



## Korjausalustan laatuvaatimukset

Tilaaaja: Tiehallinto  
Valtion ydinjätehuoltorahasto  
Ratahallintokeskus  
Helsingin kaupungin rakennusvirasto  
Tampereen kaupunki  
Turun kaupunki



---

<b>Tilaaaja</b>	Tiehallinto, Siltatekniikka PL 33 00521 HELSINKI  Valtion ydinjätehuoltorahasto Kauppa- ja teollisuusministeriö PL 32 00023 VALTIONEUVOSTO  Ratahallintokeskus PL 185 00101 HELSINKI  Helsingin kaupungin rakennusvirasto PL 1500 00099 HELSINGIN KAUPUNKI  Tampereen kaupunki Kaupunkiympäristön kehittäminen Viinikankatu 42 33800 TAMPERE  Turun kaupunki Kiinteistölaitos, julkiset rakenteet PL 775 01050 TURKU
<b>Tilaus</b>	10365/2006/30/11. 23.1.2007 Dnro 24/2007SAF. 16.3.2007 276609. 18.1.2007 4580015943 / 29.01.2007 Dno YPA:/ 1019/ 07 / 2006. 15.1.2007 3892-2006 (065) 23.02.2007
<b>Yhteyshenkilö VTT:ssä</b>	Valtion teknillinen tutkimuskeskus Erikoistutkija Pertti Pitkänen Lämpömiehenkuja 2, Espoo PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 6916 Faksi 020 722 7055 Sähköposti: <a href="mailto:pertti.pitkanen@vtt.fi">pertti.pitkanen@vtt.fi</a> <a href="http://www.vtt.fi/">Http://www.vtt.fi/</a>

---

**Tehtävä** **Korjausosalustan laatuvaatimukset**

---

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:stä saadun kirjallisen luvan perusteella.

---

## TIIVISTELMÄ

Korjauksen laadun ja pitkäaikaiskestävyyden kannalta korjausalustan laadun merkitys on huomattava. Korjausalustan laadun osoittaminen on koettu ongelmaksi varsinkin pienissä korjauskohteissa. Isoissa korjauskohteissa korjausalustan laatu aina tutkitaan. Pienissä korjauskohteissa korjausalustan kunnan tarkemmat tutkimukset on koettu liian ”raskaiksi” ja aikaa vieviksi. Pienissä kohteissa alustan laatu ja vaatimustenmukaisuus pitäisi pystyä osoittamaan tai arvioimaan nopeasti purkutyön jälkeen.

Tutkimusraportissa on tarkasteltu lyhyesti korjausalustan laatuun vaikuttavia tekijöitä ja laadun merkitystä ja laadun osoittamismenetelmiä. Korjausalustan laatuun vaikuttavat alustan lujuus, puhtaus, halkeilu, kosteus, lämpötila korjaushetkellä, karbonatisoituminen ja kloridipitoisuus.

Eräs korjaustöiden vaikeimmista ongelmista on saada hyvä tartunta alustaan. Isommissa korjauskohteissa alustan pinnan vetolujuus määritetään ennen korjausta paikalla tehtävällä vetokokeella tai laboratoriossa tartuntapinnasta irrotetuista näytteistä. Pienissä kohteissa alustan betonin lujuutta voidaan arvioida silmämääräisen tarkastelun avulla, iskemällä vasaralla tai piikillä alustaan, piikkaustyön yhteydessä sen vaikeuden perusteella ja kimmovasaralla. Kimmovasaran käyttö edellyttää, että epätasainen pinta on hiottava tasaiseksi.

Korjauksen pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat alustan karbonatisoitumissyvyys ja kloridipitoisuus yhdessä raudoituksen aseman kanssa. Karbonatisoitunut tai kloridipitoinen betoni alustassa voivat estää korjausta saavuttamasta vaadittua käyttöikää. Korroosion tai korroosioriskin ollessa kysymyksessä on alustan piikkaustarvetta ja -syvyyttä määritettäessä otettava huomioon raudoituksen korjauksen aikainen korroosiotila ja korroosiotila suunnitellun käyttöiän lopussa.

Silko-ohjeissa esitetyt vaurioituneen alustan poistamisohjeet ja alustan laatuvaatimukset ovat nykytietämyksen perusteella asialliset.

---

## ABSTRACT

The substrate quality is of great importance when considering the quality and long term durability of a repair. To verify the substrate quality is a problem especially in small repair works. In large repair works the quality is always inspected. In small repair works the quality inspections are considered too "heavy" and too time consuming. In small repair works the quality and compliance of the substrate should be able to be confirmed or estimated rapidly after the demolition work.

This research report deals with the factors affecting the quality of substrate, the significance of quality and methods of compliance control. The factors affecting the quality of the substrate are strength, cleanliness, cracking, moisture content, temperature during repair work, carbonation depth and chloride content.

One of the most difficult problems of the repair work is to achieve good adhesion. In large repair works the tensile strength of the substrate is tested before casting. In small repair works it is possible to estimate strength using visual inspection, knocking with hammer or peak, evaluating the difficulty of chipping and using rebound hammer. Before using rebound hammer uneven concrete surface must be ground smooth.

The durability of repair depends on the depth of carbonation and chloride content of the substrate together with the location of reinforcement. High carbonation depth or high chloride content may prevent the repair from conforming the service life requirement. When corrosion has already started or corrosion risk exists, the state of corrosion during reparation and the state of corrosion at the end of the required service life must be taken into account when determining the required amount and depth of chipping.

Based on present knowledge the demolishing guides and quality requirements concerning damaged substrate given in Silko-guidelines are correct.

---

## SAMMANDRAG

Med tanke på reparationskvaliteten och livstiden har kvaliteten av underlaget stor betydelse. Kvalitetsbedömningen av reparationsunderlaget har varit ett problem särskild i små reparationsarbeten. I stora reparationsarbete undersöks underlagets kvalitet alltid. I små reparationsarbeten har noggrannare undersökningar underlagets kvalitet betraktats som alltför ”tunga” och tidskrävande. I små reparationsarbeten borde man kunna konstatera eller bedömma kvaliteten av underlaget och dess överensstämmande med kraven strax efter rivningsarbetet.

