

Betonisiltojen lujuustutkimukset 2017–2018

Liisa Salparanta, dipl. ins., Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, liisa.salparanta@vtt.fi
Edgar Bohner, Tekn. tri, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, edgar.bohner@vtt.fi
Miguel Ferreira, Tekn. tri, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, miguel.ferreira@vtt.fi
Ludovic Fülöp, Tekn. tri, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, ludovic.fulop@vtt.fi
Markku Leivo, Tekn. tri, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, markku.leivo@vtt.fi
Mari Niemelä, dipl. ins, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, mari.niemela@vtt.fi

Kesällä 2016 Kemijärven Kallanvaarassa lähes valmis rautatiesilta jouduttiin purkamaan betonivalussa havaitun lujuusongelman vuoksi. Seuraava suurta huolestusta herättänyt betonin laatua koskeva tapaus tapahtui Turun sairaalan rakennustyömaalla. Kyseisten tapausten takia Liikennevirastossa (LIVI) tehtiin 18 vuosina 2012 ... 2016 rakennetun sillan betonin lujuutta ja ilmamäärää koskeva tutkimus. Tutkimuksen tulos oli, että 6 siltaa ei täyttänyt lujuusvaatimusta mittaushetkellä. Siksi LIVI päätti tilata VTT:ltä tutkimuksen koskien 95 sillan betonin laatua.

Näytteiden irrotukset ja mittaukset tutkitavilla silloilla tekivät kokoneet sillantarkastuskonsultit ja näytteet testattiin testauslaboratorioissa. Näytteitä irrotettiin kaikkiaan n. 1500 kappaletta. VTT laati tarkastussuunnitelmat ja analysoi tulokset. Tutkimuksen tulosaineisto onkin runsas ja sen jatkokäsittely poikii tulevaisuudessa todennäköisesti vielä suuren määrän mielenkiintoisia tutkimustuloksia etenkin, kun silloilta kerättyjen näytteiden ylimääräiset osat ovat edelleen VTT:llä varastoituna tulevia tutkimuksia varten Tässä artikkelissa esitetään muutama tähän mennessä saatu tutkimustulos.

95 tutkitusta sillasta 63 on tiesiltoja ja 32 rautatiesiltoja, jotka ovat valmistuneet vuosina 2005 ... 2016. Tutkimus oli 2-osainen:

1. Päällysrakenteen betonin laatuaineiston tarkastus
2. Siltojen tarkastus ja tulosten analysointi
3. Päällysrakenteen betonin laatuaineisto

Laatuaineiston tarkastuksen tavoitteina oli saada selville

1. Onko tutkituissa kohteissa noudatettu tilaajan edellyttämiä laadunvarmistustoimia
2. Onko tehty tilaajan vaatimusten mukainen laaturaportointi
3. Ovatko päällysrakenteen betonien laatuvaatimukset laadunvalvonta-aineiston perusteella täytyneet

VTT kokosi laatuaineiston ja analysoi sen. Laatuaineiston tarkastuksessa todettiin mm. että ainoastaan 6 %:lla silloista oli vaatimukset täyttävä laaturaportti ja 34 %:lla silloista ei ollut laaturaporttia lainkaan. Suurin osa asiakirjoista oli epäselviä, puutteellisia tai keskenään ristiriitaisia ja suurimmassa osassa kohteita teknisten vaatimusten täytyminen jäi epäselväksi, vaikka vaatimusten täytyminen yritettiin selvittää muiden asiakirjojen tai laskemien avulla. Kun samaan hankkeeseen kuuluvien siltojen laatuaineisto oli yhdistetty, asiakirjoista ei aina selvinnyt mitä siltaa ne koskivat. Pääsääntöisesti puristuslujuuden laboratorioraporteista ei ilmennyt koskivatko tulokset olosuhde- vai tehdaskappaleita. Asiakirjojen arkistoinnissa oli ilmeisiä puutteita, koska joitakin asiakirjoja jouduttiin pyytämään useaan kertaan ja niitä toimitettiin useasta eri paikasta.

