



Betonirakenteiden korjaaminen 2024

Inari Weijo, Ramboll Finland Oy

Mikko Rauhanen, IfCon Oy

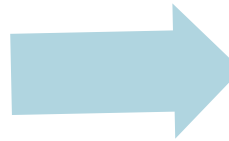
Havainnot ja mittaukset,
tutkimusmahdollisuudet
ja tutkimusmenetelmät

Kuntotutkimuksen vaiheet



Esiselvitykset

- Tavoitteiden selvittäminen
- Asiakirjojen tarkasteleminen
- Silmämääräinen katselmus kohteella
 - Rakennerratkaisujen ja rakenteiden toiminnan selvittäminen, potentiaaliset ongelmat
 - Tutkimussuunnitelman laatiminen



Varsinaiset tutkimukset ja mittaukset

- Alkuperäiset suunnitelmat ja rakennerratkaisut
- Rakenteiden silmämääräinen havainnointi kohteella
- Kenttätutkimukset
- Näytteenotto
- Laborioriotutkimukset

Analyysointi

As Oy

Julkisivu-, parveke- ja vesikattorakenteiden kuntotutkimus

20.8.2018



Johtopäätökset ja raportointi

- Turvallisuutta ja terveellisyyttä heikentävät tekijät
- Korjausvaihtoehdot ja niiden tarkastelu
- Kustannusarvio
- Lisä- ja jatkotutkimustarve

Raudoitteiden korroosio

Asiakirjat

- betonin laatu (lujuus, karb. alttius)
- valusuunta
- rauditusmäärä/paksuus
- rakenteen geometria (esim. uritus)
- ikä

Kenttätutkimukset

- peitepaksuuksien kartoittaminen
- karbonatisoitumissyvyyksien kartoittaminen
- terästen esiin piikkaaminen
- (potentiaalimittaukset)

Aistinvarainen havainnointi

- näkyvien vaurioiden määrä, sijainti ja aste
- peitepaksuudet vauriokohdissa
- kosteustekninen toimivuus

Laboratoriokokeet

- karbonatisoitumissyvyyksien mittaaminen
- kloridipitoisuuden määrittäminen (pitoisuus/syvyysprofiili)

Raudoitteiden korroosio

Karbonatisoitumissyvyyden mittaus

- mitataan pH-indikaattorilla (fenoliftaleiiniliuos), jolla erotetaan karbonisoitunut (pH noin 8) ja karbonisoitumaton betoni (pH 13...14)
- poralieriön pinnalta suhteellisen nopeasti poraamisen jälkeen (mieluiten samana päivänä) tai lieriön tuoreelta lohkopinnalta myöhemmin. Voidaan tehdä myös betoniin työstetystä avauksesta tai betoniin poratun reiän reunoilta
- Suuri hajonta jo näytteen matkalla -> näytteitä tarvitaan runsaasti
- Suositus 6 näytettä / merkittävä rakenneosa, aina eri elementeistä
- Silloissa rakenneosakohtaiset tutkimusmäärät
- Valkobetonilla mittaus ei aina onnistu



Raudoitteiden korroosio

Karbonatisoitumissyvyys – mitä muuta voi päätellä

- Halkeamien karbonisoituminen voi kertoa halkeaman syntyajankohdasta
- Ulkokuoren sisäpinnan karbonisoituminen voi kertoa tuuletusvälin olemassaolosta
- Hajonta voi kertoa laatuvaihteluista
- Nopea ja epätasainen eteneminen voi kertoa huonosta tiiveydestä
- Havaintoja kosteusrasituksesta - karbonisoituminen hitaampaa vesirasitetuilla pinnoilla



Raudoitteiden korroosio

Raudoitteiden peitepaksuusmittaukset

- Ainetta rikkomattomasti peitepaksuusmittarilla, toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon.
- peitepaksuusmittarilla havaitaan tavanomaiset, magneettiset raudoitteet. Esim. austeniittisia ruostumattomia raudoitteita, alumiinia tai harjakuparisiteitä ei voida havaita.
- Kentällä:
 - Kukin rakenne- ja raudoitetyyppi mitataan erikseen, esim. verkko- ja reunaraidoitteet, oletettava raudoitteen halkaisija syötetään laitteeseen
 - Vastaako mittausarvot odotettua-> mahdollinen mittausmäärien/alueiden muutos kohteella
 - Suuri hajonta -> mittauksia otettava runsaasti

