet otettiin maalipinnasta ja alas pudonneesta maalijätteestä.

Kuten tässä raportissa aiemmin todettiin, erikoistarkastuksessa v. 2018 on todettu, että pintamaalina on käytetty kloorikautsu- tai vinyylimaalia (Ramboll 2018).

Nyt tehdyissä maalianalyyseissä todettiin maalien sisältävän jossain määrin raskasmetalleja. Suurimmat sallittujen arvojen ylitykset olivat sinkkipitoisuuksissa. Suurimmat arvot olivat n. 81 000 mg/kg, mikä ylittää selkeästi sallitun arvon 400 mg/kg. Kuitenkin esimerkiksi lyijyn osalta ylityksiä ei ollut. Tarkemmin tutkimustulokset on esitetty liitteenä 6 olevassa tutkimusraportissa.

Asbestin ja PCB:n osalta maalit eivät sisältäneet kumpaakaan haitallisessa määrin. Tutkimustulokset on esitetty tarkemmin liitteinä 7 ja 8 olevissa tutkimusraporteissa.

Tutkimustulosten perusteella maalijäte on käsiteltävä raskasmetalleja sisältävänä jätteenä ja jätteen loppukäsittelyssä on noudatettava paikallisen jäteviranomaisen määräyksiä ja ohjeita.

6.4.10 Betonin puhdistaminen

Laserpuhdistusmenetelmä soveltuu myös betonipintojen puhdistamiseen. Siksi Korian sillan koekohteessa tehtiin rinnakkaiskokeena pieni koealue myös betonipinnalle, missä oli töhryjä.

Kokeessa todettiin laserin puhdistavan betonipintaa kohtuullisen hyvin ja nopeasti. Puhdistuksen aikana tehtiin betonipinnasta lämpötilamittauksia. Suurimmillaan lämpötila betonipinnasta oli puhdistuksen aikana n. 165 ºC ja heti puhdistuksen jälkeen noin 26 ºC.

Kuva 27. Puhdistettua betonipintaa yhdellä lasersäteen ylityskerralla

7 MENETELMIEN VERTAILUA

Seuraavassa on koottu joitakin tärkeimpiä hiekkapuhalluksen ja laserpuhdistuksen ominaisuuksia vertailua varten.

7.1 Hiekkapuhallus

Hiekkapuhallus on vanha hyväksi todettu puhdistusmenetelmä teräspinnoille. Se on kohtuullisen nopea ja varmuudella toimiva puhdistusmenetelmä. Käyttökokemuksia on useiden kymmenien vuosien ajalta. Oikein toteutettuna teräspinnalle ei aiheuteta merkittäviä vaurioita tai muutoksia. Menetelmä on kuitenkin mekaaninen, ja tällöin puhdistettavaan pintaan tulee aina lieviä muutoksia esim. hyvin lievän ”kulumisen” muodossa.

Maalausalustaksi hiekkapuhallettu pinta soveltuu yleensä erinomaisesti sopivan karhean puhdistuspintansa vuoksi. Maalin tartunta on karheaan alustaan yleensä hyvä.

Hiekkapuhallus vaatii työmaalla yleensä kohtuullisesti tilaa, koska itse puhalluslaitteisto, aggregaatti, kompressori ja hiekkalavat tai -siilo vaativat tilaa ja vapaan tilan esim. hiekkatoimituksia varten. Tarvittavan hiekan määrä riippuu suuresti puhdistettavasta pinnasta ja mm. maalikerroksista sekä vaaditusta puhdistusasteesta.

Yleensä ennen hiekkapuhallusta on puhdistettava pinta pestävä joko vesipesulla tai vedellä ja alkalisella pesuaineella. Esikäsittelynä pesu on tärkeää, koska muutoin epäpuhtaudet (esim. kloridit) jäävät kiinni pintaan hiekkasuihkun iskeminä.

Koska hiekkapuhalluksesta tulee runsaasti maalijätepitoista hiekkaa ja pölyä, on telineet mitoitettava normaalien telinekuormien lisäksi myös hiekkajätteen aiheuttamalle kuormitukselle. Lisäksi hiekkajäte on aika ajoin poistettava telineiltä ja kuljetettava maalipitoisen jätteen käsittelyyn. Myös pölyn leviäminen ympäristöön on estettävä tiiviillä huputuksella.

Henkilökohtaisia suojaimia tarvitaan normaalien suojaimien ja turvavarusteiden lisäksi hiekkapuhallussuihkun ”kimmokkeilta” suojaava vaatetus ja hiekkapuhalluskypärä, jossa on raitisilmapuhallus suodattimilla.

Hiekkapuhallukseen käytettäviä laitteistoja ja ammattitaitoista työvoimaa on runsaasti tarjolla. Hiekkapuhallinlaitteiston hankintahinta vaihtelee välillä 4000–10000 € (alv 0 %).

7.2 Laserpuhdistus

Laserpuhdistus on kohtuullisen uusi puhdistusmenetelmä. Suomessa laserpuhdistusta käytetään mm. tehtaissa erilaisten telojen ja muiden koneenosien puhdistukseen. Siltakohteissa laserpuhdistusta ei ole aiemmin käytetty.

Käyttökokemuksia on tehdasympäristössä Suomessakin muutamien vuosien ajalta, mutta maailmalla laserpuhdistusta on käytetty hieman kauemmin. Tässä opinnäytetyössä tehdyt kokeet ovat ensimmäiset siltakohteille tehdyt laserpuhdistukset Suomessa.

Silmämääräisesti tarkastellen laserpuhdistus ei kuluta perusmateriaalia, mutta poistaa lian, maalin ja muut pinnoitteet perusmateriaalia myöten. Tällä on merkitystä kohteissa, joita joudutaan puhdistamaan usein ja halutaan välttää perusmateriaalin kulumista.

Tämän opinnäytetyön yhteydessä tehtyjen koekohteiden erilaisilla testeillä ja mittauksilla pyrittiin selvittämään mm. laserpuhdistuksen mahdollisesti aiheuttamia muutoksia perusmateriaalissa. Näissä kohteissa materiaalina oli teräs.

Puhdistustulos riippuu suuresti käytettävän laserlaitteiston ohjelmistosta, asetuksista ja tehosta. Kun asetukset ovat kohdallaan, saadaan hyvä puhdistustulos. Maalausalustasta saadaan laserpuhdistuksella alkuperäistä maalausalustaa vastaava.

Tämänhetkisen tiedon mukaan puhdistettava maalipinta ei tarvitse esipesua pois lukien aiemmin mainittu rasvanpoisto. Pinnan puhtaus laserpuhdistuksen

jälkeen tulee todeta tarkemmin vielä lisätutkimuksilla ja kokeilla tulevissa kohteissa.