Forskningsrapporten behandlar kort de faktorer som påverkar kvaliteten av reparationsunderlaget, kvalitets betydelse och metoder för kvalitetsbedömning. Kvaliteten av reparationsunderlaget beror på betongens hållfasthet, renhet, sprickbildning, fuktighet, temperatur under reparationsarbetet, karbonatiseringsdjup och kloridinhåll.

Ett av de svåraste problemen i reparationsarbeten är att nå god vidhäftning till underlaget. I stora reparationsarbeten utreds underlagets draghållfasthet före pågjutningen genom dragprovning. I små reparationsarbeten kan hållfastheten av underlaget uppskattas genom visuell inspektion, genom att slå med hammare eller pigg, på basen av svårigheten av bortpikningen av den skadade betongen eller med studsmätaren (Schmidt-hammare). Användning av studshammaren förutsätter att den ojämna ytan planslipas.

Livslängden av den reparerade konstruktionen beror på underlagets karbonatiseringsdjup och kloridmängd tillsammans med läget av armeringen. Karbonatiserad eller kloridhaltig betong i underlaget kan förhindra reparationen att nå den eftersträvade livstiden. Då det är fråga om korrosion eller korrosionsrisk, bör man vid definiering av pikningsbehov och -djup ta i beaktande korrosionstillståndet av armeringen under reparationen och i slutet av den planerade livstiden.

Enligt nuvarande kunskaper är de i Silko- direktiven framställda anvisningarna beträffande borttagning av skadad underlagsbetong samt kvalitetsfordringarna av underlaget behöriga.

---

## ALKUSANAT

Pinnan laatuvaatimukset on yksi vuoden 2007 aikana VTT:ssä toteutetuista *Betoniteknillisiin siltatutkimuksiin* kuuluvista tutkimuksista. *Betoniteknilliset siltatutkimukset* ovat Tiehallinnon, Valtion ydinjätehuoltorahaston (Säteilyturvakeskuksen), Ratahallintokeskuksen, Helsingin kaupungin rakennusviraston, Tampereen kaupungin kaupunkiympäristön kehittämissyksikön ja Turun kaupungin kiinteistölaitoksen rahoittamaa jatkuvaa projektitoimintaa, joka koostuu useista osatutkimuksista.

---

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
SAMMANDRAG .....	4
ALKUSANAT .....	5
1 YLEISTÄ .....	7
2 KORJAUSALUSTAN LAADUN MERKITYS .....	7
3 LAATUVAATIMUKSET JA NIIDEN TODENTAMINEN .....	8
3.1 Pinnan tartuntalujuus .....	8
3.1.1 Tartuntaan vaikuttavat tekijät ja vaatimukset .....	8
3.1.2 Kokeelliset tartuntalujuuden osoittamismenetelmät .....	9
3.1.3 Lujuuden karkeat arviointimenetelmät .....	9
3.2 Halkeamat .....	11
3.3 Puhtaus .....	12
3.4 Kosteus .....	12
3.5 Kloridipitoisuus .....	13
3.6 Karbonatisoituminen .....	14
3.7 Lämpötila .....	15
3.8 Muita alustan vaatimuksia .....	15
4 YHTEENVETO .....	15
LÄHTEET .....	17

## 1 YLEISTÄ

Korjaustarvetta esiintyy sekä vanhoissa että uudemmissa betonisilloissa. Vanhoissa silloissa korjaustarvetta aiheuttaa lisääntyvässä määrin betonin ikääntymisen aiheuttama turmeltuminen pääasiassa ympäristörasitusten johdosta. Uudemmissa silloissa korjaustarvetta aiheuttavat mm. rakentamisen yhteydessä tehdyt virheet ja onnettomuudet. Korjausten määrän kasvaessa myös korjausten laatuun joudutaan kiinnittämään enemmän huomiota. Yleisesti voidaan todeta, että betonirakenteen korjaaminen on monesti vaikeampaa kuin uuden rakentaminen.

Korjauksen laatuun ja kestävyYTEEN vaikuttavat korjausalustan laatu, korjauksessa käytettävät materiaalit ja niiden ”yhteensopivuus” alustan kanssa, olosuhteet korjaustyötä tehtäessä ja korjaustyön suorituksen laatu. Mainitut tekijät yhdessä vaikuttavat korjauksen laatuun ja korjauksen kestävyYTEEN. Virheiden johdosta korjattuja kohtia joudutaan usein korjaamaan uudelleen, usein sangen pian.

Korjauskohteiden koko vaihtelee huomattavasti. Isoissa korjauskohteissa tehdään aina tarvittavat kuntotutkimukset ja laaditaan korjaussuunnitelma. Kuntotutkimuksessa selvitetään piikkaussyvyys ja korjausalustan kunto sekä piikkauksen jälkeen korjausalustan kunto tutkitaan tarkemmin. Pienissä korjauskohteissa mainittuja selvityksiä ei yleensä tehdä. Näissä korjausalustan kunnan tarkemmat tutkimukset on koettu liian ”raskaiksi” ja aikaa vieviksi. Pienissä kohteissa alustan laatu ja vaatimuksen mukaisuus pitäisi pystyä osoittamaan tai arvioimaan nopeasti purkutyön jälkeen. Pienissä korjauskohteissa korjaustyön suorittajan pitäisi yksinkertaisia menetelmiä ja kokemusta hyväksi käyttäen pystyä määrittämään tai arvioimaan, onko korjausalusta riittävän hyvä korjausvalun alustaksi.

Tässä esityksessä tarkastellaan lyhyesti korjattavan pinnan laatuvaatimuksia ja yksinkertaisia menetelmiä korjausalustan laadun toteamiseksi ja arvioimiseksi.

## 2 KORJAUSALUSTAN LAADUN MERKITYS

Betonirakenteen korjauksen laadun ja pitkäaikaiskestävyyDEN kannalta korjausalustan laadun merkitys on oleellinen. Korjausalustan laatuun vaikuttavat alustan lujuus, puhtaus, halkeilu, kosteus, karbonatisoituminen ja kloridipitoisuus.