LIVI:ssä laatuaineisto pisteytettiin siten, että pisteytyksessä otetaan huomioon sekä raportoinnin että teknisten vaatimusten täytyminen. Eri pisteytyksen saaneiden siltojen luku-

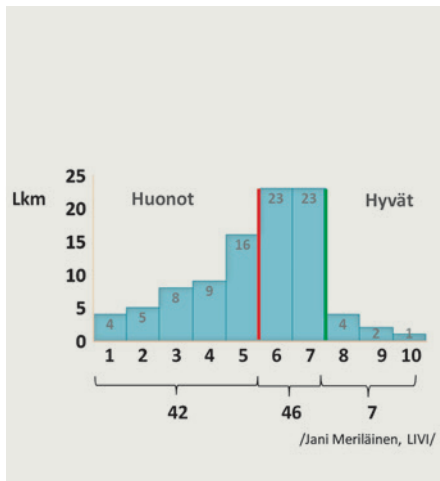


1

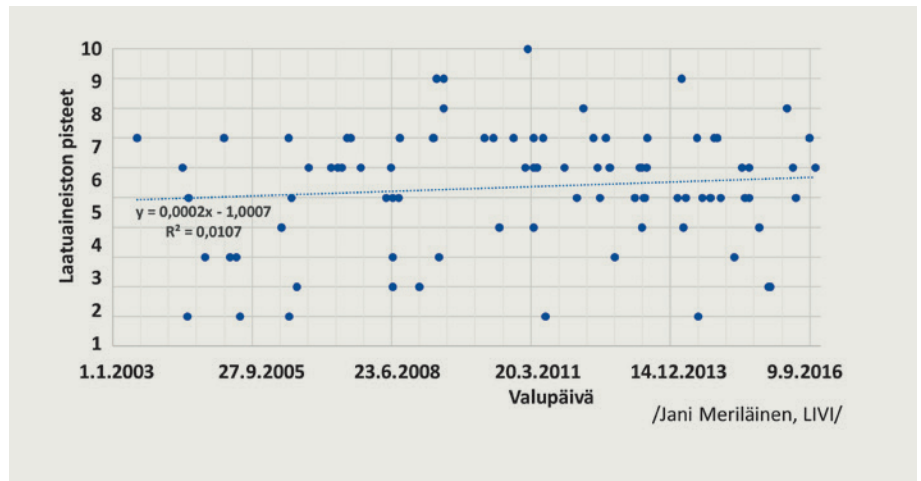
1 Betonisillan valua.

Havaitut betoniongelmat käynnistivät alalla useita muutoksia. Laatuaineistojen, lujuuden osoittamisen ja dokumentoinnin vaatimuksiin on tehty tarkennuksia, myös ohjeistukset ovat täsmentyneet.

Tavoitteena on päästä paremmin kiinni poikkeamiin jo ennen valua ja viimeistään rakentamisen aikana. Muutokset on tehty yhdessä infra-alan toimijoiden kanssa.



2



3

määräjakauma esitetään kuvassa 2. Kuva 3, joka esittää laatuaineistopisteytyksen riippuvuutta valupäivästä, osoittaa, että laatuaineiston laatu ei ole juuri parantunut ajan kuluessa.

Siltojen tarkastus ja tulosten analysointi

Siltojen tarkastusten tavoitteina oli saada selville

- Tutkittujen rakenteiden betonin ominaislujuus tutkimuksen ajankohtana
- Tutkittujen rakenteiden betonin 28 vrk:n puristuslujuus
- Tutkittujen rakenteiden betonin huokosrakenne tutkimusajankohtana

Siltatarkastukset koskivat samoja siltoja kuin laatuaineistotarkastuksetkin, mutta tarkastettavia tiesiltoja oli yksi vähemmän. Tarkastukset koskivat pääasiassa siltojen päällysrakennetta, mutta joissain tapauksissa myös välitukia. VTT laati siltojen tarkastussuunnitelmat ja analysoi tarkastusten tulokset. Betoneista tutkittiin puristuslujuus standardoiduilla menetelmillä sekä arvioitiin kokonaishuokoisuus ja huokosrakenne tutkimusta varten VTT:llä kehitetyillä nopeutetuilla menetelmillä, joiden tulokset ovat karkeita, mutta kyseisen tutkimuksen tarpeisiin riittävän tarkkoja arvioita.

Kuvassa 3 esitetään tarkastettujen rakenteiden näytteistä mitatun ikäkorjatun puristuslujuuden ja suunnittelulujuuden välinen suhde. Kuva 4 osoittaa, että mitattu lujuus ei riipu suunnittelulujuudesta. Ennemmin mitattujen lujuuksien keskiarvo on sitä alhaisempi

mitä korkeampi suunnittelulujuus oli. Kovinakaan suurta lujuusongelmaa ei kuitenkaan Suomen silloilla havaittu. Joitakin yksittäisiä lujuusallituksia, joiden olisi tietenkin pitänyt paljastua jo rakentamisvaiheessa, todettiin