Laitteiston (laserpuhdistinyksikkö, aggregaatti) tilantarve työmaalla on kohtuullisen pieni verrattuna hiekkapuhalluskaluston tilantarpeeseen. Työn aikana laitteistoa tarvitsee päästä kuitenkin siirtämään enemmän kuin hiekkapuhallustyössä. Tämä johtuu laserpuhdistimen pistoolikaapelin pituudesta, joka on normaalisti vain noin 10–15 m. Pidempiäkin kaapeleita on kuitenkin saatavissa.

Kuten hiekkapuhallustakin, tarvitaan laserpuhdistusta varten työtelineet. Työtelineille ei tule kuitenkaan suurta lisäkuormitusta, koska jätteen määrä on huomattavasti pienempi kuin hiekkapuhalluksessa. Telineille vaaditaan kuitenkin vähintään näkösuojaksi asennettu huputus, mutta tämän ei tarvitse olla pölytiivis ja näkösuojahuputus voi olla siirrettävä. Näkösuojahuputus tarvitaan estämään mahdolliset lasersäteen heijastumat ja muut tahattomat suuntaukset työalueen ulkopuolelle.

Laserpuhdistuksesta saattaa tulla runsaasti savua, johon vaikuttavat mm. maalin ominaisuudet ja laserin asetukset. Savu on suositeltavaa imuroida, esim. kohdeimurilla, savukaasun puhdistus- tai suodatuslaitteistoon ennen päästämistä ympäristöön.

Henkilökohtaisia suojaimia tarvitaan normaalien rakennustyössä tarvittavien turvavarusteiden lisäksi lasersuojalasit, hengityssuojain ja mahdollisesti kuulosuojaimet. Lasersuojalasit ovat aina yksilölliset käytettävän laserin aallonpituuden mukaan.

Tällä hetkellä laserpuhdistukseen tarvittavaa kalustoa ja ammattitaitoista työvoimaa ei ole tarjolla yhtä paljon kuin hiekkapuhallukseen. Laitteistoja kuitenkin tulee koko ajan lisää ja saatavuus lisääntynee tulevaisuudessa.

Pelkän laserpuhdistuslaitteiston hankintahinta vaihtelee koneen tehon ja tyypin mukaan karkeasti välillä 50 000–150 000 € (alv 0 %). Taulukkoon 3 on koottu vertailu hiekkapuhallustyön ja laserpuhdistuksen välillä.

Taulukko 3. Vertailua kahden puhdistusmenetelmän välillä

	Hiekkapuhallus	**Laserpuhdistus**
Puhdistuslaitteen hankintahinta € (alv 0 %)	4 000 … 10 000	50 000 … 150 000
Aggregaatti	X	X
Kompressori (5–15 m^3/min)	X	
Hiekka (lavat tai siilo)	X	
Tilantarve työmaalla	Suuri	Pieni
Työkohteen valmisteluaika	Pidempi	Lyhyempi
Telineet	X	X
Tiivis huputus telineille	X	
Näkösuoja telineille		X
Rakenteen pesu ennen puhdistusta	X	
Hiekan ja jätteen poisto (jätemäärä suuri)	X	
Jätteen poisto (jätemäärä pieni)		X
Henkilökohtaiset suojaimet	X	X
Imuri mm. savukaasuille		X
Saatavuus	Hyvä	Rajallinen
Työsaavutus	*) 30–80 m^2/tv	**) 25–30 m^2/tv

*) SILKO 2.352, Väylävirasto 2008

**) Koekohteen tulos

8 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Työssä tutkittiin laserpuhdistuksen käyttömahdollisuuksia siltarakenteiden ylläpidossa. Koska laserpuhdistus on Suomessa melko uusi puhdistusmenetelmä, pyrittiin tässä työssä selvittämään laserpuhdistuksen soveltuvuutta siltakohteissa, sen haittoja ja hyötyjä sekä mahdollisia jatkotutkimustarpeita tulevaisuuden käyttöä varten.

Nykyisin yleisimmin käytössä oleva ruosteen ja vanhan maalin poistomenetelmä uusinta- ja paikkausmaalauksen yhteydessä on hiekkapuhallus. Vaikka menetelmä on hyvä ja paljon käytetty, on menetelmän yksi suurimmista haitta-

puolista maalijätepitoisen hiekan kertyminen työkohteeseen ja sen poisto. Lisäksi pölyn leviäminen ympäristöön on estettävä tiiviillä huputuksella, mikä työmaaolosuhteissa voi olla hankalaa ja kallista.

Nyt työssä tutkitusta laserpuhdistusmenetelmästä toivotaan, ainakin joissain kohteissa, käyttökelpoista ja kilpailukykyistä menetelmää, missä edellä mainitut haitat olisivat pienempiä tai niitä ei olisi lainkaan.

Työtä varten järjestettiin kaksi koekohdetta, joissa laserpuhdistusta päästiin kokeilemaan aidossa siltaympäristössä. Kohteista ensimmäinen oli Korian silta Kouvolassa, missä tutkittiin mm. työsaavutusta, lämpötiloja, pinnan kovuuksia ja savukaasujen VOC-pitoisuuksia. Toinen kohde oli Mustolan silta Lappeenrannassa, missä tutkittiin laserpuhdistuksen soveltuvuutta monimuotoisten, ja joskus hankalasti puhdistettavien, laakerien ruosteen ja maalin poistoon. Kohteessa mitattiin lämpötiloja ja arvioitiin puhdistuksen onnistumista.

Tutkimuksen tuloksena saatiin hyvin lisätietoa laserpuhdistukseen liittyvistä seikoista. Puhdistustuloksen todettiin olevan kohtuullisen hyvää, kunhan laitteiston asetukset ja säädöt kullekin pinnalle ovat sopivat. Työsaavutus ei toistaiseksi yllä aivan hiekkapuhalluksen tasolle, mutta tarkasteltaessa työmaalla puhdistustoimenpiteisiin kuluvaa kokonaisaikaa laserpuhdistus on varmasti kilpailukykyinen. Puhdistuskaluston mobilisaatio ja muut järjestelyt ovat nopeampia tehdä kuin hiekkapuhalluksessa, jossa esimerkiksi hiekan kuljetus työmaalle ja hiekan poisto työalueelta tehdään erillisenä toimenpiteenä.

Nyt tehdyissä tutkimuksissa ei havaittu laserpuhdistuksen aiheuttavan merkittäviä vaurioita teräspalkin perusaineeseen. Myöskään koekohteessa käytetylle testikappaleelle ei aiheutunut merkittäviä vaurioita.

