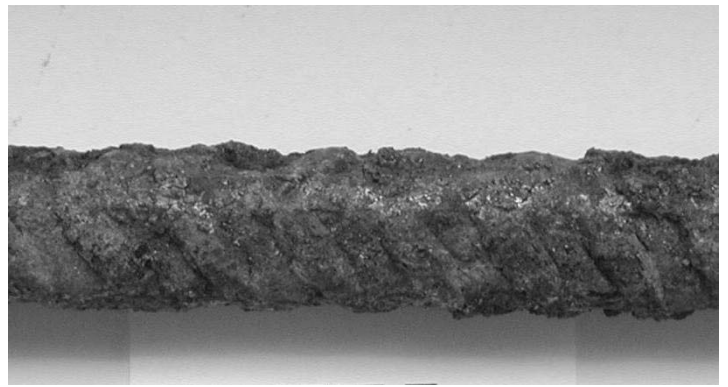
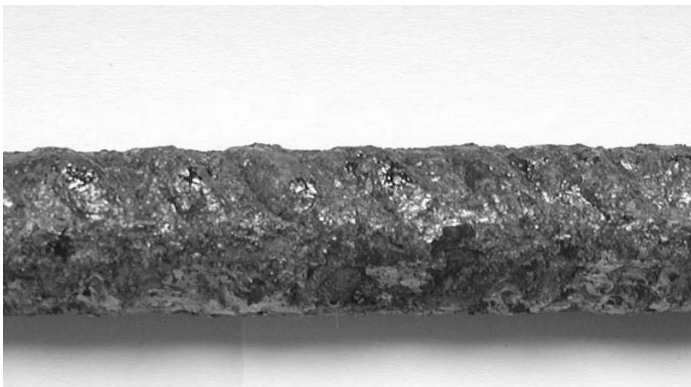
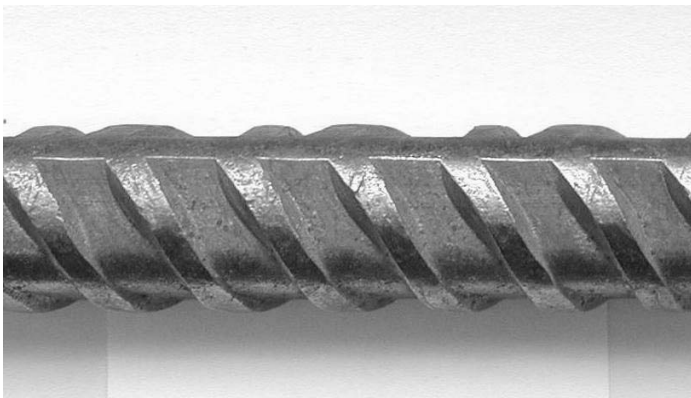


**Siltatutkimusten tiivistelmät 2003**  
Sammanfattningar av broforskningar 2003  
Abstracts of Bridge Studies 2003

Tiehallinnon selvityksiä 17/2003





**Siltatutkimusten tiivistelmät 2003**  
Sammanfattningar av broforskningar 2003  
Abstracts of Bridge Studies 2003

**Tiehallinnon selvityksiä 17/2003**

**Tiehallinto**

Helsinki 2003

*Kansikuva: Raudoitusterästankojen korroosioasteet 0 - 4 (VTT)*  
*Omslagsbild: Armenringsstängernas korrosionsgrader 0 - 4 (VTT)*  
*Cover picture: Corrosion classes 0 - 4 of reinforcing bars (VTT)*

ISSN 1459-9871  
ISBN 951-803-034-0  
TIEH 3200806

Verkkoversio (<http://www.tiehallinto.fi/julkaisut>) pdf  
ISSN 1459-1553  
ISBN 951-803-035-9  
TIEH 3200806-v

Edita Prima Oy  
Helsinki 2003

Julkaisua myy:  
Tiehallinto, julkaisumyynti  
Telefaksi 0204 22 2652  
S-posti [julkaisumyynti@Tiehallinto.fi](mailto:julkaisumyynti@Tiehallinto.fi)

**Tiehallinto**  
Siltatekniikka  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihte 0204 2211

**Asiasanat:** Tiehallinto, sillat, tiivistelmät, tutkimustulokset

## TIIVISTELMÄ

Tähän julkaisuun on koottu Tiehallinnon siltatekniikan koordinoimien ja teettämien vuosina 2002 ja 2003 päätyneiden tutkimusten tiivistelmiä. Lisätietoja tutkimuksista saa tutkimusten vastuuhenkilöltä ja tutkijalta. Tiehallinnon vastuuhenkilöiden osoite on Tiehallinto, Siltatekniikka, PL 33, 00521 HELSINKI ja sähköpostiosoite on muotoa etunimi.sukunimi@tiehallinto.fi. Tutkimusaiheet ovat:

*Pinnoitteiden vaikutukset siltojen betonirakenteiden säilyvyyteen.* Tutkimuksessa selvitettiin ulkonäkösyistä käytettävien pinnoitteiden vaikutus betonisten siltarakenteiden säilyvyyteen sekä laadittiin perusteet betonisiltojen pinnoittamista koskevalle ohjeistukselle säilyvyyden ja käyttöiän kannalta.

*Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaaminen uusilla betonisilloilla.* Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan muutoksia betonisiltakansissa selvitettiin uusinta mittaustekniikkaa käyttäen. Mittaukset suoritettiin uusilla betonisilloilla. Mittaustuloksia käytettiin siltojen kermieristysten kuplimisilmiöiden selvitystutkimuksessa.

*Sulatussuolojen kerääntyminen betoniin.* Kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin kloridien tunkeutumis- ja huuhtoutumisilmiötä. Selvityksessä käsitellään joitakin suolojen kerääntymistä ja muodostuvia kloridiprofiileja simuloivia malleja. Sulatussuolojen kerääntymiseen sillan betonirakenteisiin vaikuttavat mm. rakenneosan ja betonipinnan sijainti sillassa, etäisyys suolattavasta ajoradasta, altistuminen sateelle, lumelle, valumis- tai roiskevesille ja ajoittaiselle kuivumiselle. Lisäksi vaikuttavat mm. sillan ympäristöolosuhteet, ilman suunnat, vallitsevat tuulen suunnat ja ajoneuvoliikenne.

*Siltarakenteiden ikäkäyttäytymiskäyrät siltarekisterin vauriotietojen perusteella.* Siltarekisteriin kirjattujen tarkastustietojen pohjalta selvitettiin siltarakenteiden kuntoluokka-ikä-jakaumat ja keskeisimmät rappeutumisenopeuteen vaikuttavat tekijät. Tietoja rakenteiden rapautumisnopeudesta käytetään olemassa olevien mm. elinkaarianalyseissa käytettävien ikäkäyttäytymismallien tarkentamiseen.

*Varhaisalkeilu seinämäisissä rakenteissa.* Tutkimuksessa tarkasteltiin pitkien seinämäisten joltakin reunaltaan kiinni olevien rakenneosien halkeamien syntymiseen vaikuttavia tekijöitä ja halkeamariskin tunnistamista. Lisäksi on tarkasteltiin eri keinoja halkeamariskin eliminoimiseksi ja pienentämiseksi sekä arvioitiin niiden käyttökelpoisuutta.

*Tunkeutuvat inhibiittorit.* Betonin laadun vaikutusta orgaanisiin amiineihin perustuvien nk. tunkeutuvien inhibiittoreiden tunkeutumiseen sekä inhibiittoreiden vaikutuksen pysyvyyttä tutkittiin kokeellisesti. Inhibiittoreina olivat Sika FerroGard-903 ja MCI 2020.

*Teräsbetonirakenteiden katodisen suojauksen soveltava tutkimus yksinkertaisin anodisysteemein – yhteispohjoismainen tutkimus.* Tutkimuksessa luotiin taloudelliset ja tekniset perusteet yksinkertaisin anodisysteemein tehtyjen katodisten suojausten käytölle reunapalkkien raudoituksen kloridikorroosiota vastaan ja kaidetolppien galvaanista korroosiota vastaan. Tutkimuksessa

kokeiltiin neljää anodisysteemiä, jotka asennettiin Öölannin sillan reunapalkkiin.

*Siltoihin käytettävien raudoitustankojen sallittu ruostemäärä.* Kirjallisuuden avulla selvitettiin missä määrin betoniterästagot voivat sillanrakennuskohteessa olla ruostuneet ja minkä tyyppistä ruoste voi olla ilman, että siitä on haittaa. Lisäksi laadittiin ruostemäärän ja -laadun arviointimenetelmä ja –asteikko.

**Siltatutkimusten tiivistelmä 2003.** [Sammanfattningar av broforskningar] Helsinki 2003. Vägförvaltningen, Brotteknik. Tiehallinnon selvityksiä nro. 17/2003. ISSN 1459-1553, ISBN 951-803-035-9, TIEH 3200806-v.

**Nyckelord:** Vägförvaltningen, broar, sammanfattningar, forskningsresultat

## SAMMANFATTNING

Den här publikationen innehåller sammanfattningar av forskningar koordinerade och beställda av Vägförvaltningens Broavdelning som slutade i 2002 och 2003. Mera information av forskningarna ger den ansvariga personen och forskaren. Addressen av samtliga ansvariga personer av Vägförvaltningen är: Vägförvaltningen, Brotteknik, PB 33, FIN-00521 HELSINGFORS och e-post adressen är av form: förnamn.släktnamn@tiehallinto.fi. Forskningsteman är:

**Effekt av ytbeläggningar på durabilitet av betongkonstruktioner av broar.** Effekt av ytbeläggningar som använts för utseendet till beständighet av brokonstruktioner av betong utreddes. Därtill utarbetades det en grund för anvisningar gällande beständighet och livslängd av betongbroars ytbeläggning.

**Ytbeläggningarnas inverkan på betongkonstruktionernas hållbarhet i broar.** I forskningen utreddes det ut hur, av utseendemässiga skäl, använd ytbeläggning inverkar på betongkonstruktionernas hållbarhet i broar, samt skaffades grunder för direktiv angående ytbeläggning av betongbroar gällande deras hållbarhet samt livslängd.

**Mätning av relativ fuktighet och temperatur vid nya broar.** Förändringar i den relativa fuktigheten och temperaturen på betongbrodäck uppföljdes genom att använda den nyaste tekniken. Mätningarna uppfördes på nya betongbroar. Resultaten användes för att förklara blisterfenomenet av membranisoleringar på brodäck.

**Kloridinsamlingen i betong.** Inträngning och urlakning av klorider i betong utreddes på basen av litteratur. Några simulerande modeller över kloridprofiler och ansamlingar av klorider behandlas i denna utredning. Inträngningen och utlösningen av klorider beror bland annat på var byggnadsdelen eller betongytan ligger i bron, avståndet från körbanan, exponering för regn, snö, lakvatten, stänkvatten och periodisk uttorkning av betong. Miljöförhållanden, väderstreck, dominerande vindriktningar och fordonstrafik är också av betydelse

**Ålderbeteendekurvor av betongkonstruktioner på basen av inspektionsdata av broregister.** Konditionsklass – ålder -fördelningar och de huvudsakliga faktorer som inverkar på förvittringen av brokonstruktioner förklarades med hjälp av inspektionsdata i Broregister. Information om brokonstruktioners förvittringshastighet behövs för att kunna precisera de existerande förvittringsmodellerna. Dessa modeller används bland annat vid livslängdsanalyser.

**Sprickbildning under härdningen i vägglänkande konstruktioner.** Orsaker till förekomsten av sprickor under härdningen av betong samt uppskattning av risken för sprickbildning av långa vägglänkande konstruktioner som är fästa vid en kant betraktades i denna forskning. Därtill betraktades det olika medel för att eliminera och minska risken för sprickbildning samt värderades användbarheten av dessa medel.

**Inträngande inhibitorer.** Inverkan av betongens kvalitet på inträngning och beständighet av verkan av de sk. inträngande inhibitorerna undersöktes experimentellt. De använda inhibitorerna var Sika FerroGard-903 och MCI 2020.

**Tillämpad undersökning av enkla anodsystem för katodisk skydd av armerade betongkonstruktioner - nordisk samarbetsprojekt.** I undersökningen togs fram ekonomiskt och tekniskt underlag för användning av katodiskt skydd med enkla anodsystem som ska skydda kantbalksarmeringen mot kloridinitierad korrosion och räckeståndarna mot galvanisk

korrosion. Fyra olika anodsystem installerades på kantbalken vid Ölandsbron för undersökningen.

**Acceptabel grad och typ av rost av armeringsstänger för broar.** Vid en litteraturundersökning förklarades det till vilken grad kan armeringsstänger vara rostiga och vilken typ av rost är tillåten utan att det är skadligt. Därtill uppställdes det en utvärderingsmetod och skala för mängd och kvalitet av rost. Forskningen gäller broar.



**Siltatutkimusten tiivistelmät 2003.** [Abstracts of bridge studies 2003] Helsinki 2003. Finnish Road Administration. Bridge Engineering. Finnra Reports 17/2003. ISSN 1459-1553, ISBN 951-803-035-9, TIEH 3200806-v.

**Keywords:** Finnish Road Administration, bridges, abstracts, research results

## **ABSTRACT**

*This publication compiles the abstracts of studies completed in 2002 and 2003, coordinated and ordered by Finnra Bridge Engineering. Further information on the studies can be obtained from the person in charge at Finnra and the researcher of each study. The address of all people in charge of the study is: Finnra, Bridge Engineering, P.O. Box 33, FIN-00521 HELSINKI, FINLAND and the e-mail address is of the form fore-name.surname@tiehallinto.fi. The research subjects are:*

***The effect of coatings on the durability of concrete bridge structures.*** *The effect of aesthetic coatings on the durability and service life of concrete bridge structures was studied and a basis for new instructions on coating of concrete bridges to improve durability was established.*

***Measurements of relative humidity and temperature on new concrete bridges.*** *On new concrete bridges measurements were carried out to monitor changes of relative humidity and temperature in concrete bridge decks using current technology. The results were used in the research on bridge deck sheet membrane waterproofing blistering.*

***Chloride ingress in concrete.*** *A literature survey was carried out to clarify chloride diffusion and leaching in concrete. Models dealing with accumulation of chloride profiles are addressed. Chloride accumulation and leaching is among other things related to the bridge components, concrete surface location in the bridge, the distance from the roadway, rain, snow, drainage, splash water and periodical drying. General environmental conditions, compass points, direction of dominating winds, traffic density and commercial speed also have important roles.*

***Degradation rate curves of bridge structures based on the inspection data in the bridge register.*** *The condition class - age - distributions and the main factors affecting the rate of degradation of bridge structures based on the inspection data in the Bridge Register were studied. Data on the real degradation rate of structures is needed for improving the existing degradation models of structures. Degradation models are used in life cycle analyses among others.*

***Cracking at the early age of wall-like structures.*** *This research was focused on the reasons causing cracks during hardening in long wall-like structures that are fixed on an edge and how it is possible to estimate the cracking risk. In addition, different possibilities to eliminate and to minimise the cracking risk and to estimate their feasibility have been considered.*

***Migrating inhibitors.*** *The effect of the quality of the concrete on the penetration and the duration of function of migrating inhibitors based on organic amines was determined experimentally. The inhibitors studied were MCI-2020 and Sika Ferrocard-903.*

***Field investigation of new anode systems for cathodic protection of reinforced concrete structures - Nordic co-operative project.*** *Economical and technical knowledge basis for the use of cathodic protection with*

*simple anode systems that would be able to protect the edge beam reinforcements against corrosion initiated by chlorides, and the railing posts against galvanic corrosion were provided. For the field investigation four anode systems were assembled on the edge beam of the Öland bridge.*

***Allowable extent of rust on reinforcing bars for new bridges.*** *A literature survey was carried out to find out what is the maximum harmless extent and type of rust of concrete reinforcing bars for new bridges. Also a method to estimate and classify the extent and type of rust was made.*

## ALKUSANAT

Tiehallinnon siltatekniikka koordinoi ja teettää tutkimuksia ulkopuolisilla konsulteilla kehittääkseen siltatuotannon ohjeistusta. Osa tutkimuksista on toteutettu useiden tahojen yhteisrahoituksella. Rahoittajina Tiehallinnon ohella ovat toimineet Ratahallintokeskus (RHK), Säteilyturvakeskus (STUK), Betoniteollisuuden laaduntarkastus ry (BLT) sekä Helsingin, Turun, Tampereen ja Espoon kaupungit.