Yksi korjausrakentamisen vaikeimmista ongelmista on tartunta vanhaan betoniin. Alustan osalta tartuntaan vaikuttavat merkittävästi alustan lujuus, puhtaus ja jonkin verran alustan kosteus. Alustan lujuus puolestaan riippuu alustan betonin lujuudesta ja vanhan betonin poistamisessa käytetystä menetelmästä. Jos vanhan betonin poistamisessa käytetään raskaita koneita tai piikkausmenetelmiä, tartuntapintaan syntyy säröjä ja mikrohalkeamia sekä isompien kiviainesten tartunta voi heikentyä. Alusbetonin yläosaan syntyvien vaurioiden johdosta pinnan tartuntalujuus huononee.

Korjausalustaan kohdistuu huomattavia rasituksia, joita aiheuttavat mm. seuraavat tekijät:

- Korjausbetonin kutistuma. Korjausbetonin kutistumat ovat usein huomattavan suuria.
- Kutistumaero päällevalettavan korjausbetonin ja alustan välillä. Kutistumaero tulee usein suureksi koska alustan kutistuma on jo tapahtunut.
- Ohuet korjauskerrokset kuivuvat ja kutistuvat nopeasti varsinkin jos jälkihoito on huono. Tällöin rasituksia merkittävästi pienentävän betonin viruman vaikutus jää vähäiseksi.
- Korjaukseen käytettyjen betonien lujuudenkehitys tapahtuu usein nopeasti ja niiden lujuudet ovat suuria. Mainitut seikat pienentävät myös viruman vaikutusta.



- Lämpötilanmuutokset ja näistä johtuvat muodonmuutokset ovat pinnassa olevissa ohuissa korjauskerroksissa suuria ja tapahtuvat nopeasti.

Ellei korjausalusta ole tarpeeksi luja tai siinä on purkamisesta aiheutuneita vaurioita, korjaukset irtoavat alustastaan osittain tai kokonaan.

Usein olosuhteet korjaustyön suorittamiselle ovat myös huonot. Korjauskohteita, varsinkin pieniä ei juuri suojata. Työn suorituksessa on monesti toivomisen varaa, varsinkin jälkihoito on usein puutteellista.

Alustan puhtauden merkitys tartunnan kannalta on erittäin keskeinen tekijä. Ruotsissa tehdyissä siltojen korjausvalujen tartuntaa koskevissa tutkimuksissa on todettu, että alustan huono puhtaus on ollut toinen pääsyy tartunnan pettäessä saumakohdasta. Toinen on ollut korjausbetonin riittämätön tiivistys.

Korjauksen pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat alustan karbonatisoitumisen syvyys ja kloridipitoisuus yhdessä raudoituksen aseman kanssa. Kysymys on mahdollisesta raudoituksen käynnissä olevasta korroosiosta tai korroosioriskistä jäljellä olevan käyttöiän aikana. Karbonatisoitunut tai kloridipitoinen betoni alustassa voivat estää korjauksen saavuttamasta vaadittua käyttöikää.

Pienissä korjaus- ja paikkauskohteissa ei yleensä ole käytettävissä yksityiskohtaisia korjaussuunnitelmia. Tällöin raudoituksen mahdollista korroosioriskiä ja korjauksen tulevaa käyttöikää joudutaan arvioimaan rakenteen iän, vaurion laadun ja sijaintikohdan sekä ympäristörasitusten perusteella. Betonin kunnosta voidaan tehdä karkeita arvioita silmämääräisten havaintojen perusteella ja poistettaessa vaurioitunutta betonia. Yleensä hyvä betonin lujuus merkitsee myös hyviä säilyvyysominaisuuksia.

Isommat korjaus- sekä muutos- ja vahvennustyöt edellyttävät aina betonin ja raudoituksen kuntoon ja käyttöikään vaikuttavien tekijöiden selvittämistä. Tulosten perusteella korjaussuunnittelija määrittää korjattavat kohdat ja näissä tarvittavat piikkaussyvyudet.

### **3 LAATUVAATIMUKSET JA NIIDEN TODENTAMINEN**

#### **3.1 Pinnan tartuntalujuus**

##### *3.1.1 Tartuntaan vaikuttavat tekijät ja vaatimukset*

Alustan tartuntalujuudella on ratkaiseva vaikutus korjauksen kiinnipysymisen ja kestävyuden kannalta.

Alustan osalta tartuntalujuuteen vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat:

- alustan betonin lujuus
- tartuntapinnan käsittely
- tartuntapinnan puhtaus ja
- tartuntapinnan kosteus jossain määrin.

Tartuntalujuusvaatimukset betonirakenteiden korjauksissa ja paikkauksissa vaihtelevat yleensä välillä 0,8 – 2,0 N/mm<sup>2</sup>. Yleisin käytetty vaatimus tartuntalujuudelle on 1,5 N/mm<sup>2</sup>. Tämä vaatimus on esitetty mm. Silko-ohjeissa /1/.

Tartuntalujuus riippuu merkittävästi alustan betonin vetolujuudesta. Betonin vetolujuus riippuu puristuslujuudesta. Betoninormien mukaan vetolujuuden ominaisarvo lasketaan kaavasta  $f_{ctk} = \alpha K^{2/3}$ , missä kerroin  $\alpha$  on normaalibetonilla 0,2 ( $\alpha = 58 \varepsilon_{cu} < 0,2$ ,  $\varepsilon_{cu}$  on murtopuristuma).

Edellä olevasta kaavasta seuraa että tartuntalujuusvaatimus 1,5 N/mm<sup>2</sup> edellyttää, että betonin puristuslujuus on teoreettisesti vähintään suuruusluokkaa 20 N/mm<sup>2</sup>. Kun otetaan huomioon purkamisessa betonin pintaan syntyvät vauriot, edellyttää tartuntalujuusvaatimus 1,5 N/mm<sup>2</sup> että betonin puristuslujuuden on oltava suuruusluokkaa 25 – 30 N/mm<sup>2</sup>.

### 3.1.2 Kokeelliset tartuntalujuuden osoittamismenetelmät

Korjauksen on oltava kiinni alustassaan. Korjauskohteissa kiinniolo tarkastetaan koputuskokeella ja tartuntavetokokeella. Isommissa korjauskohteissa voidaan tehdä tartuntakokeet alustasta ennen korjausvalua, varsinkin jos alustan lujuuden suhteen on epäilyjä.