Teräspalkin laserpuhdistuksen kenttäkokeen rinnakkaiskokeena tehtiin koealue laserin puhdistustehosta betonipintaan. Pienen koealueen perusteella on todettava laserpuhdistuksen soveltuvan hyvin myös töhryjen poistoon betonipinnalta. Tämä on varmasti yksi potentiaalinen käyttökohde laserpuhdistukselle infrarakenteissa. On tiedossa, että muutamissa kohteissa puhdistuksia on pienessä mittakaavassa jo toteutettukin.

Ratkaistavia seikkoja laserpuhdistuksessa on kuitenkin vielä useita. Niitä ovat mm. savukaasujen keräys ja käsittely, jätteen mahdollinen imurointi suoraan pistooliin liitetyllä imurilla sekä puhdistetun pinnan mahdolliset jäämät. Lisäksi laserpuhdistuksen yleistymiseen voi vaikuttaa kielteisesti, ainakin toistaiseksi, korkea laitteiston hankintahinta.

Jotta lupaavalle menetelmälle saadaan oikeanlainen ohjeistus, on tehtävä vielä lisätutkimuksia. Tutkimuksia olisi tehtävä mm. edellä mainitusta savukaasuista, missä savukaasujen tarkemmalla analyysilla selvitettäisiin mahdollisesti vaadittavat puhdistustoimenpiteet. Puhdistetun pinnan ainejäämät olisi hyvä selvittää tarkalla kemiallisella analyysimenetelmällä. Lisäksi laserin puhdistettavalle pinnalle mahdollisesti aiheuttamien muutosten tarkempi analyysi esim. röntgentutkimuksella, elektronimikroskoopilla tai vastaavalla menetelmällä olisi hyvä suorittaa tulevissa koekohteissa ja laboratoriossa.

Kaiken kaikkiaan laserpuhdistusmenetelmä on hyvin lupaava menetelmä siltakohteiden puhdistamiseen, joka ansaitsee tulla otetuksi huomioon yhtenä vaihtoehtona muiden puhdistusmenetelmien ohella.

LÄHTEET

FINLEX. Internetpalvelu. Oikeusministeriö. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/ [viitattu 2.3.2024].

Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 23.6.2005/503.

Liikennevirasto. 2013. Taitorakennerakenteiden tarkastusohje. Liikenneviraston ohjeita 17/2013. 2013. Liikennevirasto. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2013-17_taitorakenteiden_tarkastusohje_web.pdf [viitattu 28.1.2024].

Liikennevirasto. 2015. Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 26/2015. 2015. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-090-2 [viitattu 25.2.2024].

Miettinen, H., Junes, J., Lumme, E., Airaksinen, M. & Ala-Viikari, R. 2024. Siltojen kuntoluokituksen kehittäminen, projektiraportti. Väyläviraston julkaisuja 13/2024. 2024. Helsinki: Väylävirasto. Saatavissa: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-405-151-4 [viitattu 25.2.2024].

Ramboll 2018. KaS-936 Korian silta, Kouvola, Erikoistarkastusraportti. 2018. Ramboll. Saatavissa: Väyläviraston Taitorakennerekisteri (TREX). [viitattu 23.9.2023].

Sillanrakennustöiden yleinen työselitys 3800, Teräsrakenteet (SYT 3800). 1980. Tie- ja vesirakennuslaitos. Helsinki. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/132371/tie778.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 23.9.2023].

Suutari, K. 2023. Toimitusjohtaja. Haastattelut 1.8.–31.12.2023. Suomen Laserpuhdistus Oy.

Taitorakennerekisteri (TREX). 2023. Väylävirasto.

Tiehallinto. 2008. Sillan peruskorjauksen nopeuttaminen, Tiehallinnon selvityksiä 11/2008. Tiehallinto 2008. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: https://www.doria.fi/handle/10024/139402 [viitattu 3.3.2024].

Työterveyslaitos. 2012. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. Työterveyslaitos. 17.4.1012. Helsinki: Työterveyslaitos. Saatavissa: https://www.ttl.fi/filedownload/download/public/872 [viitattu 14.1.2024].

Väylävirasto. 1986. SILKO-ohjeet 1.353, 1.354, 1.355. 1986. Väylävirasto. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1353.pdf
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1354.pdf
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1355.pdf
[viitattu 23.9.2023].

Väylävirasto. 2018. SILKO-ohjeet 2.352. 2008. Väylävirasto. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio2/s2352_08.pdf [viitattu 28.1.2024].

Väylävirasto. 2020. Sillantarkastuskäsikirja, Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. Väyläviraston ohjeita 33/2020. 2020. Helsinki: Väylävirasto. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-33_sillantarkastuskasikirja_web.pdf [viitattu 23.9.2023].

Väylävirasto. 2022. Väyläviraston sillat 31.12.2021. Väyläviraston julkaisuja 53/2022. 2022. Helsinki: Väylävirasto. Saatavissa: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-991-2 [viitattu 27.4.2023].

Väylävirasto. 2023. Siltojen toimintalinjat. Väyläviraston ohjeita 9/2023. 2023. Helsinki: Väylävirasto. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-9_siltojen_toimintalinjat_web.pdf [viitattu 25.2.2024].

Wang, Q., Kainuma, S., Huo, P.& Morikawa, R. 2022. Quantitative evaluation of surface cleanliness of weathering steel treated by continuous wave laser. *Optics & Laser Technology 158 (2023)*. Saatavissa: https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108864 [viitattu 10.2.2024].

LIITTEET

Liite 1. Pinnoitepaksuuden mittauspöytäkirjat

Liite 2. Kovuusmittauspöytäkirja

Liite 3. Ultraäänitarkastuspöytäkirja

Liite 4. VOC tutkimusraportti, ilmanäyte

Liite 5. VOC tutkimusraportti, materiaalinäyte

Liite 6. Maalianalyysi, raskasmetallit

Liite 7. Asbestianalyysi

Liite 8. PCB analyysi

Mittari	
Tyyppi	Elcometer 456/4
PCB sarjanumero #	
Sarjanumero #	MC03649
Käyttäjätunnus	

Anturi	
Tyyppi	F1
Sarjanumero #	MC02223

Erä	
Käyttäjätunnus	Erä 1
Luotu pvm	18.9.2020 9:15
Ensimmäisen lukeman pvm	30.11.2022 15:05
Viimeisen lukeman pvm	30.11.2022 15:06

Sääntöjen määritys	
Tapa	ei yhtään

Huomautus

	Paksuus	Min. Skannaus	Max. Skannaus
Yläraja			
Alaraja			
Nimelliskuivakalvonpaksuus			