Tutkimusraportit eivät yleensä ole julkaisuja, joten Siltatekniikka julkaisee teettämiensä yleistä mielenkiintoa omaavien tutkimusten tiivistelmät. Julkaisu-aloitti vuosina 2000 ja 2001 päättyneiden tutkimusten tiivistelmät.

Tämän julkaisun laadinnasta on vastannut DI Ossi Räsänen Tiehallinnosta. Konsulttina on toiminut tutkija Liisa Salparanta VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta.

Helsingissä syyskuussa 2003

Tiehallinto  
Siltatekniikka

## FÖRORD

Vägförvaltningens Broteknik koordinerar och beställer forskning av konsulter för att utveckla direktiv för brotillverkning. En del av forskningarna är genomförda med gemensam finansiering av många beställare. Förutom Vägförvaltningen har också Banförvaltningscentralen (RHK), Strålsäkerhetscentralen (STUK), Betongindustrins kvalitetskontroll rf (BLT) samt Helsingfors, Åbo, Tammerfors och Esbo städer finansierat forskningarna.

Normalt är forskningsrapporter inte publikationer. Därför publicerar Vägförvaltningens Broteknik sammanfattningar av forskning som har allmänt intresse. Publikationsserien började med sammanfattningar av åren 2000 och 2001 avslutade forskning.

Diplomingör Ossi Räsänen vid Vägförvaltningen har ansvarat av utarbetningen av den här publikationen. Forskare Liisa Salparanta vid Statens tekniska forskningscentral, Bygg och transport har handlat som konsult.

Helsingfors, september 2003

Vägförvaltningen  
Broteknik

## **FOREWORD**

*Finnra Bridge Engineering coordinates and orders research from consultants to develop the directions of bridge production. Some of the studies have been co-financed by several parties. In addition to Finnra the Finnish Rail Administration, STUK (Radiation and Nuclear Safety Authority), BLT (Quality control of Concrete Industry in Finland) and cities of Helsinki, Turku, Tampere and Espoo have also financed the studies.*

*Research reports are generally not published. Therefore Bridge Engineering publishes abstracts of the studies that are of general interest to others. The compilation of abstracts from studies done in 2000 and 2001 was the first in the annual publication series.*

*Responsible for drafting this document is project manager Ossi Räsänen at Finnra. Research scientist Liisa Salparanta at VTT Building and Transport has served as a consultant.*

*Helsinki, September 2003*

*Finnra  
Bridge Engineering*

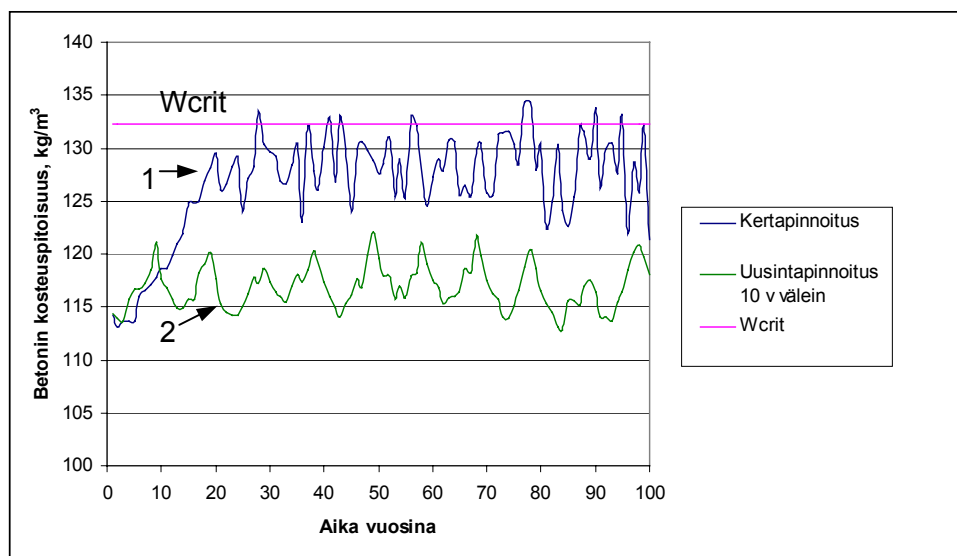
**Sisältö - Innehåll - Contents**

1	PINNOITTEIDEN VAIKUTUKSET SILTOJEN BETONIRAKENTEIDEN SÄILYVYYTEEN - YTBELÄGGNINGARNAS INVERKAN PÅ BETONGKONSTRUKTIONERNAS HÅLLBARHET I BROAR - <i>THE EFFECT OF COATINGS ON THE DURABILITY OF CONCRETE BRIDGE STRUCTURES</i>	13
2	SUHTEELLISEN KOSTEUDEN JA LÄMPÖTILAN MITTAAMINEN UUSILLA BETONISILLOILLA - MÄTNING AV RELATIV FUKTIGHET OCH TEMPERATUR VID NYA BROAR - <i>MEASUREMENTS OF RELATIVE HUMIDITY AND TEMPERATURE ON NEW CONCRETE BRIDGES</i>	19
3	SULATUSSUOLOJEN KERÄÄNTYMINEN BETONIIN - KLORIDINSAMLINGEN I BETONG - <i>CHLORIDE INGRESS IN CONCRETE</i>	23
4	SILTARAKENTEIDEN IKÄKÄYTTÄYTYMISKÄYRÄT SILTAREKISTERIN VAURIO TIETOJEN PERUSTEELLA - ÅLDERBETEENDEKURVOR AV BROKONSTRUKTIONER PÅ BASEN AV INSPEKTIONS DATA AV BROREGISTER - <i>DEGRADATION RATE CURVES OF BRIDGE STRUCTURES BASED ON THE INSPECTION DATA IN THE BRIDGE REGISTER</i>	26
5	VARHAISHALKEILU SEINÄMÄISISSÄ RAKENTEISSA - SPRICKBILDNING UNDER HÄRDNINGEN I VÄGGLIKNADE KONSTRUKTIONER - <i>CRACKING AT THE EARLY AGE OF WALL-LIKE STRUCTURES</i>	31
6	TUNKEUTUVAT INHIBIITTORIT - INTRÄNGANDE INHIBITORER - <i>MIGRATING INHIBITORS</i>	35
7	TERÄSBETONIRAKENTEIDEN KATODISEN SUOJAUKSEN SOVELTAVA TUTKIMUS YKSINKERTAISIN ANODISYSTEEMEIN - YHTEISPOHJOISMAINEN TUTKIMUS - TILLÄMPAD UNDERSÖKNING AV ENKLA ANODSYSTEM FÖR KATODISK SKYDD AV ARMERADE BETONGKONSTRUKTIONER - NORDISK SAMARBETSPROJEKT - <i>FIELD INVESTIGATION OF NEW ANODE SYSTEMS FOR CATHODIC PROTECTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES - NORDIC CO-OPERATIVE PROJECT</i>	39
8	SILTOIHIN KÄYTETTÄVIEN RAUDOITUSTANKOJEN SALLITTU RUOSTEMÄÄRÄ - ACCEPTABEL GRAD OCH TYP AV ROST AV ARMERINGSSTÄNGER FÖR BROAR - <i>ALLOWABLE EXTENT OF RUST ON REINFORCING BARS FOR NEW BRIDGES</i>	43

## 1 PINNOITTEIDEN VAIKUTUKSET SILTOJEN BETONIRAKENTEIDEN SÄILYVYYTEEN

Vastuhenkilö Tieshallinnossa: Kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, puh. 0204 22 2624  
 Tutkija: Erikoistutkija Erkki Vesikari, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, PL 1800, 02044 VTT. Puh. (09) 456 6922, Erkki.Vesikari@vtt.fi

Raportti: LEIVO, Markku & **VESIKARI, Erkki: Pinnoitteiden vaikutukset siltojen betonirakenteiden säilyvyyteen.** Espoo 5.12.2001, VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka, tutkimuslöstus nro RTE3816/01.



Tietokonesimulointikuva kosteuspitoisuuden vaihtelusta betonin pinnalla: (1) pinnoitus tehdään vain kerran (2) pinnoitus uusitaan 10 vuoden välein. (VTT)

Datamaskin simulation av den relativa fuktigheten av betongens yta: (1) ytbeläggningsen appliceras bara en gång (2) ytbeläggningsen förnyas med 10 års mellanrum (VTT)

Computer simulation of the relative humidity changes of concrete surface: (1) coating is carried out only once (2) coating is renewed in 10 years intervals. (VTT)

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ulkonäkösyistä käytettävien pinnoitteiden vaikutus betonisten siltarakenteiden säilyvyyteen ja hankkia perusteet betonisiltojen pinnoittamista koskevalle ohjeistukselle säilyvyyden ja käytöjän kannalta.

Vaikka yhtenä tutkimuksen lähtökohtana oli yksistään ulkonäkösyistä käytettävien pinnoitteiden säilyvyysvaikutusten selvittäminen, pinnoitteita tarkasteltiin periaatteessa täysin yleisesti asettamatta rajoituksia pinnoitteiden paksuudelle, tiivydelle, kemialliselle koostumukselle tai primäärisele käyttötarkoitukselle.

Tutkimuksessa selvitettiin pinnoitteiden vaikutuksia eri turmeltumistekijöihin, kuten betonin karbonatisoitumiseen, kloridien tunkeutumiseen, pakkasrapautumiseen ja raudoituksen korroosioon. Yleensä pinnoitteilla on sekä suora että epäsuora vaikutus em. turmeltumistekijöihin. Suora vaikutus johtuu pinnoitteiden omasta diffuusiovastuksesta, joka hidastaa hiilidioksidin ja kloridien liikkeitä. Epäsuora vaikutus syntyy kosteuspitoisuuden kautta, kun pinnoite muuttaa alusbetonin kosteuspitoisuutta ja diffuusiovastusta. Mo-

lemmat vaikutukset on otettava huomioon. Pinnoitteiden suojausvaikutusta arvioitaessa on otettava huomioon myös niiden vikaantuminen iän mukana.

Betonin karbonatisoitumiselle voidaan johtaa differentiaaliyhtälö, jonka ratkaisuna saadaan pinnoitteen diffuusiovastuksesta riippuva karbonatisoitumissyvyuden laskentakaava. Periaatteessa samanlaista laskentakaavaa voidaan soveltaa myös kloridien tunkeutumiselle. Nämä teoreettiset laskelmat soveltuvat kuitenkin ainoastaan vakio-olosuhteissa tapahtuvaan tarkasteluun. Ne eivät ota huomioon myöskään pinnoitteen vikaantumista iän mukana.

Jos ulkoiset olosuhteet vaihtelevat, kuten ulkoilmaolosuhteissa, ja pinnoitteiden vikaantumisen vaikutukset halutaan selvittää, voidaan tutkimuksessa soveltaa tietokonesimulointia. Tietokonesimuloinnissa säärasitukset otetaan huomioon luonnonmukaista säärasitusta jäljittelevillä säämalleilla. Betonissa ja raudoiteissa tapahtuva turmeltuminen arvioidaan rakenteen kosteuspitoisuudesta, lämpötilasta, betonin ominaisuuksista ja rakenteellisista yksityiskohdista riippuvilla turmeltumismalleilla. Pinnoitteiden vaikutukset otetaan huomioon malleilla, jotka kuvastavat betonipinnan läpi kulkevien kosteusvirtauksien sekä hiilidioksidi- ja kloridivirtausten hidastumista.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin tietokonesimuloinnilla pinnoitteiden vaikutuksia kosteuspitoisuuteen ja sen kautta pinnoitteiden käyttöikään ja alusbetonin pakkasrapautumiseen. Pinnoitteen omalla vikaantumisella on suuri vaikutus pinnoitteen suojauskykyyn. Vioittuneet pinnoitteet voivat jopa edistää rakenteen pakkasvaurioitumista.

Pinnoitteiden säilyvyysvaikutuksia ja taloudellisuutta voidaan tutkia elinkaari-analyysillä. Käytetyssä elinkaarianalyysimenetelmässä, rakenteen elinkaari-profiili kuvataan Markovin ketjumenetelmällä. Tämän tutkimuksen yhteydessä selvitettiin, miten pinnoitteiden suorat ja epäsuorat vaikutukset rakenteen turmeltumiseen voidaan ottaa huomioon markovilaisissa siirtymätodennäköisyysmatriiseissa ja laskentaohjelmaa täydennettiin näiden tutkimustulosten mukaisesti. Elinkaarianalyysien valmisteluvaiheeseen sisältyi myös pinnoitteiden läpäisevyysparametrien selvittäminen 1980- ja 1990-luvulla VTT Rakennustekniikassa tehtyjen kokeellisten tutkimusten perusteella. Analyysien päämääränä oli verrata eri tyyppisten pinnoitteiden elinkaarikustannuksia eri olosuhteissa.