Kuva 5 esittää tarkastettujen rakenteiden näytteistä mitatun ilmamäärän riippuvuutta valuajankohdasta. Kuvasta näkyy, että ilma- ja tiivistyshuokosten yhteismäärä on sitä korkeampi mitä myöhemmin rakenne on valettu. Vaikuttaa siis siltä, että ilmamääriä olisi kasvatettu viime aikoina verrattuna aikaisempaan käytäntöön. Kovettuneen betonin ilmamäärälle ei ole olemassa ylärajavaatimusta. Tässä tutkimuksessa asetettiin tässä tutkimuksessa käytettyjen mittausten menetelmien epätarkkuuden huomioon ottavaksi ohjeelliseksi ilma- ja tiivistyshuokoisuuden yläraja-arvoksi 75 %. Ilma- ja tiivistyshuokoisuuden yhteismäärä ylittää tuon rajan useassa kohteessa. Mitatut ilmamäärät ovat niin korkeita, että ne vaikuttavat betonien lujuuteen ja säilyvyyteen.

Jatkotoimet

Jotta laatu puutteita voidaan välttää tulevaisuudessa tai niihin voidaan tulevaisuudessa puuttua mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ja siten minimoida niistä aiheutuva haitta, LIVI on päättänyt tutkimustulosten perusteella joistakin toimenpiteistä. Mm. vuosittain valmistuville silloille aletaan tehdä satunnaistarkastuksia, takuu aika pidennetään 2 vuodesta 5 vuoteen ja sillan arvonmuutosperusteet päivitetään. Liikennevirastossa harkitaan myös koulutuksen lisäämistä ja koulutusaineiston

2 Eri laatuaineistopisteytyksen saaneiden siltojen lukumääräjakauma.

3 Laatuaineistopisteytyksen riippuvuus valupäivästä.

laatumista sekä henkilöresurssien lisäämistä.

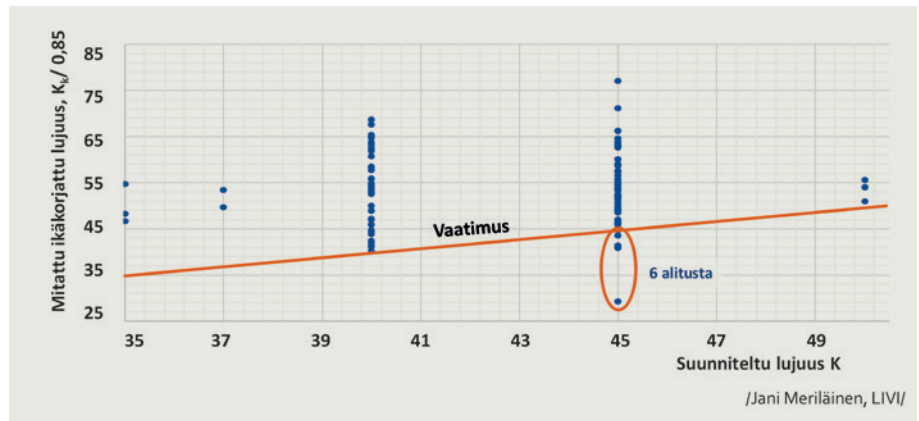
InfraRYL:n ja siltabetonien P-lukumenettelyn ohjeiden selventämisen on määrä valmistua vuoden 2019 alkupuolella. Lisäksi sillan laaturaporttiohje päivitetään ja siinä annettua ohjeistusta tarkennetaan.

Uusia tekniikoita pyritään ottamaan käyttöön. Aalto-yliopiston vetämässä DigiConcrete-hankkeessa, jossa kehitetään digitaalista ratkaisua betonirakentamisen laadun varmistamiseksi valmistusketjun jokaisessa vaiheessa, on mukana VTT:n ja perinteistä rakennusala edustavien yritysten ja rakennuttajien lisäksi mm. instrumentointi ja ohjelmistoalan yrityksiä. Tavoitteena on luoda laadun seuranta järjestelmä, joka ilmoittaa rakentamisketjun kaikille osapuolille poikkeamista reaaliajassa, jolloin poikkeamiin on mahdollista puuttua varhaisessa vaiheessa.