	Paksuus	Min. Skannaus	Max. Skannaus
# lukemaa	3	3	3
Keskiarvo	261,00 µm	0	0
Maksimi	283,0 µm	0	0
Minimi	224,0 µm	0	0
Keskihajonta	32,23 µm	0	0
+3σ	357,7 µm	0	0
-3σ	164,3 µm	0	0
Variaatiokerroin	12,3 %	0	0

Määrä	Päivämäärä ja aika	Paksuus (µm)	Min. Skannaus (µm)	Max. Skannaus (µm)	Tyyppi	Kommentti
1	30.11.2022 15:05	283,0			F1	
2	30.11.2022 15:06	276,0			F1	
3	30.11.2022 15:06	224,0			F1	

Mittari	
Tyyppi	Elcometer 456/4
PCB sarjanumero #	
Sarjanumero #	MC03649
Käyttäjätunnus	

Anturi	
Tyyppi	F1
Sarjanumero #	MC02223

Erä	
Käyttäjätunnus	Erä 2
Luotu pvm	18.9.2020 9:18
Ensimmäisen lukeman pvm	30.11.2022 15:06
Viimeisen lukeman pvm	30.11.2022 15:06

Sääntöjen määritys	
Tapa	ei yhtään

Huomautus

	Paksuus	Min. Skannaus	Max. Skannaus
Yläraja			
Alaraja			
Nimelliskuivakalvonpaksuus			

	Paksuus	Min. Skannaus	Max. Skannaus
# lukemaa	3	3	3
Keskiarvo	224,67 µm	0	0
Maksimi	244,0 µm	0	0
Minimi	190,0 µm	0	0
Keskihajonta	30,09 µm	0	0
+3σ	314,9 µm	0	0
-3σ	134,4 µm	0	0
Variaatiokerroin	13,4 %	0	0

Määrä	Päivämäärä ja aika	Paksuus (µm)	Min. Skannaus (µm)	Max. Skannaus (µm)	Tyyppi	Kommentti
1	30.11.2022 15:06	244,0			F1	
2	30.11.2022 15:06	240,0			F1	
3	30.11.2022 15:06	190,0			F1	

Mittari	
Tyyppi	Elcometer 456/4
PCB sarjanumero #	
Sarjanumero #	MC03649
Käyttäjätunnus	

Anturi	
Tyyppi	F1
Sarjanumero #	MC02223

Erä	
Käyttäjätunnus	Erä 3
Luotu pvm	18.9.2020 9:18
Ensimmäisen lukeman pvm	30.11.2022 15:07
Viimeisen lukeman pvm	30.11.2022 15:07

Sääntöjen määritys	
Tapa	ei yhtään

Huomautus

	Paksuus	Min. Skannaus	Max. Skannaus
Yläraja			
Alaraja			
Nimelliskuivakalvonpaksuus			

	Paksuus	Min. Skannaus	Max. Skannaus
# lukemaa	4	4	4
Keskiarvo	227,75 µm	0	0
Maksimi	269,0 µm	0	0
Minimi	195,0 µm	0	0
Keskihajonta	30,83 µm	0	0
+3σ	320,2 µm	0	0
-3σ	135,3 µm	0	0
Variaatiokerroin	13,5 %	0	0

Määrä	Päivämäärä ja aika	Paksuus (µm)	Min. Skannaus (µm)	Max. Skannaus (µm)	Tyyppi	Kommentti
1	30.11.2022 15:07	228,0			F1	
2	30.11.2022 15:07	195,0			F1	
3	30.11.2022 15:07	269,0			F1	
4	30.11.2022 15:07	219,0			F1	

DEKRA Industrial Oy
Tuupakankuja 1
01740 VANTAA
Tel. (09) 878 020 Fax (09) 878 6653

Kovuusmittauspöytäkirja
Hardness Test Report

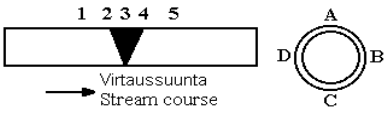
DEKRA

Pöytäkirjan nro Report No.
D212582

Tilaaja Contractor	Työnro Work No.	Asiakas Customer	Työnro Work No.
AFRY	-	AFRY	-
Laitos Station		Valmistaja, asentaja Manufacturer, installed by	Työnro Work No.
Korian silta		-	-
Tarkastuskohde Inspection object			Piirustus nro Drawing No.
Siltapalkin laserpuhdistettu kohta			-

Hitsausprosessi Welding process	Perusaine Base material	Tarkastuslaite Equipment	Tunnus ID
-	CS	Sonodur 3	PT 37
Railon muoto Welding preparation	Liitosmuoto Joint type	Tarkastuspvm Inspection date	Tarkastuspaikka Inspection place
-	-	30.11.2022	Koria

Kohteen kuvaus: / **Description:**
1. Perusaine Base material
2. HAZ
3. Hitsi Weld
4. HAZ
5. Perusaine Base material



A = 12:00 (A = ylä- tai etupuoli)
B = 03:00 (A = upper or face side)
C = 06:00
D = 09:00

Tarkastusohje Inspection procedure	Tarkastuslaajuus Extent of inspection
IP-012	Pistokoe
Laadunmääritysasiakirja Quality document	Laatuvaatimus Quality requirement
-	-

Yksikkö Unit: HV Tulokset ovat vähintään 3 mittauksen keskiarvoja. Results are averages of at least 3 measurements.

Hitsaussauma Weld	Kohta Point [A-D]	Tulokset. Results. 1						Huomautukset Remarks
Testikappale 1	ennen puhd.	164						
	kevyt puhd.	163						
	"raju" puhd.	174						
Sillan alapalkki	ennen puhd.	232						
	puhd. jälkeen	225						
Keskiarvo Ave		192						
Minimi Min		163						
Maksimi Max		232						

Kovuusmittaus suoritettu paljaalle metallipinnalle. Testikappaleessa 1 mittaustulos on kahden eri alueen keskiarvo (alueissa ei keskinäistä eroa tuloksissa). Siltapalkissa ennen puhdistusta mittaus eri kohdasta kuin puhdistuksen jälkeen.