Sillan alla, sateelta ja roiskeilta suojatuissa olosuhteissa periaatteessa kaikkia pinnoitteita on mahdollista käyttää, koska betonin kosteuspitoisuus jää niin alhaiseksi, että pakkasvaurioita ei synny ja pinnoitteiden oma säilyvyys on yleensä hyvä. Pinnoitteilla voidaan suojata tehokkaasti rakennetta ja niiden elinkaarikustannukset ovat kohtuulliset. Rakenteet eivät kuitenkaan aina tarvitse ylimääräistä suojausta, sillä näissä olosuhteissa vaatimusten mukaisilla betonipeitteillä rakenteet voivat säilyä keskimäärin 150 vuotta ilman pinnoitteitakin.

Alusrakenteiden pystysuorissa betonipinnoissa, jotka ovat alttiina roiskevesille tai viistosateelle, voidaan käyttää läpäisyominaisuuksiltaan hyväksytyviä pinnoitteita (Taulukko1). Yleensä SILKO-hyväksytyt pinnoitteet soveltuvat. Näissä rakenteissa pinnoitteiden suojausvaikutus voi olla merkittävä. Elinkaarikustannukset ovat jonkin verran korkeammat kuin täysin suojatuissa rakenteissa, koska pinnoitteiden käyttöikä on lyhyempi.



Hyvin suurelle kosteus- ja kloridirasitukselle altistuvissa rakenteissa, kuten reunapalkeissa, tavanomaisia pinnoitteita ei kannata käyttää lainkaan. Siilaani- ja akryylipohjaisia impregnoitiaineita voidaan käyttää rakenteiden suojaamiseksi ja käyttöiän pidentämiseksi. Polyuretaanivedeneristyksellä elinkaarikustannukset ovat suuremmat kuin impregnoitiaineilla, mutta hyvän suojauskyvyn johdosta sen käyttöä voidaan perustella erityistapauksissa.

Taulukko 1. Pinnoitteille asetetut vaatimukset.

Olosuhteet	Vaatus
Roiskevesille tai viistosateelle alttiina olevat alusrakenteiden pystysuorat betonipinnat	$m_{k0} - 0,6 \cdot m_{e0}^{0,6} < 0$
Hyvin suurelle kosteus- ja kloridirasitukselle altistuvat rakenteet, kuten reunapalkit	$m_{k0} - 0,35 \cdot m_{e0}^{0,65} < 0$

$m_{k0}$  pinnoituksesta johtuva betonin kapillaarisuusluvun pienennyskerroin (uusi pinnoite).

$m_{e0}$  pinnoituksesta johtuva betonin kosteuden siirtoluvun pienennyskerroin (uusi pinnoite).

## 1 YTBELÄGGNINGARNAS INVERKAN PÅ BETONGKONSTRUKTIONERNAS HÅLLBARHET I BROAR

Ansvarig person i Vägförvaltningen: Utvecklingsschef Jouko Lämsä, tel. +358 204 22 2624

Forskare: Special forskare Erkki Vesikari, VTT Bygg och transport, PB 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6922, Erkki.Vesikari@vtt.fi.

Rapport: LEIVO, Markku & VESIKARI, Erkki: Ytbeläggningarnas inverkan på betongkonstruktionernas hållbarhet i broar. Esbo 5.12.2001, VTT BYGG OCH TRANSPORT, forskningsrapport nr RTE3816/01.

Forskningens syfte var att reda ut hur, av utseendemässiga skäl, använd ytbeläggning inverkar på betongkonstruktionernas hållbarhet i broar, samt skaffa grunder för direktiv angående ytbeläggning av betongbroar gällande deras hållbarhet samt livslängd.

Trots att en av forskningens utgångspunkter var att klargöra hållbarhetseffekten hos, endast av utseendemässiga skäl använda ytbeläggningar, granskades dessa i princip helt allmänt och utan att sätta gränser för varken deras tjocklek, täthet, kemiska sammansättning eller primära användningsändamål.

I forskningen klargjordes ytbeläggningarnas inverkan på diverse fördärvande faktorer såsom karbonatisering av betongen, kloriders inträngning, köldavflagnig samt korrosion av armeringen. Ofta inverkar ytbeläggningarna både direkt och indirekt på ovannämnda fördärvande faktorer. Den direkta inverkan beror på ytbeläggningarnas egna diffusionsmotstånd som fördröjer koldioxidens och kloridernas rörelser. Den indirekta inverkan uppkommer via fukthalten då ytbeläggningarna ändrar underlagsbetongens fukthalt och diffusionsmotstånd. Inverkan bör tagas i beaktande i bägge fallen. När ytbeläggningarnas skyddande effekt värderas bör även tagas i beaktande deras feluppkomst med stigande ålder.

Betongens karbonatisering kan härledas ur en differentialekvation. Lösningen till denna finner man i ett kalkylschema där ytbeläggningens diffusionsmotstånd är avhängigt karbonatiseringsdjupet. I princip kan ett liknande kalkylschema anpassas för kloriders

inträngning. Dessa teoretiska uträkningar kan dock endast tillämpas för observationer gjorda under standardomständigheter. De tar ej heller i beaktande ytbeläggningsens fördärvande faktorer med stigande ålder.

Om de yttre omständigheterna förändras, så som utomhus, och man vill undersöka ytbeläggningsarnas fördärvande faktorer, kan man i forskningen tillämpa datamaskinsimulation. I datamaskinsimulation tages väderpåfrestningar i beaktande på ett sätt som efterliknar verkliga förhållanden. Fördärvning av betong och armeringsjärn bedöms på basen av konstruktionernas fukthalt, temperatur, betongens egenskaper, och strukturella detaljer vilka är avhängiga ett fördärvsschema. Ytbeläggningsarnas påverkan tages ibeaktande med hjälp av modeller, vilka återger de genom betongytan gående fuktighetsflödena samt fördröjande av koldioxid- och kloridflöden.

I denna forskning klargjordes med hjälp av datamaskinsimulation ytbeläggningsarnas påverkan på fukthalten och via den ytbeläggningsarnas livslängd och underlagsbetongens köldavflagnings. Ytbeläggningsens egen fördärvning har stor betydelse för dess skyddsförmåga. Skadade ytbeläggningar kan till och med befrämja köldskador på konstruktionen.

Ytbeläggningsarnas skyddsförmåga samt ekonomiska förmånlighet kan undersökas med hjälp av en livslängdsanalys. I använda livslängdsanalysmetoder avbildas konstruktionens livslängdsprofil med hjälp av Markovs kedjemetod. I samband med denna undersökning klargjordes hur ytbeläggningsarnas direkta och indirekta påverkan på konstruktionens fördärvande kan tagas i beaktande i den markovska övergångssannolikhetsmatrisen och kalkylschemat kompletterades i enlighet med forskningsresultatet.

I livscykelanalysernas begynnelsekedje ingick även en utredning över ytbeläggningsarnas genomtränglighetsparametrar på basen av i VTT Byggnadsteknik gjorda experimentella undersökningar. Syftet med analyserna var att jämföra livscykelkostnader för olika typer av ytbeläggning under skilda omständigheter.

Under bron, under skyddade omständigheter, skyddade för regn och stänk, kan i princip alla ytbeläggningar användas, tack vare att betongens fukthalt är så låg att köldskador inte uppstår och ytbeläggningsarnas egen hållbarhet ofta är god. Med ytbeläggningar kan man effektivt skydda konstruktioner och deras livscykelkostnader är måttliga. Konstruktionerna behöver emellertid inte alltid ett överlappsskydd, ty under dessa förhållanden kan konstruktionerna, med ett betongskydd som uppfyller kraven, förvaras i medeltal 150 år utan ytbeläggning.

På underlagskonstruktionernas lodräta betongytor, vilka är utsatta för stänk och regn, kan man använda ytbeläggningar med godkända genomträngningsegenskaper (Tabell 1). I allmänhet är SILKO-godkända ytbeläggningar lämpliga. I dessa konstruktioner kan ytbeläggningsarnas skyddande inverkan vara märkbar. Livscykelkostnaderna är en aning högre än i helt skyddade konstruktioner, för att ytbeläggningsarnas livslängd är kortare.

Konstruktioner, vilka är utsatta för mycket höga fuktighets- och kloridpåfrestningar, så som kantbalkar, lönar det sig inte att skydda med vanliga ytbeläggningar. Silan- och akrylbaserade impregneringsmedel kan användas för att skydda konstruktionerna och förlänga deras livslängd. Livslängdskostnaderna är högre med polyuretanvattenisolering än med impregneringsmedel, men tack vare god skyddsförmåga kan dess användning motiveras i specialfall.

Tabell 1. För ytbeläggningar ställda krav.

Omständighet	Krav
För stänk och regn utsatta lodrätta betongytor i underlagskonstruktioner	$m_{k0} - 0,6 \cdot m_{e0}^{0,6} < 0$
Konstruktioner utsatta för mycket höga fuktighets- och kloridpåfrestningar, så som kantbalkar	$m_{k0} - 0,35 \cdot m_{e0}^{0,65} < 0$

$m_{k0}$  Förminskningsfaktor av betongens kaplliaritetstal beroende på ytbeläggnings (ny ytbeläggning)

$m_{e0}$  Förminskningsfaktor av betongens fuktighetstransferstal beroende på ytbeläggnings (ny ytebeläggning).

## 1 THE EFFECT OF COATINGS ON THE DURABILITY OF CONCRETE BRIDGE STRUCTURES

Person in charge in Finnra: Development Manager Jouko Lämsä, te. +358 204 22 2624  
 Researcher: Senior research scientist Erkki Vesikari, VTT Building and transport, P.O.Box 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6922, Erkki.Vesikari@vtt.fi  
 Report: **LEIVO, Markku & VESIKARI, Erkki: The effect of coatings on the durability of concrete bridge structure.** Espoo 5.12.2001, VTT BUILDING AND TRANSPORT, Research report RTE3816/01

*The objective of the research was to study the effect of aesthetic coatings on the durability and service life of concrete bridge structures and to establish a basis for new instructions on coating of concrete bridges to improve durability.*

*Although one starting point in the research was to study the durability effects of aesthetic coatings the method of treatment in the research was generic. No restrictions were set for coatings with respect to their thickness, permeability, chemical composition or primary function.*

*The effects of coatings on different degradation factors such as carbonation, penetration of chlorides, frost attack and corrosion of reinforcement were studied. Usually the coatings have both a direct and an indirect influence on these degradation factors. The direct effect is a result of the diffusion barrier for the flow of carbon dioxide and chlorides formed by the coatings. The indirect effect is generated through the moisture content as the coatings change the moisture content and the diffusion barrier of the subconcrete. Both effects must be considered. The degradation of coatings themselves must also be considered when evaluating the total structural effects as the permeability properties of coatings change with time.*

*An analytical formula for the depth of carbonation on a coated concrete surface can be found in the literature. In principle the same kind of formula can also be applied for chloride penetration. However, these analytical calculation methods can be applied only for constant environmental conditions. They do not consider the degradation of coatings either.*

*In varying environmental conditions, as in normal outdoor weather, and when it is desired that the degradation of coatings is considered, computer simulation can be applied. In computer simulation the natural weather condi-*

tions are simulated by weather models. The degradation processes in concrete and in reinforcement are emulated by degradation models which depend on the moisture content and temperature of the structure, properties of the concrete and structural details. The effects of coatings are considered by models which describe the retarding effects of coatings on the flow of moisture, carbon dioxide and chlorides.

In this research computer simulation was used to study the effects of coatings on the moisture content of concrete, the service life of coatings themselves and the frost attack of subconcrete. Holes, scratches and other defects have a great influence on the protective properties of coatings. Degraded coatings can even accelerate frost attack.

The durability effects and economic implications of coatings can be studied by life cycle analysis methods. In the LC analysis method used in this research, the life cycle profile of structures is described by the Markov chain method. One task in the research was to study how the direct and indirect effects of coatings can be considered in the markovian transition probability matrices. The Excel-based analysis programmes were then modified according to these findings. Another task was to determine the parameter values of coatings through results of many laboratory tests performed in VTT in the 1980's and 1990's. The aim of the LC analyses was to compare the LC costs of different types of coatings.

Table 1. Requirements for coatings.

<i>Environmental conditions</i>	<i>Requirement</i>
<i>Vertical concrete surfaces of substructures which are exposed to driving rain or splash water</i>	$m_{k0} - 0,6 \cdot m_{e0}^{0,6} < 0$
<i>Structures which are exposed to a severe moisture and chloride burden such as edge beams</i>	$m_{k0} - 0,35 \cdot m_{e0}^{0,65} < 0$

$m_{k0}$  coating related reduction factor for the capillary index of concrete (new coating).

$m_{e0}$  coating related reduction factor for the moisture transfer coefficient of concrete (new coating).

## 2 SUHTEELLISEN KOSTEUDEN JA LÄMPÖTILAN MITTAAMINEN UUSILLA BETONISILLOILLA

Vastuuhenkilö Tiehallinnossa: Kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, puh. 0204 22 2624  
Tutkija: Tutkija Hemming Paroll, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka (eläkkeellä, yhteydenotot: Erikoistutkija Erkki Vesikari, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, PL 1800, 02044 VTT. Puh. (09) 456 6922, Erkki.Vesikari@vtt.fi ).  
Raportti: **LEIVO, Markku & PAROLL, Hemming: Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaaminen uusilla betonisilloilla.** Espoo 29.11.2001, VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTA-TEKNIikka, tutkimusselostus nro RTE4235/01.



Mitta-anturit reunapalkissa. (VTT)  
Sensorer i kantbalken (VTT)  
*Sensors in edge beam. (VTT)*

Siltojen kermieristysten kuplimisilmiöiden osatutkimuksena suoritettiin uusilla betonisilloilla suhteellisen kosteuden ja lämpötilan seurantamittauksia vuosina 1995-1998. Näitä seurantamittauksia jatkettiin vuosina 1998-2001. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää suhteellisen kosteuden ja lämpötilan muutoksia betonisiltakansissa käyttäen uusinta mittaustekniikkaa. Mittaustuloksia hyödynnettiin siltojen kermieristysten kuplimisilmiöiden selvitystutkimuksessa.

Kolmea kosteusanturityyppiä verrattiin keskenään betonisilloilla, jotta selvittäisiin, mitkä anturit ja mittausten menetelmät olivat sopivia käytettäväksi vaativissa ulkoilmaolosuhteissa. Mittausten menetelmän ja anturin on täytettävä kaksi kriteeriä: betonin ja anturin lämpötilan on mittaushetkellä oltava samat sekä anturin suhteellisen kosteuden näytön on seurattava lämpötilaa, eli kun lämpötila nousee on suhteellisen kosteuden (betonin huokosilmassa) nouseva ja vastaavasti lämpötilan laskiessa on suhteellisen kosteuden laskettava. Tämä ilmiö on päinvastainen verrattuna suhteellisen kosteuden lämpötilariippuvuuteen normaaliolosuhteissa (esim. ulkoilma, huoneilma), joissa lämpötilan noustessa ilman suhteellinen kosteus laskee tai vastaavasti lämpötilan laskiessa ilman suhteellinen kosteus nousee. Kaikki tutkimuksessa

mukana olleet anturit eivät täyttäneet mainittuja ehtoja. Ainoa tyydyttävä anturi oli betoniin sisään valettavaa MS10220TY, jonka valmistajan ilmoittama virheraja oli  $\pm 2$  % RH.