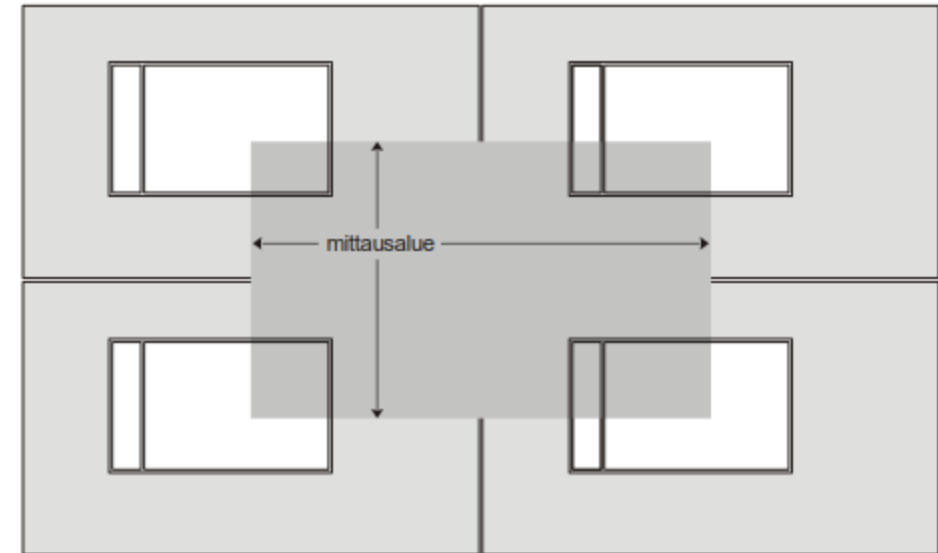


(Kalleimmat laitteet skannaavia ja tunnistavat raudoituksen, tartuntajänteet, muoviputket jne...)

Raudoitteiden korroosio

Karbonatisoitumissyvyyksien ja raudoitteiden peitepaksuuksien tarkkuus riippuu lähinnä otosten suuruudesta ja edustavuudesta.

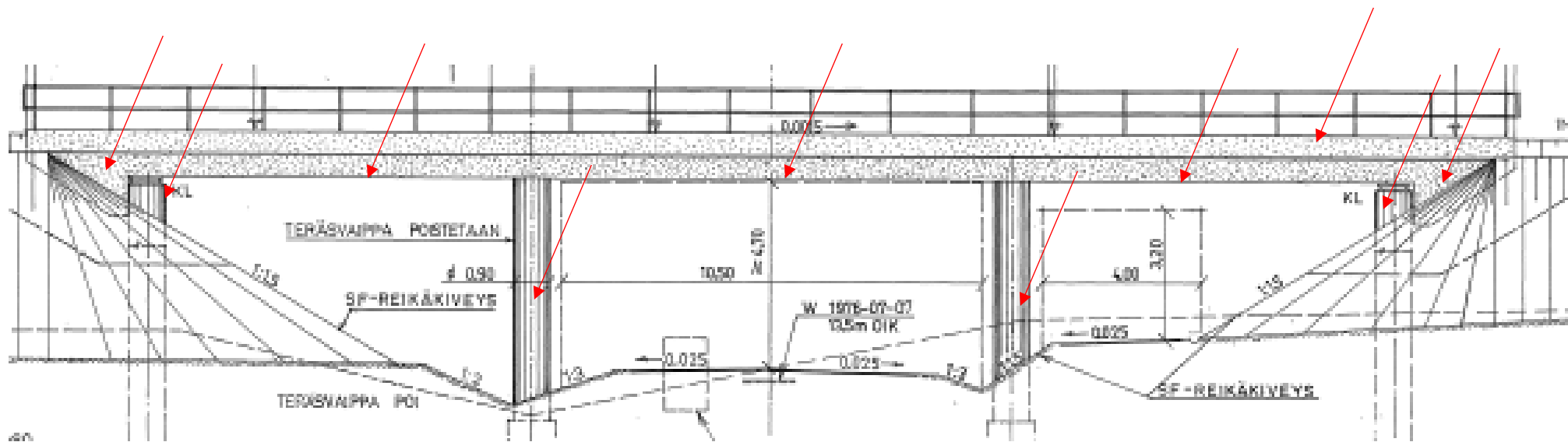
- Otokseen tulevat mittauspisteet valitaan satunnaisesti, eri kerrokset, ilmansuunnat, elementin osat ja muut systemaattiset tekijät jakautuvat otoksessa samoin kuin tutkittavassa rakenteessa.
- Karbonatisoitumissyvyyttä ja peitepaksuutta ei ole tarpeen mitata samoista kohdista, ovat toisistaan riippumattomia suureita
- Elementtien osapintoja (vasen, oikea, ylä, ala) mitattava oikeissa suhteissa
- Peitepaksuusotannassa mittausalueet esimerkiksi neljän elementin risteyskohtia, joista otokseen tulee aina neljä elementin neljännestä