Huomautukset Remarks
-

Liitteet Appendix **0** sivua pages

Tarkastustulokset Results of inspection
- [-] Täyttävät vaatimukset Comply with the requirements
- [-] Eivät täytä vaatimuksia Do not comply with the requirements

Tarkastaja Inspector
Kimmo Suorsa, Nordtest 7099

Pätevyys Qualification
- [-] EN ISO 9712/Nordtest Level 2
- [-] SNT-TC-1A Level 2
- [-] STUK

DEKRA Industrial Oy DEKRA Digitally Signed Certificate issuer name: GlobalSign

Pvm ja allekirjoitus Date and signature
30.11.2022 Kimmo Suorsa

Rev. 4

DEKRA Industrial Oy
Tuupakankuja 1
01740 VANTAA
Tel. (09) 878 020 Fax (09) 878 6653

Ultraäänitarkastuspöytäkirja
Ultrasonic Inspection Report

DEKRA

Pöytäkirjan nro Report No.
D212590 Rev. 0

Tilaaja Contractor	Työnro Work No.	Asiakas Customer	Työnro Work No.
AFRY	-	AFRY	-
Laitos Station		Valmistaja, asentaja Manufacturer, installed by	Työnro Work No.
Korian silta		-	-
Tarkastuskohde Inspection object			Piirustus nro Drawing No.
Siltapalkin laserpuhdistettu kohta			-

Hitsin tunnus / Hitsaaja Weld identification / Welder		Perusaine Base material	
Perusaine		CS	
Liitosmuoto Joint type	Railon muoto Welding prepar.	Seinämä Wall thickness [mm]	Halkaisija Diameter [mm]
-	-	30,00	
Pinnan laatu Surface condition	Lämpötila Temperature	Lämpökäsittely Heat treatment	
Laserpuhdistus	5°C	Ei lämpökäsittelyä	

Tarkastuslaite Equipment						Tunnus ID	Tarkistuskappale Calibration block		Tunnus ID
USM 35						PT32	V2		PT252
Luotainkulma Probe angle [°]	0						Mitta-alue Time base range	Kytkentäaine Couplant	
Tunnus ID	PT2261						0-90	Liisteri	
Taajuus Frequency [MHz]	5						Vertailukappale Reference block		Tunnus ID
Koko Size	12						Takaseinäkaiku		-
Perusvahvistus [dB] Reference level [dB]	52						Vertailuheijastaja Reference reflector		
							Takaseinä		
Siirtymiskorjaus [dB] Transfer correction [dB]	-						Arv.raja Eval. level	Rap.raja Rep. level	Hyv.raja Acc. level
							-	-	-

Laite täyttää standardin SFS-EN ISO 22232-3:2020 vaatimukset
Equipment comply with the requirements of standard SFS-EN ISO 22232-3:2020 **X**

Tarkastuspvm Insp. date	Tarkastuspaikka Place	Muut tiedot Other information
30.11.2022	Koria	-

Tarkastusohje Inspection procedure	Tarkastustaso Inspection level	Tarkastuslaajuus Extent of inspection
SFS-EN ISO 17640		Pistokoe
Laadunmääritysasiakirja Quality document		Laatuvaatimus Quality requirement
-		Ei laminaarisuutta

Tulokset Results

Tarkastettu testikappale 1 laminaarisuus. Ei laminaarisuutta.

Tarkastettu siltapalkin puhdistetulta alueelta (palkin alapinta, pituus ~2000) 2 kpl ~150x150 alueiden laminaarisuus. Ei laminaarisuutta.

Liitteet Appendix **0** sivua pages

Tarkastustulokset Results of inspection				
	X	Täyttävät vaatimukset Comply with the requirements	**-**	Eivät täytä vaatimuksia Do not comply with the requirements

Tarkastaja Inspector

Kimmo Suorsa, Nordtest 7099

DEKRA Industrial Oy — DEKRA Digitally Signed — Certificate issuer name: GlobalSign

Pätevyys Qualification
- [X] EN ISO 9712/Nordtest Level 2
- [-] SNT-TC-1A Level 2
- [-] STUK

FINAS Finnish Accreditation Service
I009 (EN ISO/IEC 17020)
(Tyyppi A / Type A)

Pvm ja allekirjoitus Date and signature

30.11.2022 *Kimmo Suorsa*

VOC-ANALYYSI ILMANÄYTTEESTÄ

Tilaaja:	AFRY Finland Oy	**Tilauspäivä:**	30.11.2022
Kohde:	KaS - 936 Korian silta	**Laboratorio:**	Kuopio
Projektinumero:		**Vastaanottopäivä:**	30.11.2022
Näytteenottaja:	Mika Lindh, Labroc Oy	**Analysointipäivät:**	5.12.2022
Näytteenottopäivät:	30.11.2022		

TULOSTEN TULKINTA

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

ANALYYSITULOKSET

Tässä tutkimusraportissa esitetyt tulokset koskevat vain testattuja näytteitä. Yhdisteiden CAS-numeroita on saatavilla laboratoriosta, tai osoitteesta https://labroc.fi/wp-content/uploads/2021/04/CAS-numerot-1.pdf.

Näyte	Näytteenottopaikka	Näytteenottoaika (min)	Näytetilavuus (l)
1	**Sillan alapalkki, läheltä laseria**	10	1.3
Ryhmä	**Yhdiste**	**Pitoisuus tolueeniekvivalenttina (µg/m³)**	**Oma vaste**
TVOC	-	110	
AROMAATTISET HIILIVEDYT	Bentseeni	23	
	Tolueeni	6	7
	Naftaleeni	5	4
	m-Ksyleeni	4	
	Etyylibentseeni	2	
ALIFAATTISET HIILIVEDYT	3-Metyleeniheptaani	7	
HALOGEENIYHDISTEET	Klooribentseeni	7	
ALDEHYDIT	Bentsaldehydi	3	
TUNNISTAMATTOMAT YHDISTEET		56 (50%)	

Näytekommentit:
Näyte sisälsi paljon erilaisia yhdisteitä pienellä pitoisuustasolla, jonka vuoksi kaikkien tunnistaminen riittävällä varmuudella on vaikeaa. Tämän takia tunnistamattomien yhdisteiden suhteellinen osuus on suuri.

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

Näyte	Näytteenottopaikka	Näytteenottoaika (min)	Näytetilavuus (l)
2	**Siltatyömaa, teline, nurkka**	60	7.9
Ryhmä	**Yhdiste**	**Pitoisuus tolueeniekvivalenttina (µg/m³)**	**Oma vaste**
TVOC	-	31	
AROMAATTISET HIILIVEDYT	Bentseeni	5	
	Tolueeni	3	3
	o-Ksyleeni	3	
	m-Ksyleeni	2	
	Naftaleeni	2	1
HALOGEENIYHDISTEET	Klooribentseeni	2	
TUNNISTAMATTOMAT YHDISTEET		13 (42%)	

Näytekommentit:
Näyte sisälsi paljon erilaisia yhdisteitä pienellä pitoisuustasolla, jonka vuoksi kaikkien tunnistaminen riittävällä varmuudella on vaikeaa. Tämän takia tunnistamattomien yhdisteiden suhteellinen osuus on suuri.