Tutkimuksessa todettiin, että siltakannessa vaikuttivat betonin pintakerroksen suhteelliseen kosteuteen ympäristöolosuhteet: sade, ympäröivän ilman lämpötila ja auringonpaiste. Betonin pintakerroksen suhteellinen kosteus käyttäytyi eri tavalla kuin suhteellinen kosteus syvemmillä betonissa. Betonipinnan suhteellinen kosteus nousi silloilla kermin asennuksen jälkeen. Betonin huokosilman suhteellisen kosteuden vaihtelu seurasi betonin vuorokauden ja vuodenaikojen lämpötilavaihteluja. Suhteellisen kosteuden vuodenaajoista johtuva vaihteluväli oli 77 % - 98 % RH. Siltakannen ja reunan yläpinnan kosteus oli korkeampi (eriste pinnan päällä) kuin vastaavat arvot alapinnalla (ei eristettä). Ylä- ja alapinnan suhteellisen kosteuden ero oli vuodenaajasta riippuen 5 - 20 % RH. Ero oli suurin kesällä (n. 20 % RH) ja pienin talvella (n. 5 % RH).

Kosteus- ja lämpötilamittausten tuloksia on hyödynnetty kermieristysten kuplimisilmiöiden tutkimuksessa, josta on ilmestynyt raportti *Laukkanen K. ym. Siltojen kermieristysten kuplimisen estäminen. Loppuraportti. Tielaitoksen selvityksiä 45/1998. Helsinki 1998. 95 s. + liitt. 3 s.*

## 2 MÄTNING AV RELATIV FUKTIGHET OCH TEMPERATUR VID NYA BROAR

Ansvarig person i Vägförvaltningen: Utvecklingschef Jouko Lämsä, tel. +358 204 22 2624

Forskare:

Forskare Hemming Paroll, VTT Bygg och transport (pensionerad, kontakt: Special forskare Erkki Vesikari, VTT Bygg och transport, PB 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6922, Erkki.Vesikari@vtt.fi).

Rapport:

**LEIVO, Markku & PAROLL, Hemming: Mätning av relativ fuktighet och temperatur vid nya broar.** Esbo 29.11.2001, VTT BYGG OCH TRANSPORT, forskningsrapport nr RTE4235/01.

Uppföljningsmätningar av den relativa fuktigheten och temperaturen utfördes på nya betongbroar från 1995 till 1998. Denna forskning var en del av ett större projekt där man undersökte blisterfenomenet av membranisoleringar på brodäck. Dessa mätningar fortsatte från 1998 till 2001. Forskningens mål var att uppfölja förändringar i den relativa fuktigheten och temperaturen på betongbrodäck genom att använda den nyaste tekniken. Resultat utnyttjades vid projektet på blisterfenomenet av membranisoleringar på brodäck.

Tre olika typer av fuktsensorer jämfördes på betongbroar, för att få fram vilka mätningmetoder och sensorer som är bäst att använda i de krävande utomhusförhållandena. Mätningmetoden och sensorn måste uppfylla två krav: för det första bör betongen och sensorn ha samma temperatur vid mätningstillfället och för det andra bör den relativa fuktigheten hos sensorn följa med temperaturen dvs. när temperaturen stiger, stiger också den relativa fuktigheten (i betongens porluft) och på motsvarande sätt när temperaturen sjunker, sjunker också den relativa fuktigheten. Detta fenomen är omvänt om man jämför den relativa fuktighetens temperaturberoende vid normala förhållanden (t.ex. utomhus eller inomhus) där den relativa fuktigheten sjunker när temperaturen stiger eller på motsvarande sätt när temperaturen sjunker stiger den relativa fuktigheten. Alla sensorer som var med i forskningen uppfyllde inte dessa krav. En enda sensor var acceptabel: MS10220TY, som gjuts in i betong. Mätinexaktheten av denna sensor är enligt tillverkaren  $\pm 2$  % RH.

Forskningen visade, att den relativa fuktigheten hos betongytan på brodäck påverkades av miljöförhållanden: nederbörd, temperaturen hos den omgivande luften och solsken. I ytskiktet hos betongen betedde den relativa fuktigheten sig på ett annat sätt än djupare in i betong. Den relativa fuktigheten steg vid ytan efter monteringen av membranisoleringen. Variationen i den relativa fuktigheten hos porluft följde betongens dagliga och årliga temperaturvariationer. Den relativa fuktigheten hade en variationsvidd mellan 77 % och 98 % RH beroende på årstid. Fuktigheten på övre ytan hos brodäck och kant var högre ( isoleringen på ytan) än fuktigheten på nedre ytan ( ej isolerad). Skillnaden i den relativa fuktigheten mellan övre ytan och nedre ytan var 5 – 20 % beroende på årstid. Skillnaden var störst på sommaren ( ca. 20 % RH) och minst på vintern ( ca. 5 % RH).

Resultat av dessa fuktighet och temperaturmätningar har utnyttjats vid forskningen av blisterfenomenet hos membranisoleringar på brodäck. Av den här forskningen har publicerats följande slutrapport: *Laukkanen K. ym. Siltojen kermieristysten kuplimisen estäminen (The prevention of bridge deck sheet membrane waterproofing blistering). Loppuraportti. Tielaitoksen selvityksiä 45/1998. Helsinki 1998. 95 s. + liitt. 3 s. (På finska).*

## 2 MEASUREMENTS OF RELATIVE HUMIDITY AND TEMPERATURE ON NEW CONCRETE BRIDGES

*Person in charge in Finnra:  
Researcher:*

*Development Manager Jouko Lämsä, te. +358 204 22 2624  
Senior research scientist Hemming Paroll, VTT Building and  
transport (retired, contacts: Senior research scientist Erkki  
Vesikari, VTT Building and transport, P.O.Box 1800, FIN-  
02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6922,  
Erkki.Vesikari@vtt.fi ).*

*Report:*

**LEIVO, Markku & PAROLL, Hemming: Measurements of relative humidity and temperature on new concrete bridges.** Espoo 29.11.2001, VTT BUILDING AND TRANSPORT, Research report RTE4235/01

*On new concrete bridges, relative humidity and temperature monitoring measurements were carried out from 1995 to 1998. This research was a part of a larger project on bridge deck sheet membrane waterproofing blistering. The monitoring measurements were later continued from 1998 to 2001. The aim of the research was to monitor changes of relative humidity and temperature in concrete bridge decks using current technology. The results were used in the research on bridge deck sheet membrane waterproofing in bridges.*

*Three moisture measurement types were compared on concrete bridges to find out which measurement methods and sensors were best fit for use in demanding outdoor conditions. The measurement method and sensor have to meet two criterion for evaluation: the temperature of the concrete and the sensor must be equal at the moment of measurement and the sensor relative humidity must follow the temperature, that is when the temperature rises the relative humidity (in concrete pore air) rises and correspondingly when the temperature lowers the relative humidity lowers. This phenomenon is opposite to the temperature dependence of the relative humidity in normal conditions (outdoor air and room air), where the relative humidity rises when the temperature lowers or correspondingly the relative humidity lowers when the temperature rises. Not all of the tested sensors met the above mentioned criteria. The only satisfactory sensor was the cast-in-place type MS10220TY.*

*The measurement inaccuracy of this sensor as reported by the manufacturer was  $\pm 2\%$  RH.*

*The research showed that the concrete surface layer in the bridge deck was affected by environment conditions: rain, temperature of the surrounding air and sunshine. In the surface layer the concrete relative humidity behaved differently from the relative humidity deeper in the concrete body. The relative humidity rose on bridges after the application of sheet membrane waterproofing. The changes of concrete relative humidity followed the daily and seasonal changes of temperature. The range of seasonal relative humidity change due to temperature was 77% to 98% RH. The relative humidity in the bridge deck and in the upper surface of the bridge edge were higher (waterproofing on the surface) than the corresponding values on the bottom surface (no waterproofing). The difference between the upper and bottom surface was 5 to 20 % RH, depending on the season. The difference was biggest in the summer (about 20 % RH) and smallest in the winter (about 5% RH).*

*The results of this research have been used in the research on blistering of sheet membrane waterproofing. From this research a publication has been made:*

*Laukkanen K. ym. Siltojen kermieristysten kuplimisen estäminen (The prevention of bridge deck sheet membrane waterproofing blistering). Loppuraportti. Tielaitoksen selvityksiä 45/1998. Helsinki 1998. 95 s. + liitt. 3 s. (In Finnish).*



### 3 SULATUSSUOLOJEN KERÄÄNTYMINEN BETONIIN

Vastuuhenkilö Tiehallinnossa: Projektipäällikkö Ossi Räsänen, puh. 0204 22 2636  
Tutkija: Tutkija Hannele Kuosa, VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, PL 1800, 02044 VTT. Puh. (09) 456 6911, Hannele.Kuosa@vtt.fi.  
Raportti: **LEIVO, Markku & KUOSA, Hannele: Sulatussuolojen kerääntyminen betoniin.** Espoo 27.6.2003. VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka, tutkimusselostus nro RTE2256/03.



Suolavesiroiskeita maantiellä. (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut)  
Salthaltig stänkvatten på landsvägen. (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut)  
*Chloride containing splash water on a highway. (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut )*

Kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin kloridien tunkeutumis- ja huuhtotumisilmiötä. Tuloksia esitetään sekä todellisissa olosuhteissa tehdyistä seuranta-tutkimuksista että kokeellisista tutkimuksista.

Ilmiöön vaikuttavat sekä betonin ajan mukana muuttuvat materiaali-ominaisuudet että sillan ja rakenneosan ympäristöolosuhteet ja lähemmin betonipinnan mikroilmasto.

Selvityksessä käsitellään suolojen kerääntymistä ja muodostuvia kloridi-profiileja simuloivia malleja ja niillä saatuja tuloksia. Osassa malleista otetaan huomioon mm. ympäristön vaihteleva kosteuspitoisuus sekä betonin pinnan vaihteleva kloridipitoisuus. Ilmiön tarkka mallinnus ei ole käytännön tarpeisiin kuitenkaan välttämätöntä, jos pintaosaa syvemmillä tunkeutuvien kloridien määrä kyetään mallintamaan tai arvioimaan oikein. Tärkeintä on saada luotettava tieto ajankohdasta, jolloin kriittinen kloridipitoisuus raudoitteiden syvyydellä ylittyy.

Selvityksessä on käsitelty joitakin tekijöitä, jotka on hyvä tuntea ja ottaa huomioon otettaessa silloista näytteitä kloridimäärityksiä varten niiden tunkeutumisen mallinnusta varten. Saatavaa tietoa tulee soveltaa oikein ja tietää, minkälaista ja kuinka yleistä tapausta se edustaa.

Selvityksessä käsitellään myös sulatussuolojen kerääntymistä betonirakenteisiin siltaolosuhteissa, joissa kloridien tunkeutumiseen ja huuhtoutumiseen vaikuttavat oleellisesti rakenneosan ja tarkasteltavan betonipinnan sijainti sillassa. Suolattavasta ajoradasta mitattava etäisyys ja korkeusasema vaikuttaa siihen, kuinka paljon klorideja voi eri tavoin kulkeutua kunkin rakenneosan pinnalle. Kaikki sillan osat eivät myöskään altistu samalla tavoin sateelle, lumelle ja esimerkiksi valumisvesille tai roiskevesille ja betonin ajoittaiselle kuivumiselle. Merkitystä on myös mm. sillan yleisillä ympäristöolosuhteilla, ilmansuunnilla, vallitsevilla tuulen suunnilla ja ajoneuvo-liikenteellä. Sillan rakenneosien ympärille muodostuvat ilmavirtaukset vaikuttavat sekä kloridien että niitä huuhtovien vesien liikkeisiin eli lopulta sekä kloridien tunkeutumiseen että huuhtoutumiseen.

### 3 KLORIDINSAMLINGEN I BETONG

Ansvarig person i Vägförvaltningen: Projektchef Ossi Räsänen, tel. +358 204 22 2636  
Forskare: Forskare Hannele Kuosa, VTT Bygg och transport, PB 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6911, Hannele.Kuosa@vtt.fi  
Rapport: LEIVO, Markku & KUOSA, Hannele: Kloridinsamlingen I betong. Esbo 27.6.2003, VTT BYGG OCH TRANSPORT, forskningsrapport nr RTE2256/03.

Forskningens mål var att på basen av litteratur utreda kloridkonvektion: inträngning och urlakning av klorider i betong. I denna rapport framläggs resultat både från uppföljningsundersökningar i verkliga förhållanden och från experimentella undersökningar.

Det är svårt att formulera en exakt modell av det här fenomenet. Olika faktorer inverkar på saken: betongens materialegenskaper som förändras med tiden samt klimatiska och miljöförhållanden av en hel bro eller byggnadsdel. Närmare betongytan är mikroklimatet det mest verksamma.

Några simulerande modeller över kloridprofiler och ansamlingar av klorider samt erhållna resultat har behandlats ytligt i denna utredning. I en del av modellerna tar man i beaktande bl.a. omgivningens varierande fukthalt och betongytans varierande kloridhalt. Exakta modeller är inte nödvändiga om mängden av de klorider, som tränger sig djupare in i betong kan uppskattas eller modelleras rätt. Det viktiga är att få en säker uppgift om den tidpunkt när den kritiska kloridhalten nås vid armeringen.

I denna rapport behandlas några saker som är bra att veta och ta i beaktande när man tar prover för kloridanalyser i samband med inträngningsmodellering. Varje kloridprofil måste tillämpas rätt och man måste veta hur case-specifik den är.

I denna rapport behandlas också insamlingen av strösalt i betongbrokonstruktioner mer praktiskt taget. Inträngningen och utlösningen av klorider beror mycket på var byggnadsdelen eller betongytan ligger i bron. Avståndet från körbanan inverkar på hur mycket klorider kan drivas på byggnadsdelen. Alla delar av en bro är inte lika utsatta för regn, snö, lakvatten, stänkvatten eller en periodisk uttorkning av betong. Miljöförhållanden, vädersträck, dominerande vindriktningar och fordonstrafik är också av betydelse. Luftströmningar omkring bron inverkar både på rörelsen av klorider och avspolande vatten eller till slut inträngning och utlösning av klorider.

### 3 CHLORIDE INGRESS IN CONCRETE

Person in charge in Finnra: Project Manager Ossi Räsänen, tel. +358 204 22 2636  
Researcher: Research scientist Hannele Kuosa, VTT Building and transport, P.O.Box 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6911, Hannele.Kuosa@vtt.fi  
Report: **LEIVO, Markku & KUOSA Hannele, Chloride ingress in concrete.** Espoo 27.6.2003, VTT BUILDING AND TRANSPORT, RESEARCH REPORT RTE2256/03.