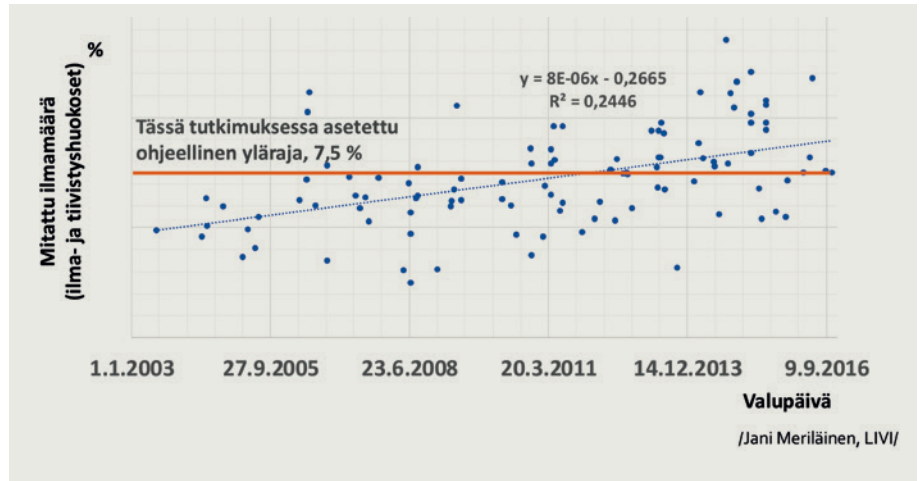
Tutkimuksessa havaitun betonien erittäin korkean ilmamäärän vaikutusta betonin keskeisiin ominaisuuksiin – rakenteelliseen toimintaan ja säilyvyyteen – ei tunneta kovin hyvin. Liikennevirasto on käynnistänyt aiheesta VTT:n ja Aalto yliopiston yhteishankkeen, jonka on määrä valmistua vuonna 2022.

Tutkimuksessa kertyi runsaasti tulosaineistoa, jossa riittää runsaasti analysoitavaa vielä jatkossakin. Lisäksi silloista irrotettujen näytteiden testausten jälkeen jääneet kappaleet on varastoitu VTT:lle tulevia tutkimuksia varten. Osa näytteistä palveleekin jo uusia tutkimushankkeita.

- 4 Poranäytteistä mitattu puristuslujuus vs. suunnittelulujuus.
- 5 Poranäytteistä mitattu ilma- ja tiivistyshuokosten yhteistilavuus vs. valuaika.



4



5

Strength studies of bridges 2017– 2018:

Abstract

In the summer of 2016, a nearly-complete railway bridge under construction was demolished because of insufficient concrete strength. Concerns also arose regarding poor concrete quality at a hospital building site in Turku. As a result, the Finnish Transport Agency (Liikennevirasto) examined the concrete strength and air content of 18 bridges built between 2012 and 2016. The results of that examination led to the further study of an additional 95 bridges. The investigation included measurements of concrete strength and air content, as well as review of the quality inspection documents.

Experienced bridge inspection consultants collected samples and carried out measurements on the bridges. Approximately 1 500 samples were submitted to testing laboratories for analysis. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd prepared the bridge inspection plans, analysed the test results and reviewed the quality inspection documents.

The quantity of data obtained to date in this research project is massive, yielding substantial potential for the extraction of additional information of interest. Further data analysis will likely generate a number of additional interesting results, and there is potential to re-examine or further analyse samples currently stored at VTT to obtain additional information. Some results obtained thus far are presented herein.

The review of the quality inspection documents revealed that only 6% of the bridges had a quality report that fulfilled Transport Agency's

regulatory requirements and 34% of the bridges had no quality report. Most of the documents were unclear and contained contradictory information. In most cases the quality inspection documents did not reveal whether the technical requirements were fulfilled. The Finnish Transport Agency created a grading scale (1 worst ... 10 best) to account for both the relative quality of the quality inspection documents, and the fulfilment of technical requirements. Analysis of this grade or rating as a function of concrete casting date revealed that the quality of quality inspection documents did not improve between the years 2003 and 2016.

Estimation of the compressive strength at an age of 28 days as determined from the samples taken during this project showed that the measured strength was not dependent upon the design strength. Rather, the average measured strength diminished with increasing design strength. Overall, no significant concrete strength problems were noted for Finnish bridges.

Measurements of the air content of concrete determined in this study vs a function of casting date revealed a general increasing trend in concrete air content from 2003 to 2016. In several cases, the 7.5% upper limit of acceptable air content in this research was exceeded,

which has negative effects on concrete strength and durability.

To avoid poor concrete quality in the future and address any concerns at an early stage the Finnish Transport Agency will carry out random inspections of bridges completed within the previous 12-month period, among other actions to mitigate risks. The guarantee period is also extended from 2 to 5 years. New training programmes and training materials will be probably be implemented, and human resources increased to contribute to quality assurance. Guidelines will be revised and clarified and new monitoring techniques will be applied. The ongoing DigiConcrete project developed innovative digital solutions for assuring good quality of concrete construction throughout the construction value chain are developed. Aalto University, VTT and conventional construction companies together with instrumentation and software companies participate DigiConcrete project.

The Finnish Transport Agency, together with VTT and Aalto University, has initiated new research into the effect of high air content on the structural behaviour and durability of concrete. These results will be available in 2022 and will further inform quality guidelines for concrete materials for major infrastructure.