Jos betonista on määritetty tai määritetään puristuslujuus, on tulosten perusteella mahdollista tehdä päätelmiä myös alustan tartuntalujuudesta. Tällöin on otettava huomioon betonin mahdollinen halkeilu. Runsaasta halkeilusta huolimatta voi betonin puristuslujuus olla suuruusluokkaa 20 – 30 N/mm<sup>2</sup>. Sisäisen halkeilun johdosta kuitenkin betonin vetolujuus on huono eikä tällaiseen betoniin saada hyvää tartuntaa. Siksi ennen puristuslujuuden testausta rakenteesta irrotetut näytteet on tarkastettava silmämääräisesti mahdollisen halkeilun toteamiseksi, mikäli puristuslujuutta käytetään alustan tartuntalujuuden arviointiin.

Luotettava kuva pinnan tartuntalujuudesta saadaan tartuntavetokokeella. Tartuntakoe voidaan tehdä paikan päällä yksipuolisena vetokokeena tartuntavetolaitteella (tartuntavetomittari). Tartuntakoe voidaan tehdä myös korjattavasta pinnasta irrotetusta näytteestä kaksipuolisena vetokokeena laboratoriossa. Molemmissa kokeissa pintaan liimataan ”kiinnityskappale”. Kokeissa on oleellista tartuntalujuuden lisäksi murtokohdan sijainti.

Pinnan tartuntalujuuden määrittämisessä keskustelua on aiheuttanut kiinnityskappaleen liimauksen vaikutus pintaosan lujuuteen. Liima ”lujittaa” noin 1-2 mm paksua pintakerrosta imeytyessään pinnassa oleviin huokosiin ja säröihin. Tämän johdosta murtuminen tapahtuu liiman vaikutuskerroksen takaa.

Tartuntavetokokeella voidaan pinnan lujuuden lisäksi selvittää korjauskerroksen tartunta alustaan. Tällöin paikalla tehtävässä kokeessa poraus on ulotettava sauman taakse ja irrotetussa näytteessä on oltava sauma mukana.

Korjauskerroksen tartunnan määrittämistä varten on olemassa myös ”kynsillä” varustettuja vetolaitteita. Näissä vetokynnet laitetaan porattuun rakoon. Laitteen etu on siinä, että koe voidaan tehdä heti porauksen jälkeen eikä liimauksen kuivumista tarvitse odottaa.

### 3.1.3 Lujuuden karkeat arviointimenetelmät

Pinnan tartuntalujuuden määrittäminen edellyttää tartuntavetolaitetta tai näytteenottoa. Tällöin lujuuden määrittäminen vaatii aikaa ja erikoislaitteita. Pienialaisissa korjauskohteissa kokeita pyritään välttämään. Tavoitteena on, että pinnan lujuus voitaisiin arvioida tai määrittää mahdollisimman yksinkertaisilla menetelmillä välittömästi piikkaustyön (purkutyön) jälkeen ilman että korjaustyö keskeytyy.

Käytännössä piikatun pinnan betonin lujuutta voidaan karkeasti arvioida seuraavilla tavoilla:

---

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:stä saadun kirjallisen luvan perusteella.

- pinnan kunnan silmämääräisen tarkastelun avulla (rapautumat, pakkasvaurio, korroosiovaurio, pinnan huokoisuus, halkeilu)
- koputtelu vasaralla (vaatii kohtalaisen tasaisen pinnan)
- piikillä iskeminen (uppoaako piikin kärki pintaan)
- piikkaustyön yhteydessä sen ”vaikeuden” perusteella
- käyttämällä kimmovasaraa (pinnan hiominen ennen koetta).

### Pinnan silmämääräinen tarkastelu

Pinnan silmämääräinen tarkastelu antaa karkean käsityksen pinnan lujuudesta. Näkyvät rapautumat, isompien kiviainesten irtoaminen, runsas halkeilu ja kalkkivuodot ovat yleensä merkkejä pinnan vaurioista ja samalla huonosta lujuudesta. Kun pinnassa oleva lujuudeltaan huono betoni poistetaan, syvemmällä betonin lujuus voi olla hyvä.

Pakkasvaurion syvyyden arviointi on monesti vaikeaa, rajoittuuko pakkasvaurio aivan pintaan vai ulottuuko pakkasvaurio syvälle betoniin. Pakkasvaurion yleisiä tuntomerkkejä ovat pinnassa oleva halkeilu, halkeamista tulevat kalkkivuodot ja rapautumat pinnassa. Pintaan rajoittuvassa pakkasvauriossa pinnasta irtoaa betonia ”levyinä” pinnan suuntaisesti. Jos vaurio rajoittuu pintaan, syvemmällä on yleensä hyvälaatuinen betoni. Pintaan ulottuvaa pakkasvauriota voi esiintyä jo muutaman vuoden ikäisessä betonissa.

Kun pakkasvaurio ulottuu syvemmälle, betonin halkeilu ja kalkkivuodot halkeamista ovat yleensä runsaita, halkeamat kulkevat isojen kiviainesten rajapintoja pitkin ja joskus isompi kiviaines irtoaa helposti. Betonin puristuslujuus voi kuitenkin olla kohtuullinen, jopa selvästi yli 20 MPa. Tartunnan kannalta tärkeä betonin vetolujuus on kuitenkin erittäin huono. Syvälle ulottuvaa pakkasvauriota esiintyy yleensä vanhoissa rakenteissa. Betonia ei ole tällöin huokostettu tai huokostus on epäonnistunut.

Raudoituksen korroosion aiheuttamat vauriot, halkeilu ja betonipeitteen lohkeilu, rajoittuu tavallisesti betonipeitteeseen ja jonkin verran raudoitustankojen taakse. Syvemmällä betonin kunto on monesti hyvä.

### Pinnan koputtelu vasaralla

Pinnan koputtelu vasaralla soveltuu lujuuden ja pinnan kiinteyden arvioitiin pinnan ollessa tasainen. Iskettäessä vasaralla pintaan, kirkas ääni ja iskun ”palautuminen” ovat merkinä siitä, että pinnan lujuus on yleensä hyvä. Vaimea tussahtava ääni ja iskun ”palautumattomuus” merkitsevät huonoa pinnan lujuutta.