*The aim of this literature research was mainly to clarify chloride convection, diffusion and leaching of concrete surface layers. The results are presented regarding follow-up investigations in natural environments and experimental studies.*

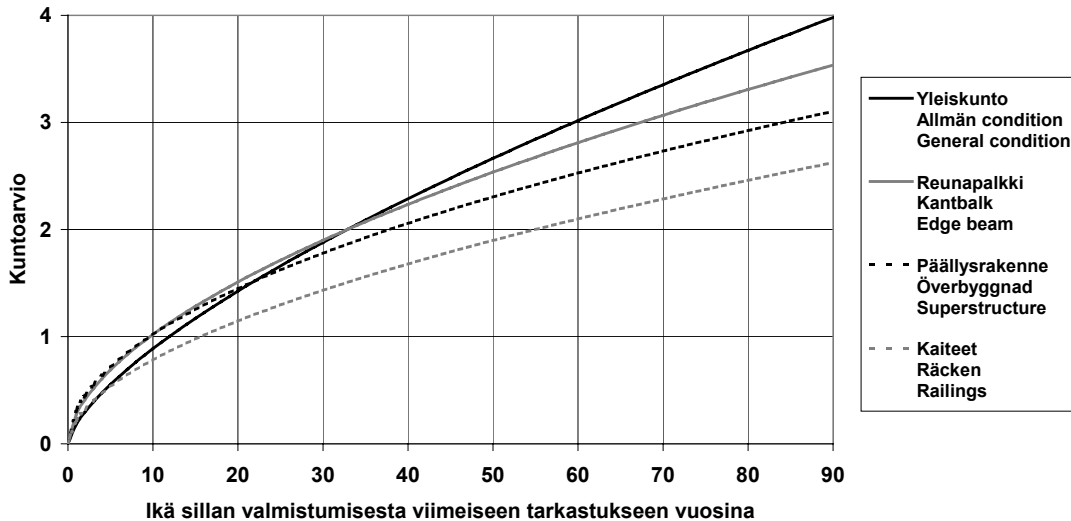
*It is difficult to precisely model chloride transport phenomenon since it is dependent on many parameters. The phenomenon is influenced by time-dependent concrete material properties, as well as climatic and environmental conditions of bridge components and the micro-climate of the concrete surface. In this research some models dealing with accumulation of chloride profiles and their results are briefly addressed. In some models, among other things, alternating moisture conditions as well as concrete surface chloride contents are taken into account. Anyhow, precise models are not needed for practical purposes if one is able to correctly model and predict the chloride contents in concrete below a thin surface layer. Most important is to reliably determine the time of the critical chloride content at the depth of reinforcement.*

*This report identifies some of the factors that are good to know when taking samples from bridges to analyse chloride contents for model creation. Every particular chloride profile must be applied correctly and one must know the case-specific nature.*

*The literature research also addresses how de-icing salt ingress in concrete practically occurs in bridge environments. Chloride accumulation and leaching is essentially related to the bridge components and concrete surface location in the bridge. The distance and height measured from the roadway determines the amount of de-icing salt to be carried in different directions of a concrete surface. All concrete components and surfaces of a bridge are not affected in the same way by nature, such as rain, snow, drainage or splash water, or periodical drying. General environmental conditions, compass points, direction of dominating winds, traffic density and commercial speed also have important roles. Air streams around bridge components will affect both chloride and washing water movement and therefore chloride ingress and leaching.*

## 4 SILTARAKENTEIDEN IKÄKÄYTTÄYTYMISKÄYRÄT SILTAREKISTERIN TARKASTUSTIETOJEN PERUS- TEELLA

Vastuuhenkilö Tiehallinnossa: Kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, puh. 0204 22 2624  
 Tutkija: Erikoistutkija Erkki Vesikari, VTT Rakennus- ja yhdyskunta-  
 tekniikka, PL 1800, 02044 VTT. Puh. (09) 456 6922, Erk-  
 ki.Vesikari@vtt.fi  
 Raportti: **LEIVO, Markku & VESIKARI, Erkki: Siltarakenteiden vau-  
 rionluokka-ikä-jakaumat siltarekisterin vauriotietojen pe-  
 rusteella.** Espoo 7.8.2002, VTT RAKENNUS- JA  
 YHDYSKUNTAOTEKNIikka, tutkimusraportti nro  
 RTE2497/02.



Kuntoarvio iän funktiona. Kaikki tarkkailusillat. (VTT)  
 Konditionsvärdering som funktion av ålder. Alla kontrollbroarna. (VTT)  
 Condition assesment as function of age. All reference bridges. (VTT)

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää siltarakenteiden kuntoluokka-ikä-jakaumat ja keskeisimmät rappeutumisenopeuteen vaikuttavat tekijät siltarekisteriin kirjattujen tarkastustietojen pohjalta. Tietoja rakenteiden rapautumisenopeudesta tarvitaan olemassa olevien ikäkäyttämismallien tarkentamiseen. Ikäkäyttämismalleja käytetään mm. elinkaarianalyysissä.

Siltarekisterin tietokannasta SRTUO suoritettiin kohdennettuja hakuja käyttämällä Oracle8 SQL\*Plus ohjelmaa. Tietokantahaut toteutettiin käyttämällä SQL-ohjelmointikieltä.

Kohdennetuilla haulla eriteltiin seuraavat siltajoukot:

1. Koko sillasto
  - Kaikki sillat
  - Kaikki sillat talvikunnossapitoluokissa Is tai Isk
2. Tarkkailusiltaverkosto
  - Kaikki tarkkailusillat
  - Tarkkailusillat talvikunnossapitoluokissa Is tai Isk

3. Sillat ylitettävän esteen perusteella ryhmiteltyinä
  - Tie- ja ylikulkusillat
  - Kaikkien merisillat
  - Muut vesistö sillat (ei meri-)
4. Sillat maantieteellisen sijainnin perusteella ryhmiteltyinä
  - Rannikko-Suomi
  - Keski-Suomi
  - Pohjois-Suomi

Tilastollisen tutkimuksen tietopohjan muodostivat sillantarkastajien tekemät rakenteiden kuntoarviot vaurioluokka-asteikolla 0-4. Kuntoarviot oli tehty seuraaville kohteille:

1. sillan yleiskunto
2. alusrakenne
3. reunapalkki
4. päällysrakenne
5. päällyste
6. pintarakenne
7. kaiteet
8. liikuntasaumalaitteet
9. varusteet
10. siltapaikka
11. laskettu sillan yleiskunto

Kuntoarviot muodostavat pistejoukon rakenteen iän funktiona siten, että vaurioluokka asteittain kasvaa iän kasvaessa. Pistejoukon perusteella laadittiin kullekin tarkasteltavalle rakenneosalle eksponenttimuotoa oleva ikäkäyttämismalli.

Tulokset antavat likimääräisen käsityksen rakenteiden rappeutumisenopeudesta. Koska korjattuja rakenteita ei voitu erottaa pois otosjoukosta, on luultavaa, että korjaukset vääristävät saatuja ikäkäyttämiskäyriä. Esimerkiksi päällysteiden ja pintarakenteiden ikäkäyttämiskäyrät kuvastavat pikemminkin korjattujen siltarakenteiden keskimääräistä kuntoa iän funktiona kuin yksittäisen korjaamattoman siltarakenteen ikäkäyttämistä.

Muita tekijöitä, jotka saattavat heikentää tulosten luotettavuutta olivat kunto-tietojen kirjaamisen puutteet sekä eri tarkastajien tekemien kuntoarvioiden subjektiivisuus. Lisäksi yleistarkastus saattaa olla liian pintapuolinen rakenteiden todellisen kunnan arvioimiseen. Mm. näistä syistä tutkimuksella ei saatu täyttä kuvaa teiden suolauksen ja meriveden vaikutuksista rakenteiden rappeutumisnopeuteen.

## 4 ÅLDERBETEENDEKURVOR AV BRO-KONSTRUKTIONER PÅ BASEN AV INSPEKTIONSDATA AV BROREGISTER

Ansvarig person i Vägförvaltningen: Utvecklingsschef Jouko Lämsä, tel. +358 204 22 2624

Forskare: Special forskare Erkki Vesikari, VTT Bygg och transport, PB 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6922, Erkki.Vesikari@vtt.fi

Rapport: LEIVO, Markku & VESIKARI, Erkki: Skadeklass - ålder -fördelningar av betongkonstruktioner på basen av inspektionsdata av broregister. Esbo 7.8.2003, VTT BYGG OCH TRANSPORT, forskningsrapport nr RTE2497/02.

Forskningens mål var att hitta konditionsklass – ålder fördelningar och de huvudsakliga faktorer som inverkar på förvittringen av brokonstruktioner. Forskningen baserade på inspektionsdata i Broregister. Information om brokonstruktioners förvittringshastighet behövs för att kunna precisera de existerande förvittringsmodellerna. Dessa modeller används bland annat vid livslängdsanalyser.

Med Oracle 8SQC\*Plus program gjordes riktade datainsamlingar på Broregistrets databas SRTUO. Dessa insamlingar gjordes med SQL programmeringsspråk.

Följande brogrupper klassificerades i de riktade datainsamlingarna:

### 1. Det totala brobeståndet

- alla broar
- alla broar i vinterunderhållningsklass IS eller ISK

### 2. Nätverket av kontrollbroarna

- alla kontrollbroar
- alla kontrollbroar in vinterunderhållningsklass IS eller ISK.

### 3. Broar klassificerade på basen av hinder som passeras

- väg eller järnväg
- hav
- vattendrag, ej hav

### 4. Broar klassificerade på basen av geografiskt läge

- Kust Finland
- Centrala Finland
- Norra Finland

Databas för statistisk undersökning byggdes på värderingar gjorda av broinspektorer. Värderingarna gjordes på följande mål och värderades med skala från 0 till 4:

1. allmänkondition av bron
2. underlaget
3. kantbalk
4. överbyggnad
5. beläggning
6. ytstruktur
7. räcken
8. rörelsefog
9. utrustningar
10. broplats
11. beräknad allmänkondition av bron

Konditionsvärderingarna uppgör ett poängsystem som funktion av konstruktionens ålder. Skadeklassen ökar stegvis med ökande ålder. En degraderingsmodell av exponentiell form utarbetades för varje objekt på basen av punktsystem.

Resultatet ger en approximativ bild på degraderingshastigheten av konstruktioner. Eftersom reparerade konstruktioner också ingick i samplingen, är det troligt att degraderingsmodellerna

är något sneda. T.ex. degraderingsmodellerna på beläggningar och ytstrukturer kan inte beaktas som pålitliga. Andra faktorer som kan försämra pålitligheten av resultatet är brist på registrering av data från inspektionen samt subjektiva värderingar av broinspektorer. Därtill kan inspektionen ha varit alltför ytlig för att kunna värdera den verkliga konditionen av konstruktionen. Av dessa orsaker fick man inte en fullständig bild av vägsaltets och havsvattnets inverkan på degraderingshastigheten av konstruktionerna.

#### **4 DEGRADATION RATE CURVES OF BRIDGE STRUCTURES BASED ON THE INSPECTION DATA IN THE BRIDGE REGISTER**

*Person in charge in Finnra:* Development Manager Jouko Lämsä, te. +358 204 22 2624  
*Researcher:* Senior research scientist Erkki Vesikari, VTT Building and transport, P.O.Box 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6922, Erkki.Vesikari@vtt.fi  
*Report:* LEIVO, Markku & VESIKARI, Erkki: **Damage class – age – distributions of bridge structures based on the inspection data in the bridge register.** Espoo 7.8.2002, VTT BUILDING AND TRANSPORT, Research report RTE2497/02

*The aim of the research was to find the condition class - age - distributions and the main factors affecting the rate of degradation of bridge structures based on the inspection data in the Bridge Register. Data on the real degradation rate of structures is needed for improving the existing degradation models of structures. Degradation models are used in life cycle analyses among others.*

*Directed queries were performed from the database SRTUO of the Bridge Register by applying the Oracle8 SQL\*Plus program. The database queries were performed using SQL programming language.*

*The following bridge groups were distinguished by directed queries:*

1. Total bridge stock
  - All bridges
  - All bridges in winter maintenance classes Is or Isk
2. Network of reference bridges
  - All reference bridges
  - All reference bridges in winter maintenance class Is or Isk
3. Bridges classified by the obstacle to pass over
  - Road bridges and overpasses
  - Sea
  - Other water (not sea)
4. Bridges classified by the geographical situation
  - Coastal Finland
  - Central Finland
  - Northern Finland

*The data basis for the statistical research was composed by the condition assessments performed by bridge inspectors. The condition assessments were performed using the scale 0-4 for the following objects:*

1. overall condition of the bridge
2. substructure
3. edge beam
4. superstructure

5. *pavement*
6. *surface structure*
7. *railings*
8. *movement joint*
9. *accessories*
10. *calculated overall condition of the bridge*

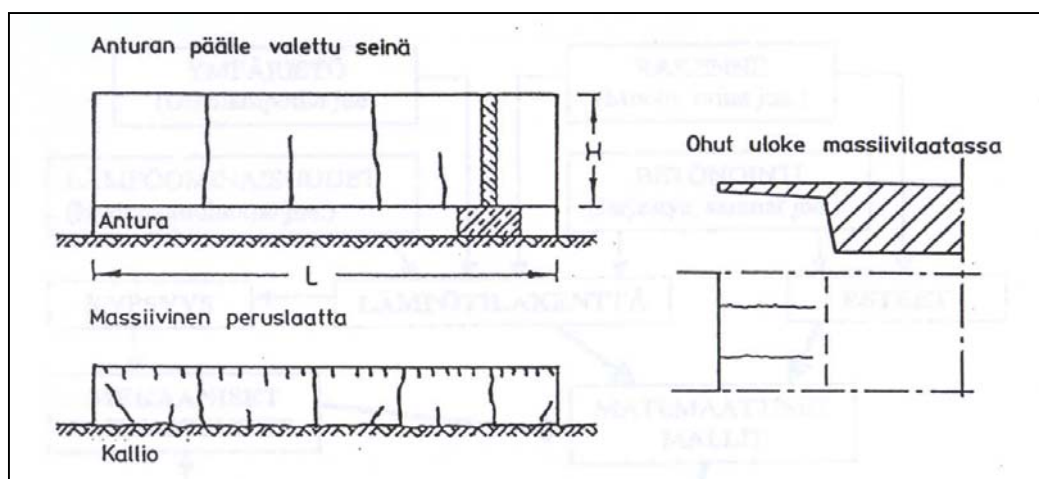
*Condition assessments form a set of points as a function of the age of structures. The damage class gradually increases by increasing age. A degradation model of the exponential form was determined for each object on the basis of the set of points.*

*A rough idea on the rate of degradation was obtained from the results. However, as the repaired bridges could not be rejected from the samplings it is probable that the degradation models are somewhat distorted. For instance, the degradation models of pavements and surface structures cannot be considered reliable. Other factors that may reduce the reliability of the results were the deficiencies in the registration of inspection data and the subjectivity in the condition assessment by bridge inspectors. In addition, a general inspection may be too superficial for evaluating the true condition of structures. As a result of these facts a full insight of the effects of deicing salts and seawater on the degradation rate of structures could not be obtained.*



## 5 VARHAISHALKEILU SEINÄMÄISISSÄ RAKENTEISSA

Vastuuhenkilö Tiehallinnossa: Projektipäällikkö Ossi Räsänen, puh. 0204 22 2636  
Tutkija: Erikoistutkija Pertti Pitkänen, VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, PL 1805, 02044 VTT. Puh. (09) 456 6916, Pertti.Pitkanen@vtt.fi  
Raportti: **PUNAKALLIO, Eero & PITKÄNEN, Pertti, Varhaishalkeilu seinämäisissä rakenteissa.** Espoo 28.12.2001, VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka, tutkimus- selostus nro RTE4795/01.