Raudoitteiden korroosio

Karbonatisoitumissyvyyksien ja raudoitteiden peitepaksuuksien tarkkuus riippuu lähinnä otosten suuruudesta ja edustavuudesta.

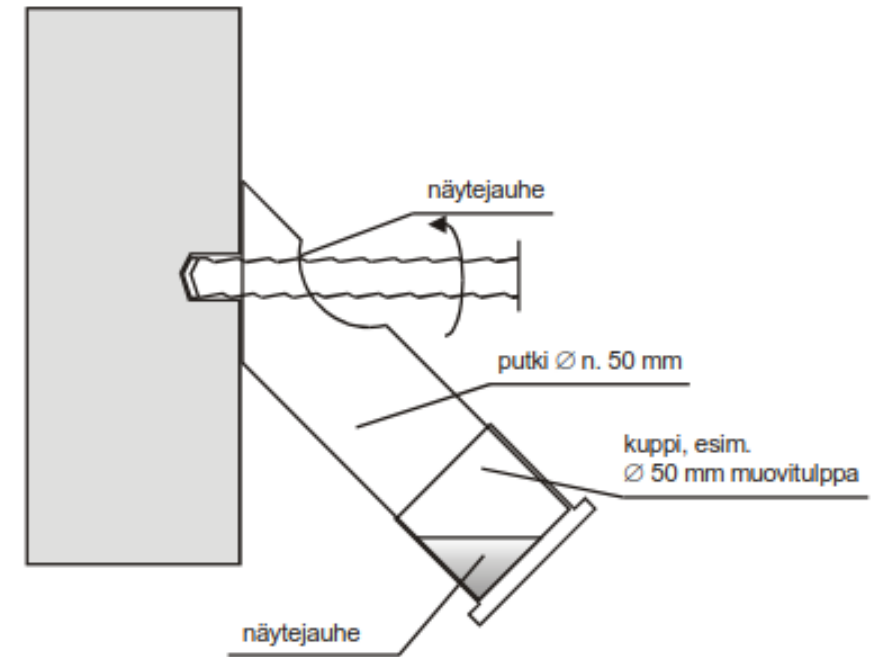
- Silloissa mitataan kaikista rakenneosista



Raudoitteiden korroosio

Kloridipitoisuuden määrittäminen

- Mitataan jauhenäytteestä, joka otetaan yleensä poraamalla poravasaralla reikä betoniin ja keräämällä syntynyt jauhe talteen.
- Erityistapaukset:
 - Jos suuria runkoainerakeita, voi näytteeseen tulla lähes pelkkää runkoainejauhetta. Näytettä on kerättävä useammista rinnakkaisista porausrei'istä. Tai vaihtoehtoisesti tutkitaan näytelieryöstä.
 - Ennen näytteenottoa on pinnasta poistettava pinnoitteet ja mahdolliset laastitasoitukset.
 - Kerroksellisesta rakenteesta näytteitä tulisi ottaa kaikista kerroksista.
- Meren rannalla (n. 100-200 m rantaviivasta), silloissa, pysäköintihalleissa selvitetään, ovatko kloridit peräisin valmistuksesta (pitoisuus likimain sama riippumatta syvyydestä) vai ulkoisesta rasituksesta (pitoisuus alenee syvemmälle mentäessä)
- Näytteenotto erikseen eri syvyyksiltä (ns. kloridipitoisuusprofiilin selvittäminen).
- Standardin mukainen mittaus toteutetaan happoliukoisena!