Piikattu pinta on poikkeuksetta epätasainen, mikä vaikeuttaa koputtelun käyttöä. Epätasaiseen pintaan lyötäessä koholla olevat pienialaiset kohdat murtuvat iskukohdassa, mikä tekee pinnan lujuuden arvioinnin epävarmaksi.

Pinnan koputtelulla voidaan selvittää pinnasta irti olevia tai irtoamassa olevia alueita. Pinnan koputtelua käytetään yleisesti pintaosasta irti olevien alueiden (”kopo” alueiden) paikallistamiseen.

### Piikillä iskeminen

Lyötäessä piikillä betonin sementtikiven pintaan, lujuudeltaan hyvään betoniin piikki ei ”uppoa” käytännössä ollenkaan. Hyväkuntoiseen betoniin iskettäessä piikki ”pomppaa” takaisin. Mikäli piikki uppoaa betoniin on syytä epäillä pintaosan lujuutta. Jos piikki uppoaa useita millijä, ei pinnan lujuus ole riittävä.

---

Piikillä iskettäessä syntyvän äänen perusteella voidaan myös karkeasti arvioida pinnan lujuutta vastaavasti kuten vasaralla pintaan lyötäessä.

#### Piikkaustyön yhteydessä tehtävä arviointi

Pienissä korjauskohteissa purkutyö tehdään yleensä käsityövälinein tai piikkausvasaralla. Tällöin piikkaustyön yhteydessä on mahdollista arvioida betonin lujuutta työn vaikeuteen perustuen. Kokenut piikkaustyön tekijä pystyy työn vaikeuden perusteella arvioimaan betonin kuntoa ja karkeasti lujuutta.

Käsityövälinein helposti piikattavan betonin lujuuden raja on K25 ylärajan ollessa K35. Piikkausvasaralla helposti piikattavan betonin lujuuden raja on K35 ja menetelmän yläraja K50 /6/.

Piikkaustyön yhteydessä tulee ilmi myös lujuuden mahdolliset vaihtelut korjattavalla alueella.

#### Kimmo-vasara

Kimmo-vasara on yleinen ja helppokäyttöinen laite puristuslujuuden arvioimiseksi. Kimmo-vasaran käyttö edellyttää kuitenkin että betonipinta johon sitä käytetään on riittävän tasainen. Koska piikkauksen jäljiltä betonipinta on poikkeuksetta epätasainen, on pinta hiottava koneellisesti tasaiseksi ennen kuin kimmo-vasaraa voidaan käyttää.

Kimmo-vasaraa käytettäessä on huomioitava, että tuloksiin vaikuttavat useat tekijät, jotka aiheuttavat epävarmuutta ja hajontaa tuloksiin. Käytettäessä kimmo-vasaraa piikatun pinnan lujuuden arviointiin, tavoitteena ei ole määrittää betonin lujuutta tarkasti vaan arvioida onko betoni pintaosaltaan riittävän lujaa, jotta korjausvalulle saadaan riittävän hyvä tartunta.

Kimmo-vasaran käytöstä on olemassa yksityiskohtaiset ohjeet /7/.

Kastellun pinnan kuivumisen nopeutta ja veden imukykyä voidaan käyttää arvioidessa karkeasti betonipinnan kuntoa. Jos betonin pinta kastellaan, hyväkuntoiseen betoniin vettä imeytyy huomattavasti vähemmän kuin huonokuntoiseen. Huokoinen, halkeamia sisältävä betoni imee huomattavasti vettä. Tämän johdosta huonokuntoisen betonin kuivuminen tapahtuu hitaasti, huomattavasti hitaammin kuin hyväkuntoisen.

### **3.2 Halkeamat**

Korjausalustassa olevien halkeamien korjaustarve riippuu halkeamien sijainnista ja merkityksestä rakenteen toiminnan ja säilyvyyden kannalta.

Korjausalustassa olevat rakenteelliset, läpimenevät ja vuotavat 0,2 mm ja suuremmat halkeamat on korjattava ennen korjausvalua.

Korjattavissa kohdissa, joissa raudoitukseen voi kohdistua korjatusta kohdasta kloridirasitus esimerkiksi paikkaukseen syntyvien halkeamien kautta, on alustassa olevat 0,2 mm ja suuremmat halkeamat korjattava.

Jos korjausalusta ulottuu 15-20 mm raudoituksen taakse, eikä halkeama ole rakenteellinen eikä vuotava, voidaan alustaan jättää 0,4 mm ja pienemmät halkeamat. Isommat halkeamat on korjattava.

Korjattavassa pinnassa olevat halkeamat korjataan (suljetaan) imeyttämällä tai tarvittaessa injektoimalla.

Halkeamien leveyden mittausta tapahtuu mitta-asteikolla varustetulla halkeamamikroskoopilla. Halkeamien leveyden arvioitiin on olemassa viiva-asteikolla varustettuja levyjä. Isojen halkeamien leveyden karkeaan arviointiin voidaan käyttää myös mm - asteikolla varustettua mittaa.

Halkeamien leveyden määrittämistä vaikeuttavat tavallisesti pitkin halkeamaa tapahtuva leveyden vaihtelu ja halkeamien reunojen lohkeilu. Mm. alustan hiekkapuhallus tai suihkupuhdistus rikkovat halkeaman reunat ja tekevät halkeaman leveyden määrittämisen epämääräiseksi.

### 3.3 Puhtaus

Alustan puhtaus on hyvän tartunnan välttämätön edellytys. Kuten aikaisemmin on todettu, alustan huono puhtaus on merkittävä syy korjausvalujen irtoamiseen.

Alusta on puhdistettava kaikesta tartuntaa heikentävästä irtonaisesta aineksesta ja liasta. Myös mahdolliset öljy, rasva ja liuottimet on poistettava pinnasta. Puhdistustoimet on tehtävä mahdollisimman lähellä korjausvalun ajankohtaa. Pinnan imurointi juuri ennen korjausvalua on suositeltava menetelmä.

Puhtauden arviointi tapahtuu silmämääräisesti.

### 3.4 Kosteus

Alustan kosteus korjausvalua suoritettaessa vaikuttaa tutkimusten mukaan jonkin verran tartuntaan.