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

Näyte	Näytteenottopaikka	Näytteenottoaika (min)	Näytetilavuus (l)
3	**Henk. koht. näyte Kimmo Suutarin olkapäältä**	61	8
Ryhmä	**Yhdiste**	**Pitoisuus tolueeniekvivalenttina (µg/m³)**	**Oma vaste**
TVOC	-	87	
AROMAATTISET HIILIVEDYT	Bentseeni	15	
	Tolueeni	6	6
	Naftaleeni	5	3
	m-Ksyleeni	4	
	o-Ksyleeni	4	
	Fenyylietyyni	3	
	Styreeni	3	3
	Etyylibentseeni	1	
HALOGEENIYHDISTEET	Klooribentseeni	6	
ALDEHYDIT	Bentsaldehydi	2	
TUNNISTAMATTOMAT YHDISTEET		38 (43%)	

Näytekommentit:
Näyte sisälsi paljon erilaisia yhdisteitä pienellä pitoisuustasolla, jonka vuoksi kaikkien tunnistaminen riittävällä varmuudella on vaikeaa. Tämän takia tunnistamattomien yhdisteiden suhteellinen osuus on suuri.

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

ANALYYSIT

Ilmanäytteet kerättiin Tenax TA adsorbenttiin ja analyysit tehtiin standardin ISO 16000-6 mukaisesti kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteistolla. Yhdisteet tunnistettiin retentioaikojen sekä kirjastohaun perusteella (kirjasto NIST11) ja niiden pitoisuudet laskettiin tolueeniekvivalentteina (tolueenivasteina). TVOC-pitoisuus määritettiin laskemalla yhteen kaikkien yhdisteiden tolueeniekvivalentteina määritetyt pitoisuudet n-heksaanin ja heksadekaanin väliltä.

Styreenin, 2-etyyli-1-heksanolin, naftaleenin ja TXIB:n (2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli di-isobutyraatti) pitoisuus on laskettu puhtaan vertailuaineen avulla.

Tutkimusraportissa ilmoitetut tulokset perustuvat laboratoriolle ilmoitettuihin näytetietoihin.

MÄÄRITYSRAJA

Yksittäisen yhdisteen määritysraja on 5 litran näytteelle keskimäärin 0,1 µg/m³. TVOC-pitoisuudelle määritysraja on 20 µg/m³.

MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittausepävarmuus on testaustulokseen liittyvä arvio, joka ilmoittaa rajat, joiden välissä todellisen arvon voidaan valitulla todennäköisyydellä (luottamusvälillä) katsoa olevan. TVOC-tuloksen mittausepävarmuus ilman näytteenottoa on 28 % (luottamusvälillä 95 %). Yksittäisten, oman vertailuaineen avulla määritettävien yhdisteiden mittausepävarmuudet ovat välillä 24 - 40 % riippuen yhdisteestä. Tolueeniekvivalenttina määritettyjen yhdisteiden pitoisuuden määritys on semikvantitatiivinen. Mittausepävarmuus on huomioitu tulosten tulkinnassa. Tämä laskelma ei huomioi näytteenotosta aiheutuvaa mittausepävarmuutta.

Päivi Niskanen, Tutkija, Laboratorioanalyytikko
paivi.niskanen@labroc.fi

Arja Asikainen, Tutkija, FT
p. 044 776 0471, arja.asikainen@labroc.fi

VIITTEET

ISO 16000-6, 2021, Indoor air - Part 6: Determination of organic compounds (VVOC, VOC, SVOC) in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS FID.

Asumisterveysasetus 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsingissä 23.4.2015

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa III Asumisterveysasetus § 14-19. Valvira ohje 8/2016.

Saarela, K., ym., TVOC-haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio ja sen eri Laskentatavat, Sisäilmastoseminaari 2005, Sisäilmayhdistys raportti 23.

Työterveyslaitos. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen 2017.

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

ilac-MRA FINAS
Finnish Accreditation Service
T314 (EN ISO/IEC 17025)

VOC-ANALYYSI MATERIAALINÄYTTEESTÄ

Tilaaja:	AFRY Finland Oy	**Tilauspäivä:**	30.11.2022
Kohde:	KaS-936 Korian silta	**Laboratorio:**	Kuopio
Projektinumero:		**Vastaanottopäivä:**	30.11.2022
Näytteenottaja:	Mika Lindh/Labroc Oy	**Analysointipäivät:**	12.1.2023
Näytteenottopäivät:	30.11.2022		

TULOKSEN TULKINTA

Tuloksen tulkintaan ei ole olemassa virallisia ohjearvoja. Alla olevassa taulukossa on esitetty Työterveyslaitoksen määrittämiä viitearvoja, joita voidaan hyödyntää materiaalien VOC tulosten arvioinnissa. Viitearvot perustuvat Työterveyslaitoksen sisäiseen aineistoon. Menetelmällä tehdyt näytteet eivät vastaa huoneilmasta kerättyjä näytteitä eivätkä materiaalien päästöluokitusta (M-luokat).

Materiaalien VOC-emissioiden viitearvot erilaisille materiaalityypeille	
PVC **pehmittimenä DEHP (di-etyyliheksyyliftalaatti)**	
TVOC	200 µg/m³g
2-etyyli-1-heksanoli	70 µg/m³g
PVC **pehmittimenä DINCH (diisononyyliheksahydroftalaatti),** **DINP (di-isononyyliftalaatti) tai** **DIDP (di-isodekyyliftalaatti)**	
TVOC	500 µg/m³g
2-etyyli-1-heksanoli	50 µg/m³g
C9-alkoholit	320 µg/m³g
TASOITTEET JA BETONI	
TVOC	50 µg/m³g
2-etyyli-1-heksanoli	40 µg/m³g
LINOLEUM	
TVOC	650 µg/m³g
propaanihappo	100 µg/m³g

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

ANALYYSITULOKSET

Tässä tutkimusraportissa esitetyt tulokset koskevat vain laboratorioon vastaanotettuja näytteitä. Tulokset on ilmoitettu tolueenivasteella laskettuna. Mikäli yhdisteen pitoisuus näytteessä on alle 1 µg/m³g, sitä ei ole merkitty tulostaulukkoon, mutta se on mukana TVOC-arvossa. Yhdisteiden CAS-numeroita on saatavilla laboratoriosta, tai osoitteesta https://labroc.fi/wp-content/uploads/2021/04/CAS-numerot-1.pdf.