Lämpötilamuutosten aiheuttamia halkeamia seinämäisissä rakenteissa. (VTT)  
Sprickbildning i vägglignande konstruktioner. (VTT)  
Cracking of wall-like structures due to temperature variation. (VTT)

Pitkissä seinämäisissä joltakin reunaltaan kiinni olevissa rakenneosissa merkittävä ongelma on kovettumisen aikaisten lämpötilanmuutosten aiheuttama halkeilu. Tällaisia rakenneosia silloissa ja liittyvissä rakenneosissa ovat etumuurit, seinämäiset välituet, pitkät seinämäiset luiskarakenteet, alikulkukäytävien seinät ja katot, tukimuurit sekä vanhojen teräbetonirakenteiden levennys- ja korotusosat. Halkeilun syynä ovat tavallisesti kovettumisen aikaisten lämpötilojen aiheuttamat muodonmuutokset, jotka kiinnityksistä johtuen ovat osittain tai kokonaan estyneet eivätkä pääse vapaasti tapahtumaan. Tutkimuksessa on tarkasteltu halkeamien syntymiseen vaikuttavia tekijöitä ja halkeamariskin tunnistamista. Lisäksi on tarkasteltu eri keinoja halkeamariskin eliminoimiseksi ja pienentämiseksi sekä arvioitu niiden käytökelpoisuutta.

Kovettumisen aikaisten lämpötilanmuutosten kasvuun ja tästä johtuvaan halkeilun lisääntymiseen ovat vaikuttaneet lujuus- ja säilyvyysvaatimuksista johtuen kasvaneet betonin lujuudet, sementtien nopeutuminen ja yleinen pyrkimys käyttää nopeita sementtejä lujuudenkehityksen nopeuttamiseksi. Halkeamien syntymiseen vaikuttavat lämpötilanmuutosten ohella muodonmuutoksen esteet ja nuoren betonin ominaisuudet. Tavanomaisen paksuissa seinämäisissä rakenteissa muodostuneet halkeamat ovat läpimeneviä. Halkeamat vaikuttavat heikentävästi rakenteen säilyvyysominaisuuksiin ja ulkoonäköön erityisesti silloin, kun halkeamista on vuotoja.

Kovettumisen aikaisten lämpötilanmuutoksista aiheutuvien halkeamien syntymisen estämisen kannalta on keskeistä, että halkeamariskin olemassaolo

todetaan ennen rakenteen betonointia. Halkeamariski on suuri, jos seinämäisen rakenteen pituuden suhde korkeuteen on suuri, betonin lujuus on huomattava, valu tapahtuu kesällä ulkolämpötilan ollessa korkea, rakenne jäähtyy nopeasti muotinpurun jälkeen talviolosuhteissa ja kovettuvan rakenteen liikemahdollisuudet ovat huonot alustan jäykkyyden johdosta.

Halkeamariskin pienentämiseen voivat vaikuttaa suunnittelija, työmaa (urakoitsija) ja betonin toimittaja. Toimenpidemahdollisuuksia on useita. Osa toimenpidemahdollisuuksista on helposti toteutettavissa, osan toteuttaminen taas edellyttää erikoistoimenpiteitä, mikä nostaa toteuttamiskynnystä. Yleisimmin käytettyjä ovat rakenteen jako osiin liikunta- tai työsaumoilla, valuosan koon ja valujärjestyksen sopiva valinta, aikaisemmin valetun rakenteen osan lämmitys, muotin lämmöneristyksen valinta ulkolämpötilan mukaan, betonin lämmöntuoton ja kutistuman rajoittaminen betonin koostumuksen valinnalla ja massan lämpötilan alentaminen. Suorittamalla valu viileänä ajankohtana, voidaan halkeamariskiä pienentää merkittävästi ilman mainittavia lisäkustannuksia. Tehokkaita käytettyjä keinoja halkeamariskin eliminomiseksi ovat rakenteen jännittäminen ja jäähdytys kovettumisen aikana. Näiden käyttö on ollut erittäin vähäistä, koska näitä ei ole totuttu käyttämään ja näiden käytöstä aiheutuu lisäkustannuksia. Esimerkiksi jäähdytyksen käytön osoittautuessa välttämättömäksi, tulisi suunnittelijan ottaa tämä huomioon jo suunnitelmia laatiessaan.

## 5 SPRICKBILDNING UNDER HÄRDNINGEN I VÄGGLIKNANDE KONSTRUKTIONER

Ansvarig person i Vägförvaltningen: Projektchef Ossi Räsänen, tel. +358 204 22 2636

Forskare: Special forskare Pertti Pitkänen, VTT Bygg och transport, PB 1805, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6922, Pertti.Pitkanen@vtt.fi

Rapport: PUNAKALLIO, Eero & PITKÄNEN, Pertti: Sprickbildning under härdningen i väggliknande konstruktioner. Esbo 28.12.2001, VTT BYGG OCH TRANSPORT, forskningsrapport nr RTE4795/01.

Förekomsten av sprickor förorsakade av temperaturvariationer under härdningen av betong är ett betydande problem i långa konstruktioner med väggar som är fästa vid en kant. I broar och därtill anslutna konstruktioner sådana här beståndsdelar är: förmurar, väggliknande mellanstöd, långa väggliknande sluttningar, väggar och tak i undergångstunnlar, stödmurar samt breddnings och höjningsdelar i gamla betongkonstruktioner. Deformationer förorsakade av temperaturvariationer under härdningen är vanligen orsaken till sprickbildning. Deformationerna är, beroende på sättet hur fästningen är lagd, delvis eller helt förhindrade och kan inte ske fritt. Forskingen fokuserades på de orsaker som förorsakar sprickor och hur det är möjligt att uppskatta risken för sprickbildning. Därtill har man betraktat olika medel för att eliminera och minska risken för sprickbildning samt värderat användbarheten av dessa medel.

Temperaturvariationernas tillväxt under härdningen och därav uppkommen sprickbildning beror på starkare betong till följd av höjda krav på ökad hållfasthet och hållbarhet. Snabbare cement och den allmänna tendensen att använda snabba cementer för att för-snabba härdningen har också lett till ökad sprickbildning. Förutom temperaturvariationer inverkar också deformationshinder och egenskaper hos ung betong på förekomsten av sprickor. I normala tjocka väggliknande konstruktioner går de uppkomna sprickorna genom hela konstruktionen. Sprickorna försämrar hållbarhetsegenskaper och utseendet hos en konstruktion framför allt då när sprickorna läcker.

För att undvika den tidiga sprickbildningen är det viktigt att före gjutningen vara medveten om denna risk. Risken för sprickbildning är stor om relationen mellan väggens längd och höjd är stor, betongens hållfasthet är hög, gjutningen utföres på sommaren vid en hög temperatur, konstruktionen avkyls snabbt efter avformningen under vinterförhållanden eller om den hårdnande konstruktionens rörelsemöjligheter är dåliga på grund av underlagets styvhet.

Konstruktören, byggplatsen (entreprenör) och betongleverantören har ett antal möjligheter att minska sprickbildningen. Några av dessa är lätta att åtgärda. Några förutsätter sådana speciella anordningar som höjer tröskeln för förverkligande. De allmänaste åtgärderna är: att indela konstruktionen med rörelsefogar eller arbetsfogar, att välja en lämplig ordning och storlek av gjutning, uppvärmningen av äldre byggnadsdelar, valet av tjocklek hos formens värmeisolering på basen av lufttemperatur, begränsningen av värmeproduktion och krympning med tillhjälp av betongmassans sammansättning samt med att sänka massans temperatur. Genom att gjuta i kyligt väder är det möjligt att betydligt förminska sprickrisken utan nämnvärda tilläggskostnader. Effektiva råd för att eliminera sprickrisken är förspänning av konstruktionen och nedkylning under härdningen. Användning av dessa metoder har varit ringa för det första därför att man inte har blivit van vid metoderna och för det andra därför att de medför tilläggskostnader. T.ex. när det visar sig att nedkylning är nödvändigt skulle konstruktören ta den här saken i beaktande redan vid planeringen.

## 5 CRACKING AT THE EARLY AGE OF WALL-LIKE STRUCTURES

Person in charge in Finnra:  
Researcher:

Project Manager Ossi Räsänen, tel. +358 204 22 2636  
Senior research scientist Pertti Pitkänen, VTT Building and  
transport, P.O.Box 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel.  
+358 9 456 6916, Pertti.Pitkanen@vtt.fi

Report:

**PUNAKALLIO, Eero & PITKÄNEN, Pertti., Cracking at the  
early age of wall-like structures. Espoo 28.12.2001, VTT  
BUILDING AND TRANSPORT, Research report RTE4795/01**

*The occurrence of cracks caused by temperature changes during hardening is a significant problem in long wall-like structures that are fixed on an edge. In bridges and adjoining structures these structural parts include items such as: breast walls, intermediate supports, long wall-like slope structures, walls and roofs of undercrossings, retaining walls and broadening and raising parts of old concrete structures. The reason for cracks is usually the deformation caused by temperature changes during hardening which, because of restraints, are partially or totally fixed and cannot occur freely. This research has focused on the reasons causing cracks and how it is possible to estimate the cracking risk. In addition, different possibilities to eliminate and to minimise the cracking risk and to estimate their feasibility have been considered.*

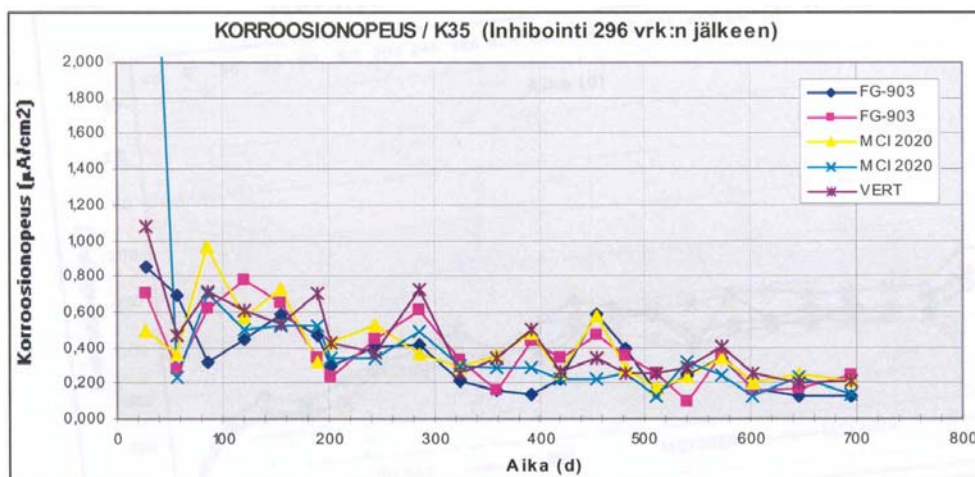
*Some of reasons for the increase in temperature changes and subsequent cracking are: the gain in strength and durability requirements of concrete, the rate of strength gain of cements, and the general tendency to increase the strength development using rapid hardening cements. Besides the temperature changes, the restraints and the properties of young concrete have an effect on the occurrence of cracks. In normal, thick-wall structures the cracks run through the entire cross section. Cracks decrease the durability properties and the appearance of the structure, especially when there is leakage from the cracks.*

*To avoid cracking at early age it is important that the cracking risk is assessed before concreting. The cracking risk is greater if: the ratio of wall height-to-length is great, the strength of the concrete is high, casting occurs in summer conditions when the outside temperature is high, the structure cools rapidly after removal of the formwork in winter conditions, or if the structure's ability to move is low because of the stiffness of the base.*

*The constructor, the job site (contractor) and the concrete manufacturer can reduce cracking risks using several different measures. Some of the possible measures are easy to fulfil, while others require special measures that increase the threshold put into practice. Possibilities often used to reduce crack risks are: to divide the structure into pouring sequences using expansion or construction joints, to choose a more suitable size and order of placement, to preheat the structural part to be cast, to choose formwork insulation based on outside temperature, to limit the heat development and shrinkage using a suitable concrete composition, and to lower the temperature of the fresh concrete. When casting in a cold climate it is possible to considerably reduce the cracking risk without extra costs. Efficient means to eliminate the cracking risk are also tensioning and cooling of the structure during hardening. The use of these has been extremely small because their use causes additional costs. For instance, if the use of cooling is necessary the constructor should have already taken this into account during the planning phase.*

## 6 TUNKEUTUVAT INHIBIITTORIT

Vastuuhenkilö Tiehallinnossa: Projektipäällikkö Ossi Räsänen, puh. 0204 22 2636  
Tutkija: Erikoistutkija Pertti Pitkänen, VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, PL 1805, 02044 VTT. Puh. (09) 456 6916, Pertti.Pitkanen@vtt.fi  
Raportti: **PUNAKALLIO, Eero & PITKÄNEN, Pertti, Tunkeutuvat inhibiittorit.** Espoo 27.6.2002, VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka, tutkimusselostus nro RTE2273/02.



Inhibiittorilla käsitelyjen ja vertailulaattojen korroosionopeus. (VTT)  
Korroosions hastigheten av plattor med inhibitorbehandling och referesplattor. (VTT)  
Corrosion rate of inhibitor treated and reference slabs. (VTT)

Orgaanisiin amiineihin perustuvat nk. tunkeutuvat inhibiittorit ovat uusi tuoteryhmä, jonka tarkoituksena on suojata raudoitusta korroosiolta. Kun tunkeutuva inhibiittori levitetään rakenteen pintaan, tunkeutuu se betonipeitteen läpi raudoituksen ympäristöön ja estää tai ainakin hidastaa korroosiota. Inhibiittoria voidaan käyttää korjaustuotteenomaisesti jo käynnissä olevan raudoituksen korroosion pysäyttämiseen ja hidastamiseen tai myös korroosiota ennalta ehkäisevänä tuotteena.