Parempi tartunta saadaan yleensä kun paikkaus- tai korjausvalu tehdään eriasteisille kuiville pinnoille kuin valu kostean pinnan päälle. Alusta kastellaan tällöin niin aikaisin (1-2 vrk) ennen valua, että kastelun jälkeen pinta ehtii kuivua. Kuivaan tai pinnaltaan kuivaan pintaan saadaan parempi tartunta kuin kosteaan (mattakostea) pintaan.

Kuivan tai pinnaltaan kuivan tartuntapinnan paremmuus johtuu kapillaari-ilmästä. Kuiva pinta imee kosteutta pintavalusta, jolloin saumakohdassa pintavalun vesisementtisuhde pienenee ja lujuus kasvaa. Imeytymisen yhteydessä kulkeutuu myös hienoja sementtipartikkeleita enemmän rajapintaan, jolloin niiden välimatka saumapinnalla pienenee mikä edesauttaa lujuuden kasvua /5/. Imeytyminen ei kuitenkaan saa olla niin suurta, että hydrataatio pysähtyy veden puutteeseen.

Alustan kosteuden arviointi tapahtuu yleensä silmämääräisesti.

### 3.5 Kloridipitoisuus

Kloridien aiheuttaman korroosion käynnistyminen edellyttää että raudoitusta ympäröivän betonin kloridipitoisuus saavuttaa nk. kriittisen kloridipitoisuuden (kloridikorroosion kynnyksisarvo).

Eri lähteissä on esitetty kriittiselle kloridipitoisuudelle vaihtelevia arvoja. Arvot vaihtelevat yleensä välillä 0,4 - 0,6 % sementin painosta. Silko-ohjeissa /1, 3/ kloridipitoisuus saa olla normaalisti raudoitetussa rakenteessa betonin painosta 0,07 % happoliukoisena mitattuna ja 0,05 % vesiliukoisena mitattuna. Jännitetyjen rakenteiden kriittinen kloridipitoisuus on alhaisempi, enintään puolet edellisistä.

Vanhassa rakenteessa kriittisen kloridipitoisuuden määrittämistä vaikeuttaa se, ettei betonissa käytetyn sementin määrää yleensä tiedetä vaan se joudutaan arvioimaan. Sementin määrällä on suuri vaikutus kriittiseen kloridipitoisuuteen.

Kloridien aiheuttaman korroosion tai korroosioriskin ollessa kysymyksessä seuraavat vaihtoehdot tulevat kysymykseen määritettäessä kloridipitoisen betonin poistamistarvetta:

- kriittinen kloridipitoisuus ei ole saavuttanut raudoitusta
- kloridipitoisuus raudoituksen tasalla on suurempi kuin kriittinen kloridipitoisuus ja korroosio on käynnissä.

Jos kriittinen kloridipitoisuus ei ole vielä saavuttanut raudoitusta, joudutaan arvioimaan aika jolloin kriittinen kloridipitoisuus saavuttaa raudoituksen ja vertaamaan tätä aikaa suunniteltuun jäljellä olevaan käyttöikään.

Jos kriittinen kloridipitoisuus ei saavuta suunnitellun jäljellä olevan käyttöiän aikana raudoitusta, ei kloridipitoista betonia tarvitse poistaa ollenkaan. Jos kriittinen kloridipitoisuus saavuttaa suunnitellun jäljellä olevan käyttöiän aikana raudoituksen, on kloridipitoinen betoni poistettava. Koska kloridien aiheuttaman korroosion käynnistymisen vaatima aika on lyhyt, ei käynnistymisen vaatimaa aikaa ole syytä ottaa huomioon tarkasteluissa.

Jos kloridipitoisuus raudoituksen tasalla on suurempi kuin kriittinen kloridipitoisuus ja korroosio on käynnistynyt, on kloridipitoista betonia poistettava raudoituksen taakse kriittisen kloridipitoisuuden rajaan saakka, kuitenkin vähintään 20 mm /1/.

Klorideja tarkasteltaessa on otettava huomioon että kloridipitoisuus voi vaihdella huomattavasti rakenteen eri osissa ja rakenteen pinnassa vuodenajasta riippuen. Kohdissa, joihin kesällä sateen huuhteleva vaikutus voi kohdistua, on kloridipitoisuus usein loppukesällä pienempi kuin syvemmällä pinnasta.

Kloridipitoisuuden määrittämistä varten on lukuisia eri menetelmiä, joita on esitetty eri standardeissa ja suosituksissa. Kentällä tehtävät kloridipitoisuuden määrittämenetelmät ovat nopeita suorittaa mutta niiden tarkkuus on yleensä huono. Laboratoriota edellyttävät määrittämenetelmät ovat huomattavasti tarkempia. Niissä on yleensä kolme vaihetta, näytteenotto, näytteen jauhatus ja liuottaminen. Ne vievät enemmän aikaa.

Kentällä kloridien tunkeutumissyvyys voidaan selvittää suhteellisen yksinkertaisesti ruiskuttamalla hopeanitraattiliuosta betonin pintaan. Värimuutos pinnassa ilmaisee kloridien tunkeutumissyvyyden. Jo tieto onko klorideja piikatassa pinnassa ja miten syvällä, on usein tärkeä. Jos klorideja todetaan, voidaan tehdä tarkemmat kloridipitoisuuden määrittäykset.

Tavallisesti betonipinnan kloridipitoisuus ja kloridipitoisuusprofiili syvyysuunnassa määritetään rakenteesta otetuista jauhenäytteistä. Jauhenäytteet irrotetaan iskuporalla eri syvyyksiltä. Näytteet otetaan yhdestä tai useammasta porareistä 1-2 cm:n välein syventäen reikiä asteittain. Yleensä näytteitä otetaan 2-3

cm raudoituksen taakse, tarvittaessa syvemmälle. Jauhenäytteistä kloridipitoisuus määritetään laboratoriossa.

### 3.6 Karbonatisoituminen

Karbonatisoitumisen aiheuttaman korroosion tai korroosioriskin ollessa kysymyksessä jokin seuraavista vaihtoehdoista tulee kysymykseen määrittäessä alustan piikkaustarvetta ja piikkauksen syvyyttä:

- karbonatisoitumissyvyys on pienempi kuin betonipeitteen paksuus
  - karbonatisoitumissyvyys ei suunnitellun jäljellä olevan käyttöiän aikana saavuta raudoitusta
  - karbonatisoitumissyvyys saavuttaa suunnitellun jäljellä olevan käyttöiän aikana raudoituksen
- karbonatisoituminen on saavuttanut raudoituksen (korroosio on käynnistymässä tai käynnissä).