Näyte	Näytteenottopaikka	Materiaali	Punnittu (g)	Näytetilavuus (l)
1	**Sillan teräspalkin alapinnalta**	Pintamaali	5	2.2

Ryhmä	Yhdiste	Pitoisuus tolueeniekvivalenttina (µg/m³g)	Oma vaste
TVOC	-	790	
AROMAATTISET HIILIVEDYT	m-Ksyleeni	270	
	o-Ksyleeni	260	
	Aromaattisia hiilivetyjä	90	
	p-Ksyleeni	46	
	1,2,4-Trimetyylibentseeni	41	
	Etyylibentseeni	27	
	Isopropyylibentseeni	6	
	Propyylibentseeni	3	
ALIFAATTISET HIILIVEDYT	Undekaani	4	
	Dekaani	2	
TUNNISTAMATTOMAT YHDISTEET		45 (6%)	

Näytekommentit:
Aromaattisia hiilivetyjä = näytteestä löytyneiden tunnistamattomien aromaattisten hiilivetyjen summapitoisuus.

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

Näyte	Näytteenottopaikka	Materiaali	Punnittu (g)	Näytetilavuus (l)
2	**Sillan teräspalkin alapinnalta**	Pohjamaali	1.3	6.2

Ryhmä	Yhdiste	Pitoisuus tolueeniekvivalenttina (µg/m³g)	Oma vaste
TVOC	-	330	
PIIYHDISTEET	Heksametyylisyklotrisiloksaani	1	
AROMAATTISET HIILIVEDYT	o-Ksyleeni	96	
	m-Ksyleeni	87	
	Aromaattisia hiilivetyjä	59	
	1,2,4-Trimetyylibentseeni	22	
	p-Ksyleeni	14	
	1,3,5-Trimetyylibentseeni	10	
	Etyylibentseeni	8	
	Isopropyylibentseeni	3	
	Propyylibentseeni	1	
ALIFAATTISET HIILIVEDYT	Undekaani	3	
	Dekaani	1	
ESTERIT JA LAKTONIT	TXIB	2	2
TUNNISTAMATTOMAT YHDISTEET		26 (8%)	

Näytekommentit:
Aromaattisia hiilivetyjä = näytteestä löytyneiden tunnistamattomien aromaattisten hiilivetyjen summapitoisuus.

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

Näyte	Näytteenottopaikka	Materiaali	Punnittu (g)	Näytetilavuus (l)
3	**Sillan teräspalkin alapinnalta laserpuhdistuksen jälkeen**	Maalijäämät	2.1	2.1

Ryhmä	Yhdiste	Pitoisuus tolueeniekvivalenttina (µg/m³g)	Oma vaste
TVOC	-	170	
AROMAATTISET HIILIVEDYT	Bentseeni	64	
	m-Ksyleeni	36	
	o-Ksyleeni	36	
	Tolueeni	8	7
	Etyylibentseeni	4	
	p-Ksyleeni	3	
ALIFAATTISET HIILIVEDYT	Heksaani	6	
TUNNISTAMATTOMAT YHDISTEET		14 (8%)	

Näytekommentit:
Aromaattisia hiilivetyjä = näytteestä löytyneiden tunnistamattomien aromaattisten hiilivetyjen summapitoisuus.

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

ANALYYSIT

Emissionäytteet kerättiin mikrokammiolaitteella (Micro-Chamber, µCTE) Tenax TA adsorbenttiin. Analyysit tehtiin kaasukromatografilaitteistolla, johon oli yhdistetty massaselektiivinen detektori (TD-GC -MS). Yhdisteet tunnistettiin retentioaikojen sekä kirjastohaun perusteella (kirjasto nist02.L).

Styreenin, 2-etyyli-1-heksanolin, naftaleenin ja TXIB:n (2,2,4-trimetyyli-1,3 -pentaanidioli di-isobutyraatti) pitoisuus laskettiin oman vertailuaineen avulla. Muiden heksaanin ja heksadekaanin väliseltä kiehumispistealueelta löytyneiden yhdisteiden pitoisuudet laskettiin ns. tolueeniekvivalenttina.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (ns. TVOC) saatiin laskemalla kaikkien heksaanin ja heksadekaanin väliltä löytyneiden yhdisteiden tolueeniekvivalenttina määritetyt pitoisuudet yhteen. Lasketut tulokset ilmoitetaan lopuksi tutkittua näytemäärää kohti (µg/m³g).

Tällä menetelmällä tehty analyysi ei ole kvantitatiivinen, vaan se kertoo ainoastaan sen, mitä yhdisteitä ja missä keskinäisessä suhteessa, tutkitusta materiaalista emittoituu käytetyissä olosuhteissa.

MÄÄRITYSRAJA

Menetelmän määritysraja on 20 µg/m³g

MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittausepävarmuus on testaustulokseen liittyvä arvio, joka ilmoittaa rajat, joiden välissä todellisen arvon voidaan valitulla todennäköisyydellä (luottamusvälillä) katsoa olevan. TVOC-tuloksen mittausepävarmuus on 30 % (luottamusvälillä 95 %). Yksittäisten, oman vertailuaineen avulla määritettävien yhdisteiden mittausepävarmuudet ovat välillä 26 - 66 % riippuen yhdisteestä. Tolueeniekvivalenttina määritettyjen yhdisteiden pitoisuuden määritys on semikvantitatiivinen.

Arja Asikainen, Tutkija, FT
p. 044 776 0471, arja.asikainen@labroc.fi

Jani Mäkelä, Tutkija, Kemisti
p. 050 560 2975, jani.makela@labroc.fi

VIITTEET

ISO 16000-6, 2021, Indoor air - Part 6: Determination of organic compounds (VVOC, VOC, SVOC) in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS FID.

Asumisterveysasetus 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsingissä 23.4.2015

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa III Asumisterveysasetus § 14-19. Valvira ohje 8/2016.

Järnström H., Reference values for building material emissions and indoor air quality in Residential buildings, 2007, VTT publications 672.

Saarela, K., ym., TVOC-haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio ja sen eri Laskentatavat, Sisäilmastoseminaari 2005, Sisäilmayhdistys raportti 23.

Työterveyslaitos. Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin. 2017.