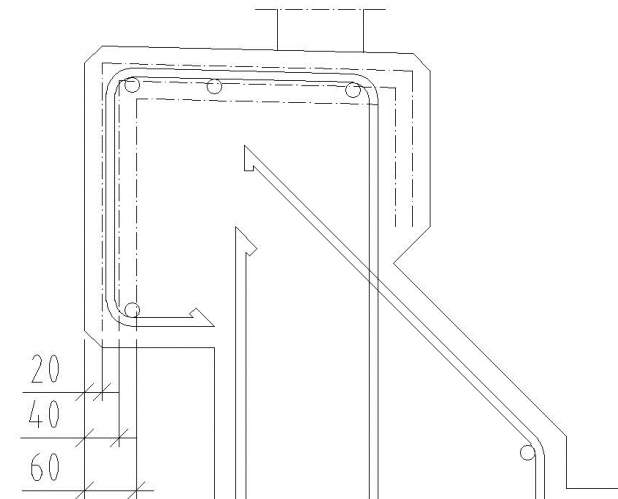


Raudoitteiden korroosio

Kloridipitoisuuden määrittäminen

- Ulkorakenteissa sadevesi usein huuhtoo pinnasta klorideja pois.
- Mittaus tehtävä koko mittausprofiilista.
- Pölynsidonnassa myös käytetty suolaa.
- Maantieliikenteen suolasumu rasittaa myös rakenteita.
- Meren suolasumurasitus otaksutaan n. 100 m:n etäisyydelle rannasta.

Näyte	Rakenneseosa	Kloridipitoisuus		
		0-20 mm	20-40 mm	40-60 mm
RP 1.2 o	Reunapalkki, oikea	0,22	0,10	0,10
RP 1.8 o	Reunapalkki, oikea	0,16	0,10	0,05
RP 1.1 v	Reunapalkki, vasen	0,08	0,05	0,04
RP 1.9 v	Reunapalkki, vasen	0,09	0,04	0,02



Raudoitteiden korroosio

Potentiaali-, ominaisvastus ja polarisaatiomittaus

1. Potentiaalimitoituksella selvitetään raudoituksen korroosiotilaa ts. ne raudoituksen alueet, joissa korroosio on käynnissä mutta ei näkyvissä.
2. Ominaisvastusmittauksen avulla voidaan tehdä epäsuoria arvioita raudoituksen korroosionopeudesta aktiivisella korroosioalueella.
3. Polarisaatiomenetelmässä mitataan raudoituksen polarisaatiovastusta, joka pienenee teräksen pinnalla olevan rautaoksidien muodostaman passiivikalvon rikkouduttua. Käytetään potentiaali- ja ominaisvastusmittauksia täydentävänä mittauksena.

Käytetään vain erikseen tilaajan kanssa sovittaessa, vähemmän käytössä.

Raudoitteiden korroosio

**Potentiaali-, ominaisvastus ja
polarisaatiomittaus**

TUTKIMUSSELOSTUS | Nro VTT-S-11654-06 | 11.12.2006

Korroosion ainetta rikkomattomat tutkimusmenetelmät

Tilaja: Tiehallinto
Valtion ydinjätehuoltorahasto
Ratahallintokeskus
Helsingin kaupungin rakennusvirasto
Espoon kaupunki
Tampereen kaupunki
Turun kaupunki



Betonin rapautuminen

Asiakirjat

- betonin laatu (lujuus, lisähuokostus)
- rakenteen kosteustekninen toimivuus
- Kosteusrasitustaso
- Pakkaskestävyys (P-luku)

Kenttätutkimukset

- Vasarointi
- Kimmovasarointi → ei faktalukemaa

Aistinvarainen havainnointi

- näkyvien vaurioiden määrä, sijainti ja aste
- rasiustason arviointi
 - detaljit
 - näkyvät vesivuotojäljet yms.
- rapautumiseen viittaavat merkit
 - kaareutuminen
 - saumojen kokoonpuristuminen
 - kalkkivuoto halkeamista
 - halkeilu ja pinnan hilseily

Laboratoriokokeet

- mikrorakennetutkimus (ohuthie)
- betonin vetolujuustestaus
- Suojahuokossuhdemittaus