Tutkimuksen tarkoituksena oli kokeellisesti selvittää betonin laadun vaikutusta inhibiittorin tunkeutumiseen ja inhibiittorin vaikutuksen pysyvyyttä. Tutkimuksen suoritusta varten valmistettiin kahdesta eri lujuuden omaavasta betonista (K35 ja K45) kummastakin viisi kooltaan 700 x 700 x 80 mm<sup>3</sup> koelaattaa. Laattoihin sijoitettujen raudoitustankojen halkaisija oli 10 mm (harjatanko) ja keskiöväli 100 mm. Koelaattoihin lisättiin sekoitusvaiheessa natriumkloridia (NaCl) siten, että kloridimäärä oli 2 % sementin painosta. Raudoitusta suojaava betonipeite oli 25 mm. Inhibiittorien levitys suoritettiin noin 295 vrk:n kuluttua laattojen valusta. Inhibiittoreina olivat Sika FerroGard-903 ja MCI 2020. Vertailulaattoja ei käsitelty inhibiittoreilla.

Koelaatoille tehtiin säännöllisesti korroosionopeuden ja korroosipotentiaalin mittauksia kahden vuoden ajan noin kuukauden välein. Korroosionopeuden mittaukset tehtiin Gecor6-laitteella ja korroosipotentiaali mitattiin voltimittarilla.

Tulosten mukaan molemmista betoneista tehdyissä laatoissa korroosionopeus oli Gecor6-laitteen valmistajan antamien tulkintasääntöjen perus-

teella aluksi pienen ja keskinkertaisen alueella. Myöhemmin korroosionopeus pieneni ja oli tämän jälkeen yksittäisiä mittauksia lukuun ottamatta kaikissa laatoissa pienen korroosionopeuden alueella. Vertailulaattojen korroosionopeudet eivät eronneet eri ajankohtina inhiboitujen laattojen korroosionopeuksista.

Molemmista betoneista tehdyissä laatoissa korroosipotentiaali kasvoi aluksi. Tämän jälkeen korroosipotentiaali oli  $-200$  mV:n ja  $-350$  mV:n välillä, jolloin ASTM C 876:n tulkintasääntöjen perusteella korroosion aktiivisuutta ei pystytä varmuudella arvioimaan.

Tulosten perusteella tutkituilla inhibiittoreilla ei ollut tässä tutkimuksessa vaikutusta korroosionopeuteen eikä korroosipotentiaaliin. Mahdollisista syistä voidaan esittää arvailuja. On todennäköistä, että inhibiittorit eivät ole tunkeutuneet raudoitukseen asti. Käytetyt betonit ovat olleet inhibiittorien tunkeutumisen kannalta liian tiiviitä, mutta siltabetoneihin verrattuna koebetoneiksi sopivia. Korroosion pienuuteen on todennäköisesti vaikuttanut säilytystilan alhainen suhteellinen kosteus.

## 6 INTRÄNGANDE INHIBITORER

Ansvarig person i Vägförvaltningen: Projektchef Ossi Räsänen, tel. +358 204 22 2636

Forskare: Special forskare Pertti Pitkänen, VTT Bygg och transport, PB 1805, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6922, Pertti.Pitkanen@vtt.fi

Rapport: PUNAKALLIO, Eero & PITKÄNEN, Pertti: Inträngande inhibitorer. Esbo 27.6.2002, VTT BYGG OCH TRANSPORT, forskningsrapport nr RTE2273/02.

De sk. inträngande inhibitorerna, som baserar sig på aminer, är en ny materialgrupp vars mål är att skydda armeringen mot korrosion. När man breder ut den inträngande inhibitorn på konstruktionens yta, tränger den igenom täckskiktet till armeringen och hindrar eller åtminstone fördröjer korrosionen. Inhibitorn kan användas som en reparationsprodukt för att stoppa eller fördröja armeringens korrosion eller som en preventiv produkt mot korrosion.

Forskningens mål var att experimentellt undersöka inverkan av betongens kvalitet på inhibitorns inträngning och beständighet av inhibitorns verkan. I forskningen göt man, av två betonger med olika hållfasthet (K 35 och K 45), provplattor för vardera betong av storleken  $700 \times 700 \times 80$  mm<sup>3</sup>. Diametern för de i plattorna placerade armeringsstängerna var 10 mm (kamstång) och avståndet mellan stängerna 100 mm. Man tillsatte i blandningsskedet 2%:ig natriumklorid (NaCl). Betongtäcks-kicket var 25 mm. Utbredningen av inhibitorerna utfördes cirka 295 dygn efter gjutningen av plattorna. De använda inhibitorerna var Sika FerroGard-903 och MCI 2020. Referensplattorna behandlades inte med inhibitorerna.

Regelbundna mätningar av korrosionshastigheten och korrosionspotentialen utfördes med två månaders mellanrum under två år. Mätningarna av korrosionshastigheten utfördes med Gecor6 apparaten och korrosionspotentialen utfördes med en voltmätare.

Enligt testresultaten uppmätta med Gecor6 apparaten var plattornas korrosionshastighet först liten och sedan medelstor enligt tolkningsregler givna av apparatens tillverkare. Senare minskade korrosionshastigheten och blev sedan på området för liten korrosion, utom vid enstaka mätningar. Referensplattornas korrosionshastighet skiljde sig inte från korrosionshastigheten hos plattor med inhibitorbehandling.

Korrosionspotentialen ökade först i de båda betongplattorna. Efter detta var korrosionspotentialen mellan  $-200\text{mV}$  och  $-350\text{mV}$ . Enligt kriteria i ASTM C 876 kan man inom detta område inte uppskatta korrosionsaktiviteten med säkerhet.

Enligt resultaten, hade de i denna undersökning använda inhibitorerna ingen inverkan på korrosionshastigheten eller korrosionspotentialen. Man kan göra antaganden om möjliga orsaker. Det är sannolikt att inhibitorerna inte trängt in till armeringen. De använda betongen har varit för täta med tanke på inhibitorernas inträngning, men lämpliga som provbetong jämförda med brobetong. Förvaringsutrymmets låga temperatur har sannolikt inverkat på den låga korrosionshastigheten.

## 6 MIGRATING INHIBITORS

Person in charge in Finnra: Project Manager Ossi Räsänen, tel. +358 204 22 2636  
Researcher: Senior research scientist Pertti Pitkänen, VTT Building and transport, P.O.Box 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6916, Pertti.Pitkanen@vtt.fi  
Report: **PUNAKALLIO, Eero & PITKÄNEN, Pertti, Migrating inhibitors.** Espoo 27.6.2002, VTT BUILDING AND TRANSPORT, Research report RTE2273/02

*Migrating inhibitors based on organic amines are a new material group whose aim is to protect reinforcement against corrosion. When a migrating inhibitor is spread on the concrete surface, it penetrates through the concrete cover to the reinforcement and stops or at least delays corrosion. The inhibitor can be used as a repair material to stop or slow the corrosion of reinforcement or also as a preventive product against corrosion.*

*The aim of the research was to experimentally determine how the quality of the concrete affects the penetration and the duration function of the inhibitor. For the purpose of the research two different concrete strengths (C35 and C45) were made, both of them having five test slabs of size  $700 \times 700 \times 80\text{mm}^3$ . The diameter of the reinforcing bars used in the slabs was 10 mm and the distance between the bars was 100 mm. 2 % chloride (NaCl) by weight of cement was added to the concrete during mixing. The thickness of the concrete cover was 25 mm. The spreading of the inhibitors was made after about 295 days from castings. The inhibitors used were MCI-2020 and Sika Ferrocard-903. The spreading of the inhibitors was not made on the reference slabs.*

*Measurements of the corrosion rate and the corrosion potential were made regularly during two years and the time between measurements was about one month. The corrosion rate measurements were made using a Gecor6-device and the corrosion potential using a voltmeter.*

*According to the test results the corrosion rate in slabs based on the criteria given by the manufacturer of the Gecor6-device were at first in the range of low and moderate corrosion. Later the corrosion rate became smaller, and except occasional measurements, was in the range of moderate corrosion rate in all slabs. The corrosion rates of the reference slabs at different times did not differ from the corrosion rates of the inhibitor treated slabs.*

*The corrosion potential of the slabs made from both concretes increased at first. Later the corrosion potential was between  $-200\text{mV}$  and  $-350\text{mV}$ .*

*Based on the criteria of ASTM C 876 it was not possible to estimate precisely the activity of the corrosion.*

*Based on results, the inhibitors used in this research had no influence on the corrosion rate and the corrosion potential. Assessments about possible reasons can be made: Probably the inhibitors did not penetrate to the reinforcement. The concrete microstructure was too tight. The small corrosion rate could have been caused by too low of a relativity humidity during storage.*



## 7 TERÄSBETONIRAKENTEIDEN KATODISEN SUOJAUKSEN SOVELTAVA TUTKIMUS YKSINKERTAISIN ANODISYSTEEMEIN – YHTEISPOHJOISMAINEN TUTKIMUS

Vastuuhenkilö Tiehallinnossa: Kehittämispäällikkö Jouko Lämsä, puh. 0204 22 2624  
 Tutkija: Tutkija Bror Sederholm, Korrosionsinstitutet, Kräftriket 23 A, S-10405 Stockholm, SVERIGE, Puh. (+46) 8 674 1740, Bror.Sederholm@corr-institute.se.  
 Tutkija Liisa Salparanta, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, PL 1800, 02044 VTT. Puh. (09) 456 6913, Liisa.Salparanta@vtt.fi

Raportti: **SEDERHOLM, Bror: Utomhusprovning av enkelt installerade anodsystem för katodiskt skydd av räckeståndare och kantbalksarmering på Ölandsbron - Slutrapport.** Stockholm. Sverige 2002, KORROSIONSINSTITUTET, KI Rapport 2002:3.  
 Raportin suomenkielinen tiivistelmä: Öölannin sillan kaidetolppien ja reunapakin raudoituksen suojauksen kenttäkoe yksinkertaisin anodisysteemin. VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka



Maalaamalla kiinnitetty grafiittikangasanodi. (Korrosionsinstitutet)  
 Fastmålad ytanod av grafitduk. (Korrosionsinstitutet)  
 Graphite cloth surface anode fixed on paint coating. (Korrosionsinstitutet)

Projekti *Tillämpad undersökning av enkla anodsystem för katodisk skydd av armerade betongkonstruktioner - nordisk samarbetsprojekt* käynnistyi vuonna 2000. Loppuraportti sisältää Öölannin sillan reunapalkkiin asennettujen anodisysteemien kenttäkokeen tulokset. Tutkimuksen tavoitteena on mm. luoda taloudelliset ja tekniset perusteet yksinkertaisin anodisysteemin tehtyjen katodisten suojausten käytölle reunapalkkien raudoituksen kloridikorroosiota vastaan ja kaidetolppien galvaanista korroosiota vastaan. Tutkimuksessa käytettiin neljää anodisysteemiä:

- ♦ Jalometallipinnoitettu titaanihanka-anodi, joka on upotettu ja valettu laastilla betoniin tehtyyn uraan (ulkoinen virtalähde)

- ◆ Betoniin upotettu jalometallipinnoitettu titaanitankoanodi (ulkoinen virtalähde)
- ◆ Maalaamalla kiinnitetty grafiittikangasanodi (ulkoinen virtalähde)
- ◆ Pintaan ruiskutettu sinkkianodi (galvaaninen suojaus)

Yksinkertaisin anodein tehtyjen katodisten suojausten kahden vuoden kokeilun jälkeen Öölannin sillalla voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- ◆ Kaikki tutkitut anodisysteemit olivat yksinkertaisia ja helppoja asentaa reunapalkkiin. Asennusten kokonaiskustannukset vaihtelivat välillä 514 - 822 SEK betonineliötä kohden. titaanilankojen asennus oli halvinta ja maalilla kiinnitetyn grafiittikankaan kalleinta.
- ◆ Kaikki tutkitut anodisysteemit lukuunottamatta betoniin upotettuja jalometallipinnoitettuja titaanitankoanodeja suojasivat hyvin betoniin osittain valettuja kuumasinkittyjä koeterästankoja. Sekä titaanilanka-anodi että grafiittikangasanodi vähensivät galvaanista korroosiota 74 %. Ruiskusinkitys vähensi korroosiota 59 % ja titaanitankoanodit 46 %.
- ◆ Mikäli Öölannin sillan reunapalkkiin asennetaan lähitulevaisuudessa oikeanlainen anodisysteemi voivat korroosion vaurioittamien kaiteiden ja reunapalkin raudoituksen korroosion aiheuttamien vaurioiden korjauskustannukset tulevaisuudessa laskea huomattavasti.
- ◆ Korroosion vaurioittamien reunapalkin ja kaiteiden korvaaminen uusilla maksaa nykyhinnoilla n. 10 000 SEK/reunapalkkimetri. Katodinen suojaus yksinkertaisella anodisysteemillä maksaa n. 600 SEK/reunapalkkimetri. 10 km:n matkalla voidaan säästää n. 94 milj. SEK mikäli reunapalkkeihin asennetaan katodinen suojaus, johon kuuluu yksinkertainen anodisysteemi ennen kuin korrosio etenee liian pitkälle.

## 7 TILLÄMPAD UNDERSÖKNING AV ENKLA ANODSYSTEM FÖR KATODISK SKYDD AV ARMERADE BETONGKONSTRUKTIONER - NORDISK SAMARBETSPROJEKT

Ansvarig person i Vägförvaltningen: Utvecklingschef Jouko Lämsä, tel. +358 204 22 2624

Forskare: Forskare Bror Sederholm, Korrosionsinstitutet, Kräftriket 23 A, S-10405 Stockholm, SVERIGE, Tel. +46 8 674 1740, Bror.Sederholm@corrinstitute.se.

Forskare Liisa Salparanta, VTT Bygg och transport, PB 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6913, Liisa.Salparanta@vtt.fi

Rapport: SEDERHOLM, Bror: : Utomhusprovning av enkelt installerade anodsystem för katodiskt skydd av räckeståndare och kantbalksarmering på Ölandsbron - Slutrapport. Stockholm. Sverige 2002, KORROSIONSINSTITUTET, KI Rapport 2002:3.