Karbonatisoitumissyvyyden ollessa pienempi kuin betonipeitteen paksuus, joudutaan alustan piikkaustarvetta ja -syvyyttä määrittäessä arvioimaan raudoituksen korroosiotila karbonatisoitumisen suhteen suunnitellun käyttöiän lopussa ottaen huomioon nykyhetki ja korjauksen jälkeinen aika. Korjauksen jälkeistä tilaa tarkastellaessa on otettava huomioon korjauskerroksen paksuus ja korjausaineen karbonatisoitumisenestokyky.

Jos karbonatisoitumissyvyys ei suunnitellun jäljellä olevan käyttöiän aikana saavuta raudoitusta, ei karbonatisoitunutta betonia tarvitse poistaa.

Jos karbonatisoitumissyvyys saavuttaa suunnitellun jäljellä olevan käyttöiän aikana raudoituksen, on ainakin pienemmissä korjauksissa ja paikkauksissa varmintä poistaa karbonatisoitunut betoni raudoitukseen saakka ellei tarkempia tarkasteluja tehdä.

Tarkemmissa tarkasteluissa on mahdollista ottaa huomioon korroosion käynnistymisen vaatima aika. Korroosion etenemisaikaa ei ole syytä huomioida.

Jos tarkempien tarkastelujen tulos on, että korroosio ei käynnisty suunnitellun jäljellä olevan käyttöiän aikana, ei karbonatisoitunutta betonia poisteta ollenkaan. Jos korroosio käynnistyy suunnitellun käyttöiän aikana, ulotetaan piikkaussyvyys raudoituksen taakse.

Piikkaus ulotetaan raudoitustangon taakse tangon halkaisijan verran, kuitenkin vähintään 15 - 20 mm.

Kun karbonatisoituminen on saavuttanut raudoituksen ja korroosio on käynnistymässä tai käynnistynyt, karbonatisoitunut betoni poistetaan raudoituksen taakse.

Kuntotutkimusten yhteydessä karbonatisoituminen voidaan paikalla määrittää helposti mittaamalla betonin poistoajankohtaa vastaava karbonatisoitumissyvyys. Karbonatisoitumissyvyys mitataan betonin murtopinnalta ruiskuttamalla siihen fenoliftaleiiniliuosta. Fenoliftaleiiniliuos on pH-indikaattori, joka värjää betonin punaiseksi lukuun ottamatta karbonatisoituneita alueita. Karbonatisoitumissyvyys mitataan (ilmoitetaan) millimetreinä betonin pinnasta.

Joissakin tapauksissa betonin karbonatisoitumisen rajan voi todeta näytteestä tai lohkaistusta betonipinnassa värieron perusteella. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista.

### 3.7 Lämpötila

Korjausalustan lämpötila on yleensä sama kuin ympäröivän tilan lämpötila, käytännössä tavallisesti sama kuin ulkoilman lämpötila.

Yleinen vaatimus on että betonoitaessa alustan lämpötilan on oltava vähintään 5°C. Koska viileissä olosuhteissa massan lämpötila on 5°C:ta selvästi korkeampi, tulisi myös alustan lämpötilan olla mainittua lämpötilaa selvästi korkeampi. Käytännössä alustan lämpötila riippuu valuaajankohdan sääolosuhteista.

Silko-ohjeessa /1/ paikkauskohteessa ilman ja rakenteen lämpötilan on olta vähintään + 5°C. Lisäksi alustan lämpötilan pitää olla 3°C ilman kastepisteen yläpuolella paikkaus- ja juotosmassoja käytettäessä. Alustaan ei myöskään saa kohdistua suoraa auringonsäteilyä.

Tutkimusten mukaan alustan lämpötilan tulisi olla korjausbetonin lämpötilaa korkeampi korjausvalun alussa. Tällöin alustan jäähtymisen aiheuttama kutistuminen pienentää kutistumiseroa sauman molemmilla puolilla. Lisäksi alustan jäähtyessä saumaan syntyy pientä alipainetta, mikä myötävaikuttaa sementti-liiman imeytymiseen alustaan /5/. Alustan lämpötilan lasku aiheuttaa lisäksi puristusta valuuun.

### 3.8 Muita alustan vaatimuksia

Vaatimuksia voidaan esittää koskien mm. raudoituksen betonipeitteen paksuutta ja raudoituksen puhtautta. Näihin vaikuttavat mm. korjauksen sijainti rakenteessa, korjauksen aiheuttaneen vaurion syy ja valittu korjausperiaate. Näistä on annettu ohjeita Silko-ohjeessa ”Betonin paikkaus, yleisohje /1/.

## 4 YHTEENVETO

Korjauksen laatuun ja kestävyysvaikutteet vaikuttavat korjausalustan laatu, korjauksessa käytettävät materiaalit ja niiden ”yhteensopivuus” alustan kanssa, olosuhteet korjaustyötä tehtäessä ja korjaustyön suorituksen laatu. Korjauksen laadun ja pitkäaikaiskestävyyden kannalta korjausalustan laadun merkitys on merkittävä, sillä korjausalustaan kohdistuu huomattavia rasituksia, joita aiheuttavat mm. korjausbetonin usein huomattavan suuri kutistuma ja nopeat lämpötilanmuutokset. Virheiden johdosta korjattuja kohtia joudutaan usein korjaamaan uudelleen.

Korjauskohteiden koko vaihtelee huomattavasti. Isoissa korjauskohteissa tehdään aina tarvittavat kunto-tutkimukset ja laaditaan korjaussuunnitelma. Pienissä korjauskohteissa korjausalustan kunnan tarkemmat tutkimukset on koettu liian ”raskaiksi” ja aikaa vieviksi. Pienissä kohteissa alustan laatu pitäisi pystyä osoittamaan tai arvioimaan nopeasti purkutyön jälkeen, usein purkutyön suorittajan toimesta.