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

LABROC
Member of GBAGROUP

RASKASMETALLIANALYYSI

Tilaaja: AFRY Finland Oy **Tilauspäivä:** 30.11.2022

Kohde: KaS - 936 Korian silta **Toimitettu laboratorioon:** 30.11.2022

Projektinumero: **Laboratorio:** Oulu

Menetelmät:

Tilaajan toimittaman näytteen raskasmetallianalyysi tehtiin XRF-analysaattorilla, Bruker S1 TITAN. Laite on kalibroitu 2016 (Geochem General -kalibrointi). Tulokset on ilmoitettu kolmen mittauspisteen keskiarvona, mg/kg ± laitteen mittaustarkkuus. Tulokset koskevat vain tutkittua näytettä. Labroc Oy vastaa toimeksiannoista KSE 2013 mukaisesti. Laboratorio ei vastaa näytteenotosta. Tulokset toimitetaan sähköpostilla PDF-muodossa ilman suojausta.

Näytteenottaja: Mika Lindh, Labroc Oy

Näyte	Materiaali / tila tai rakennusosa	Antimoni (50)	Arseeni (100)	Kadmium (20)	Koboltti (250)	Kromi (300)	Kupari (200)	Nikkeli (150)	Lyijy (750/1500**)	Sinkki (400)	Vanadiini (250)
1	Sillan alapalkki, läheltä laseria	< 20	< 20	**45 ± 21**	< 20	< 20	< 20	130 ± 47	< 20	**42000 ± 420**	< 20
2	Siltatyömaa, teline, nurkka	< 20	< 20	20 ± 13	< 20	< 20	< 20	**170 ± 72**	< 20	**81000 ± 680**	< 20

* Haitallisen jätteen ylemmät ohjearvot ylittävät tulokset on lihavoitu (VNA 214/2007, Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi).

** Yli 1500 mg/kg lyijyä sisältävä materiaali on suositeltavaa käsitellä vaarallisena jätteenä (Ratu 82-0382).

Näytteiden 1 ja 2 raskasmetallipitoisuuksissa havaittiin ylempiä ohjearvoja ylittäviä pitoisuuksia. Suositellaan ottamaan yhteyttä paikalliseen jäteviranomaiseen ennen jätteen loppusijoitusta.

Anssi Riekki, Tutkija, Laboratorioanalyytikko
p. 044 074 0410, anssi.riekki@labroc.fi

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

165077/ASB

FINAS Finnish Accreditation Service T314 (EN ISO/IEC 17025)

ASBESTIANALYYSI

Tilaaja: AFRY Finland Oy **Tilauspäivä:** 30.11.2022

Kohde: KaS - 936 Korian silta **Toimitettu laboratorioon:** 30.11.2022

Projektinumero: **Laboratorio:** Oulu

Menetelmät:

Asbestianalyysi on akkreditoitu menetelmä. Analyysi suoritetaan tilaajan toimittamista näytteistä soveltaen standardia ISO22262-1:2012 optisella analyysillä käyttäen stereomikroskooppia sekä polarisaatiomikroskooppia ja/tai alkuaineanalyysillä käyttäen pyyhkäisyelektronimikroskooppia (SEM/EDS). Taulukossa asbestin esiintyminen on havainnollistettu tummennuksella: tummennus tarkoittaa, että kyseinen näyte sisältää asbestia. Asbestin laatu on ilmoitettu tulos -sarakkeessa. Tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Labroc Oy vastaa toimeksiannosta KSE 2013 mukaisesti. Laboratorio ei vastaa näytteenotosta. Tulokset toimitetaan sähköpostilla PDF -muodossa ilman suojausta.

Näytteenottaja: Mika Lindh, Labroc Oy

Näyte	Materiaali / tila tai rakennusosa	Menetelmä VM/EM*	Tulos
1	Sillan teräspalkin alapinta, pintamaali	EM	Ei sisällä asbestia.

*VM = optinen analyysi, EM = elektronimikroskooppi

Hanna Puotiniemi, Tutkija, Geologi
p. 050 325 9213, hanna.puotiniemi@labroc.fi

Saku Varpenius, Tutkija, Insinööri
p. 040 574 3685, saku.varpenius@labroc.fi

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

165077/PCB

FINAS Finnish Accreditation Service T314 (EN ISO/IEC 17025)

PCB-ANALYYSI

Tilaaja: AFRY Finland Oy **Tilauspäivä:** 30.11.2022

Kohde: KaS - 936 Korian silta **Toimitettu laboratorioon:** 30.11.2022

Projektinumero: **Laboratorio:** Oulu

Menetelmät:

Analyysi suoritettiin tilaajan toimittamasta näytteestä. PCB-analyysissä sovelletaan menetelmää ISO 13876:2013. Materiaalinäytteeseen lisättiin sisäinen standardi ja sitä uutettiin asetoni/heksaani-liuoksella ultraäänihauteessa. Uutos puhdistettiin väkevällä rikkihapolla, jonka jälkeen se analysoitiin kaasukromatografialaitteistolla, johon oli yhdistetty massaselektiivinen detektori. Näytteestä analysoitiin PCB kongeneerit nro. 28, 52, 101, 118, 153, 138 ja 180. Summapitoisuuteen sisältyvät edellä mainitut PCB-kongeneerit. Menetelmän määritysraja on 0,1 mg/kg. Tulokset on ilmoitettu mg/kg tuorepainoa. Menetelmän mittausepävarmuus on keskimäärin 30% (95 % luottamusvälillä). Mittausepävarmuutta ei ole huomioitu tulosten tulkinnassa. Mittausepävarmuuslaskelma ei huomioi näytteenotosta aiheutuvaa mittausepävarmuutta. Laboratorio ei vastaa näytteenotosta. Tulokset koskevat vain tutkittua näytettä. Labroc Oy vastaa toimeksiannoista KSE 2013 mukaisesti. Tulosten raportointi OmaLabroc-järjestelmässä. Sähköpostilla toimitettavat tulokset PDF-muodossa ilman suojausta.

Näytteenottaja: Mika Lindh, Labroc Oy

Näyte	Materiaali / tila tai rakennusosa	PCB 28 mg/kg	PCB 52 mg/kg	PCB 101 mg/kg	PCB 118 mg/kg	PCB 153 mg/kg	PCB 138 mg/kg	PCB 180 mg/kg	PCB-pitoisuus* mg/kg
1	Sillan alapalkki, läheltä laseria	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7
2	Siltatyömaa, teline, nurkka	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,7

* PCB-kongeneerien 28, 52, 101, 118, 153, 138 ja 180 summapitoisuus. PCB-jätteen raja-arvon 50 mg/kg ylittävät tulokset on lihavoitu (Ratu 82-0382).

Näytteitä 1 ja 2 vastaavat materiaalit voidaan PCB- pitoisuuksien osalta poistaa ja hävittää normaalisti.

Anssi Riekki, Tutkija, Laboratorioanalyytikko
p. 044 074 0410, anssi.riekki@labroc.fi

Tämän analyysivastauksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Labroc Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.