FoU-projektet *Tillämpad undersökning av nya anodsystem för katodiskt skydd av armerade betongkonstruktioner - nordisk samarbetsprojekt* påbörjades under våren 2000. Föreliggande slutrapport omfattar resultat efter två års utomhusprovning av olika anodsystem som installerats på kantbalken vid Ölandsbron. Syftet med undersökningarna är bland annat att ta fram ekonomiskt och tekniskt underlag för användning av katodiskt skydd med enkla anodsystem som ska skydda kantbalksarmeringen mot kloridinitierad korrosion och räckeståndarna mot galvanisk korrosion. Följande fyra anodsystem ingick i undersökningarna:

- ◆ Infräst trådanod av ädelmetallbelagt titan (skydd med påtryckt ström)
- ◆ Inborrad stavanod av ädelmetallbelagd titan (skydd med påtryckt ström)
- ◆ Fastmålade ytanoder av grafitduk (skydd med påtryckt ström)
- ◆ Påsprutad ytanod av zink (galvaniskt skydd)

Efter två års provning på Ölandsbron av katodiskt skydd med enkelt monterade anodsystem kan följande slutsatser dras:

- ◆ Samliga anodsystem är enkla och billiga att installera på kantbalken. De totala kostnaderna för installationerna varierade mellan 514 och 822 kr per m<sup>2</sup> betongyta. Den billigaste installationen var den med de infrästa titantrådanoderna och dyrast var den fastmålade grafitdukanoden.
- ◆ Samtliga anodsystem utom de inborrade titanstavarna gav ett mycket bra katodiskt skydd åt armeringen i kantbalken, där korrosionen (avfrätning) minskade med mer än 94 %. Med de inborrade titansvarna minskade korrosionen med 79 %.
- ◆ Anodsystemen med infrästa titantrådanoder och en fastmålade grafitdukanod gav ett bra katodiskt skydd åt de delvis ingjutna varmförzinkade provstängerna som var utsatta för galvanisk korrosion. Den galvaniska korrosionen minskade med 74 % både för infräst titantrådanod och fastmålade grafitdukanod. För den sprutade zinkanoden respektive de inborrade titanstavanoderna var minskningen av korrosionen 59 respektive 46 %.
- ◆ Om katodisk skydd med ett rätt utformat anodsystem installeras under en snar framtid på kantbalken på Ölandsbron, kan framtida kostnader för reparation av korrosionsskadade räckesståndare och kantbalksarmering avsevärt minskas.
- ◆ Att ersätta en sönderrostad kantbalk med tillhörande räcken med en ny kantbalk och nya räcken kostar ca SEK 10 000 per löpmeter kantbalk. Det katodiska skyddet med enkla anodsystem kostar ca SEK 600 per löpmeter kantbal. På en sträcka av ca 10 km kan en besparing på ca 94 MSEK göras om katodiskt skydd med enkla anodsystem installeras innan korrosionen gått för långt i kantbalken.

## **7 FIELD INVESTIGATION OF NEW ANODE SYSTEMS FOR CATHODIC PROTECTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES - NORDIC CO-OPERATIVE PROJEC**

*Person in charge in Finnra:* Development Manager Jouko Lämsä, te. +358 204 22 2624  
*Researcher:* Research scientist Bror Sederholm, Korrosionsinstitutet, Kräftriket 23 A, S-10405 Stockholm, SVERIGE, Tel. +46 8 674 1740, Bror.Sederholm@corr-institute.se.  
Research scientist Liisa Salparanta, VTT Building and transport, P.O.Box 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6913, Liisa.Salparanta@vtt.fi  
*Report:* **SEDERHOLM, Bror: Field investigation of new anode systems for cathodic protection of reinforced concrete structures - Nordic co-operative project.** Stockholm. Sverige 2002, KORROSIONSINSITUTET, KI Rapport 2002:3.

*The R & D project Field investigation of new anode systems for cathodic protection of reinforced concrete structures - Nordic co-operative project was initiated in Spring 2000. The final report presented here contains the results of two years of outdoor testing of different anode systems on the edge beam of the Öland bridge. A major purpose of the investigations was to provide an economical and technical knowledge basis for the use of cathodic protection with simple anode systems that would be able to protect the edge beam reinforcements against corrosion initiated by chlorides, and the railing posts against galvanic corrosion. The following four anode systems were included in the investigation:*

- ◆ *milled-in wire anodes made of titanium with a noble metal coating (protection with impressed current)*
- ◆ *drilled-in rod anodes made of titanium with a noble metal coating (protection with impressed current)*

- ◆ *graphite cloth surface anode fixed on paint coating (protection with impressed current)*
- ◆ *sprayed-on zinc surface anodes (galvanic protection)*

*After two years of testing cathodic protection on the Öland bridge using these easily installable anode systems the conclusions are as follows:*

- ◆ *All anode systems are cheap and easy to install on to the edge beam. The total installation costs varied between SEK 514 and SEK 822 per m<sup>2</sup> of concrete surface. The milled-in titanium wire anodes had the lowest installation cost, and the graphite cloth attached by painting had the highest installation cost.*
- ◆ *All anode systems except the drilled-in titanium rods protected the reinforcements in the edge beam very well, reducing the corrosion (penetration) by more than 94 %. With the drilled-in titanium rods the corrosion was reduced by 79 %.*
- ◆ *The anode systems with milled-in titanium wire anodes and with paint-attached graphite cloth anodes gave a good cathodic protection for the partly cast-in zinc coated test rods that were attacked by galvanic corrosion. The galvanic corrosion was reduced by 74 % both for the milled-in titanium wire anode and for the paint-secured graphite cloth anode. For the sprayed zinc anode and the drilled-in titanium rods the reduction in corrosion was 59 % and 46 % respectively.*
- ◆ *Provided that cathodic protection with an appropriately designed anode system is installed on the edge beam of the Öland bridge within short, the future costs for repairs of corrosion damaged railing posts and edge beam reinforcement can be expected to be considerably reduced.*
- ◆ *Replacing the corroded edge beam and railings with a new beam and new railing costs about SEK 10 000 per meter of edge beam. Cathodic protection with simple anode systems costs about SEK 600 per meter of edge beam. For a 10 kilometre section, a saving in order of 94 MSEK may be made if cathodic protection with the simple anode system is installed before the corrosion damage advances too far into the edge beam.*

## 8 SILTOIHIN KÄYTETTÄVIEN RAUDOITUSTANKOJEN SALLITTU RUOSTEMÄÄRÄ

Vastuuhenkilö Tiehallinnossa: Projektipäällikkö Ossi Räsänen, puh. 0204 22 2636  
Tutkija: Tutkija Liisa Salparanta, VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, PL 1800, 02044 VTT. Puh. (09) 456 6913, Liisa.Salparanta@vtt.fi  
Raportti: **LEIVO, Markku & SALPARANTA, Liisa, Siltoihin käytettävien raudoitustankojen sallittu ruostemäärä.** Espoo 20.2.2003, VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka, tutkimusselostus nro RTE715/03.



Korroosioasteeseen 3 syöpynyt raudoitustanko,  $\varnothing$  12 mm, teräsharjauksen jälkeen. (VTT)  
Stålborstad armeringsstång,  $\varnothing$  12 mm, korrosionsgrad 3. (VTT)  
Wire brushed reinforcing bar,  $\varnothing$  12 mm, corrosion class 3. (VTT)

Betoniterästangot ovat yleensä ruosteiset jo työmaalle toimitettaessa ja työmaalla ne ruostuvat lisää. Tässä tutkimuksessa selvitettiin kirjallisuuden avulla missä määrin tangot voivat olla ruostuneet ja minkä tyyppistä ruoste voi olla ilman, että siitä on haittaa. Lisäksi laadittiin ruostemäärän ja -laadun arviointimenetelmä ja -asteikko.

Tankojen pinnassa tiukasti kiinni oleva ruoste ja sen päällä oleva irtonainen jauhemainen ruoste on haitatonta eikä sitä tarvitse poistaa. Tiukasti kiinni oleva ruoste parantaa pyörötankojen tartuntaa ja harjatankojen tartuntaan sillä on korkeintaan erittäin vähäinen vaikutus. Irtonainen jauhemainen ruoste yleensä irtoaa betoniterästankojen tavanomaisessa työmaakäsittelyssä. Lohkeilevä ja hilseilevä ruoste heikentää betonin ja terästangon välistä tartuntaa ja se on poistettava. Ennen asennusta lohkeilevä ruoste poistetaan raepuhalluksella tai painepesulla. Asennuksen jälkeen tangot saa puhdistaa vain tilaajan kanssa erikseen sovittavalla tavalla. Tangon pinnassa ei saa olla niin syviä syöpymiä, että ne pienentävät betoniterästangon poikkeileikkausta liiallisesti. Tankojen pinnassa olevat kloridit poistetaan painepesemällä.

Betoniterästankojen korroosioasteita on neljä. Korroosioasteen määrittämisen apuna käytetään mallikuvia, jotka esittävät tangon ennen ja jälkeen teräsharjauksen. Tiehallinto julkaisee mallikuvat julkaisusarjassaan.

Korroosioasteet ovat:

- 0 Hyväksyttävä. Lähes ruosteeton. Ei tarvitse teräsharjata tarkastusta varten. Ei tarvitse puhdistaa ennen betonointia.
- 1 Hyväksyttävä. Kevyttä pintaruostetta. Ei tarvitse teräsharjata tarkastusta varten. Ei tarvitse puhdistaa ennen betonointia.
- 2 Hyväksyttävä. Lohkeilevaa irtonaista ruostetta. Jonkin verran syöpymiä. Syöpymien syvyys  $\leq 2,5$  % tangon nimellishalkaisijasta. Ennen asennusta ruoste poistetaan hiekkapuhaltamalla tai painepesemällä. Asennuksen jälkeen ruosteen saa poistaa vain tilaajan kanssa erikseen sovittavalla tavalla.
- 3 Hylättävä. Runsaasti irtonaista ruostetta. Syöpymien syvyys  $> 2,5$  % tangon nimellishalkaisijasta.

## 8 ACCEPTABEL GRAD OCH TYP AV ROST FÖR ARMERINGSSTÄNGER FÖR BROAR

Ansvarig person i Vägförvaltningen: Projektchef Ossi Räsänen, tel. +358 204 22 2636

Forskare: Forskare Liisa Salparanta, VTT Bygg och transport, PB 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. +358 9 456 6913, Liisa.Salparanta@vtt.fi

Rapport: LEIVO, Markku & SALPARANTA, Liisa: Acceptabel grad och typ av armeringsstänger för broar. Esbo 20.2.2003, VTT BYGG OCH TRANSPORT, forskningsrapport nr RTE715/03.

Det är normalt, att armeringsstängerna är rostiga redan vid leverering till byggnadsplatsen och där fortsätter rostningen vidare. Vid den här forskningen gjordes det en litteraturundersökning för att förklara till vilken grad kan stänger vara rostiga och vilken typ av rost är tillåten utan att det är skadligt. Därtill uppställdes det en utvärderingsmetod och skala för mängd och kvalitet av rost.

Rost som sitter fast på stänger och lös pulveraktig rost på den fastsittande rosten är inte skadlig och behövs inte tas bort. Den fastsittande rosten förbättrar vidhäftningen av rundstål och har högst mycket litet effekt på vidhäftning av kammstål. Den lösa pulveraktiga rosten lossnar vanligen vid normal behandling av armeringsstång på byggnadsplatsen. Den sprickande och fjällande rosten försämrar vidhäftningen mellan betong och armeringsstång och den måste avlägsnas. Före monteringen avlägsnas den sprickande rosten med hjälp av sandblåstring eller högtrycksvätt. Efter monteringen får stängerna rengöras endast med den med beställaren speciellt överenskomna metoden. Det är inte tillåtet att det finns så djupa frätningar på stålytan att tvärsnittet av stängens minskar för mycket. Klorider på stängytan avlägsnas med högtrycksvätt.

Det finns fyra korrosionsgrader av armeringsstång. Korrosionsgraden definieras med hjälp av exempelbilder som visar stängens före och efter stålborstning. Vägverket publicerar exempelbilder i sin egen publikationsserie.

Korrosionsgraderna är:

- 0 Acceptabel. Nästan ingen rost. Behövs inte stålborstas för inspektering. Behövs inte rengöras före betonggjutningen.
- 1 Acceptabel. Lätt rost på ytan. Behövs inte stålborstas för inspektering. Behövs inte rengöras före betonggjutningen.
- 2 Acceptabel. Sprickande lös rost. Några frätningar. Djupet av frätningar  $\leq 2,5$  % av nominaldiametern. Före monteringen avlägsnas rosten med sandblåstring eller högtrycksvätt. Efter monteringen får stängens rengöras endast med den med beställaren speciellt överenskomna metoden.
- 3 Förkastlig. Mycket med lös rost. Djupet av frätningar  $> 2,5$  % av nominaldiametern.

## 8 ALLOWABLE EXTENT OF RUST ON REINFORCING BARS FOR NEW BRIDGES

Person in charge in Finnra: Project Manager Ossi Räsänen, tel. +358 204 22 2636  
Researcher: Research scientist Liisa Salparanta, VTT Building and transport, P.O.Box 1800, FIN-02044 VTT, FINLAND. Tel. (09) 456 6913, Liisa.Salparanta@vtt.fi  
Report: **LEIVO, Markku & SALPARANTA, Liisa: Allowable extent of rust on reinforcing bars for new bridges, Espoo 20.2.2003, VTT BUILDING AND TRANSPORT, Research report RTE715/03**

Concrete reinforcing bars are normally rusted already when delivered to the site and they continue rusting at site. In this research a literature survey was carried out to find out what is the maximum harmless extent and type of rust. Also a method to estimate and classify the extent and type of rust was made.

The tightly adhered rust and the loose powdery rust on the top of it is harmless and doesn't need to be removed. The adherent rust enhances the bond of plain round bars and has at most only a slight effect on the bond of ribbed bars. The normal handling of the bars at site is usually sufficient for the removal of loose powdery rust from rebars. The scaly and flaky rust must be removed because it weakens the bond between concrete and the rebar. Before placing the flaky rust is removed by shot blasting or pressure cleaning. After placing the reinforcement may be cleaned only as specially agreed with the orderer. Local corrosion pits so deep that they too much diminish the cross-section of the rebar are not allowable. Chlorides on the rebar surface are removed by pressure cleaning.

There are four classes of corrosion. Photo illustrations showing a rebar before and after wire brushing are used to determine the corrosion class of a bar.

The corrosion classes are:

- 0 Acceptable. Almost no rust at all. No need to be wire brushed for inspection. No need to be cleaned before placing.
- 1 Acceptable. Light adherent rust and loose powdery rust. No need to be wire brushed for inspection. No need to be cleaned before placing.
- 2 Acceptable. Loose flaky rust. Some local corrosion spots the depth of which is  $\leq 2,5$  % of the nominal diameter of the bar. Before placing the rust must be removed by shot blasting or pressure cleaning. After placing the reinforcement may be cleaned only as specially agreed with the orderer.
- 3 Unacceptable. Plenty of loose rust. The depth of local corrosion spots  $> 2,5$  % of the nominal diameter of the bar.