Korjausalustan laatuun vaikuttavat alustan lujuus, puhtaus, halkeilu, kosteus, karbonatisoituminen ja kloridipitoisuus. Korjaustöiden eräs vaikeimmista ongelmista on saada hyvä tartunta alustaan. Tartuntaan vaikuttavat alustan betonin lujuus, tartuntapinnan käsittely, alustan puhtaus ja jossain määrin kosteus.

Isommissa korjauskohteissa alustan tartuntalujuus määritetään ennen korjausta paikalla tehtävällä tartuntakokeella tai laboratoriossa tartuntapinnasta irrotetuista näytteistä. Pienissä kohteissa alustan betonin lujuutta voidaan arvioida mm. silmämääräisen tarkastelun avulla, iskemällä vasaralla tai piikillä alustaan, piikkaustyön yhteydessä sen vaikeuden perusteella ja kimmovasaralla. Ennen kimmovasaran käyttöä epätasainen pinta on hiottava tasaiseksi.



Korjausalustassa olevien halkeamien korjaamistarve riippuu halkeamien sijainnista ja merkityksestä rakenteen toiminnan ja säilyvyyden kannalta. Alustassa olevat rakenteelliset, läpimenevät ja vuotavat 0,2 mm ja suuremmat halkeamat on korjattava ennen korjausvalua. Jos korjausalusta on 15-20 mm raudoituksen takana, voidaan alustaan jättää 0,4 mm ja pienemmät halkeamat, joilla ei ole vaikutusta rakenteen toimintaan ja säilyvyyteen.

Korjauksen pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat alustan karbonatisoituminen syvyys ja kloridipitoisuus yhdessä raudoituksen aseman kanssa. Karbonatisoitunut tai kloridipitoinen betoni alustassa voivat estää korjausta saavuttamasta vaadittua käyttöikä.

Kloridien aiheuttaman korroosion käynnistymisen edellyttää että raudoitusta ympäröivän betonin kloridipitoisuus saavuttaa nk. kriittisen kloridipitoisuuden (kloridikorroosion kynnsarvo). Onko alustassa olevaa kloridipitoista betonia poistettava ja kuinka paljon, riippuu kloridien tunkeutumissyvyydestä, kloridipitoisuudesta eri syvyyksillä ja korjauksen vaaditusta käyttöiästä. Korjauksen vaaditun käyttöiän aikana raudoitusta ympäröivän betonin kloridipitoisuus ei saa saavuttaa kriittistä kloridipitoisuutta. Jos kloridipitoisuus raudoituksen tasalla on suurempi kuin kriittinen kloridipitoisuus ja korroosio on käynnistynyt, on kloridipitoista betonia poistettava raudoituksen taakse kriittisen kloridipitoisuuden rajaansaakka, kuitenkin vähintään 20 mm.

Karbonatisoitumisen aiheuttaman korroosion tai korroosioriskin ollessa kysymyksessä on alustan piikkaustarvetta ja -syvyyttä määritettäessä tarkasteltava raudoituksen korroosiotilaa suunnitellun käyttöiän lopussa ottaen huomioon nykyhetki ja korjauksen jälkeinen aika. Tällöin on otettava huomioon olemassa oleva karbonatisoitumissyvyys, betonipeitteen paksuus, korjauskerroksen paksuus ja korjausaineen karbonatisoitumisenestokyky.

Jos korroosio ei käynnisty suunnitellun jäljellä olevan käyttöiän aikana, ei karbonatisoitunutta betonia poisteta ollenkaan. Jos korroosio käynnistyy suunnitellun käyttöiän aikana, ulotetaan piikkaussyvyys raudoituksen taakse. Piikkaus ulotetaan raudoitustangon taakse tangon halkaisijan verran, kuitenkin vähintään 15 - 20 mm.

Karbonatisoitumissyvyys voidaan määrittää paikalla helposti fenoliftaleiiniliuosta käyttäen. Betonin kloridipitoisuuden määrittämiseen paikalla ei ole tällä hetkellä olemassa yksinkertaista ja luotettavaa menetelmää. Kentällä tällaista menetelmää kaivataan.

Korjausvalun suoritushetkellä ilman ja rakenteen lämpötilan on oltava vähintään + 5°C, mieluummin korkeampi. Lisäksi alustan lämpötilan pitää olla 3°C ilman kastepisteen yläpuolella paikkaus- ja juotosmasoja käytettäessä.

Silko-ohjeissa esitetyt vaurioituneen alustan poistamisohjeet ja alustan laatuvaatimukset ovat nykytietämyksen valossa asialliset.

## LÄHTEET

- /1/ Betonirakenteet. Betonin paikkaus, yleisohje. Helsinki: Tielaitos 1996. SILKO 1.231. Tieh 2230095.
- /2/ Betonirakenteet. Paikkaus ilman muotteja. Helsinki: Tiehallinto 2005. SILKO 2.231. Tieh 2230096.
- /3/ Betonirakenteet. Reunapalkin uusiminen. Helsinki: Tiehallitus 1992. TIEL 2230096-SILKO 2.211.

---

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:stä saadun kirjallisen luvan perusteella.

/4/ Betonirakenteet. Vesieristyksen alustan kunnostus. Helsinki: Tielaitos 1993. TIEL 2230096-SILKO 2.240.

/5/ Huovinen, P. Jälkivaletun betonin tartunnasta ja rakenteen yhteistoiminnasta. Diplomityö. Oulun yliopiston rakentamistekniikan osasto. Oulu 1976. 49 s. + liit. 2 s.

/6/ Huura, Jorma., Betonin esikäsittely- ja purkamismenetelmät. Teoksessa ”Betonirakenteiden säilyvyys, vauriot ja korjaaminen”, RIL K 145-1991. s. 97-119.

/7/ Kimmovasaran käyttäjän ohje. Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet – SYL 3. Tielaitos, Siltakeskus. Helsinki 1996. 79 s + liit. 27 s.

/8/ Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet – SYL 3. Tiehallinto, asiantuntijapalvelut. Helsinki 2005. 79 s + liit. 8 s.

Espoo 28.1.2008



Eero Punakallio  
Palvelupäällikkö



Pertti Pitkänen  
Erikoistutkija

JAKELU

Tilaaajat  
VTT/Arkisto

Alkuperäinen  
Alkuperäinen