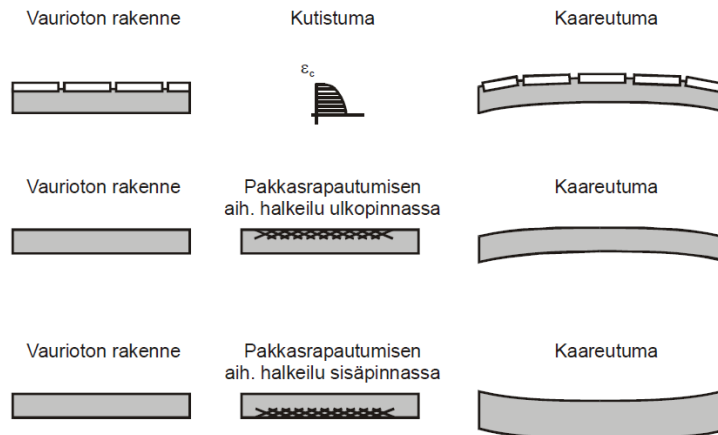
Betonin rapautuminen

TUTKIMUS- MENETELMÄ	<i>Silmäm. tarkastelu kohteella</i>	<i>Vasarointi</i>	<i>Poralieriöiden silmäm. tarkastelu</i>	Rapautumisen laajuus <i>Vetokoe</i>	<i>Mikrorakenne- tutkimus</i>	
<i>Todettavissa oleva rapautumisaste</i>	hyvin pitkälle edennyt rapautuminen	pitkälle edennyt rapautuminen	pitkälle edennyt rapautuminen	alkuvaiheessa oleva rapautuminen	hyvin alkuvai- heessa oleva rapautuminen	pakkasenkestävyys ja rapautumismekanismi
<i>Edustavuus</i>	laaja	melko laaja	pistemäinen	pistemäinen	pistemäinen	
<i>Luotettavuus</i>	huono	kohtalainen	kohtalainen	hyvä	erittäin hyvä	
<i>Tarvittava työmäärä</i>	vähäinen	kohtalainen	suuri	suuri	erittäin suuri	
<i>Kustannus</i>	erittäin halpa	halpa	halpa (näytteet muita tutki- muksia varten)	kohtalainen	kallis	

Betonin rapautuminen

Silmämääräinen tarkastelu

- Elementtien kaareutuminen
- Halkeilu
 - Halkeilun taajuus, suunta, verkkomaisuus
- Kalkkihärmevalumat
- Saumojen kokoonpuristuminen



Betonin rapautuminen

Silmämääräinen tarkastelu

- Pintalaasti on irronnut
- Karkea kiviaines näkyvissä
- Raudoitus näkyvissä
- Tarkastuskäsikirjat ohjaavat oikean suuntaiseen visuaaliseen havainnointiin / päätelmään
- Rapautuman vakavuus pääteltävä onko vaurio EI-kriittisessä kohdassa vai kriittisessä?



Vaurio-luokka	RAKENNETYYPPI VAURIO
1	<ul style="list-style-type: none">• Betonin pinnassa on verkkohalkeilua tai pintalaasti on irronnut, mutta karkea kiviaines ei ole näkyvissä.
2	<ul style="list-style-type: none">• Betonissa on syvälle ulottuvaa verkkohalkeilua (ei viitettä alkalikiviainesreaktiosta *).• Karkea kiviaines on näkyvissä ja rapautumisen/kulumen syvyys on enimmäkseen 0–10 mm.• Ei kriittisessä kohdassa karkean kiviaineksen ympäriltä on irronnut laastia ja rapautumisen/kulumen syvyys on enimmäkseen 0–25 mm.
3	<ul style="list-style-type: none">• Kriittisessä kohdassa karkean kiviaineksen ympäriltä on irronnut laastia ja rapautumisen/kulumen syvyys on enimmäkseen 0–25 mm.• Ei-kriittisessä kohdassa karkea kiviaines on irronnut ja rapautumisen/kulumen syvyys on enimmäkseen yli 25 mm tai raudoitus on näkyvissä.
4	<ul style="list-style-type: none">• Kriittisessä kohdassa karkea kiviaines on irronnut ja rapautumisen/kulumen syvyys on enimmäkseen yli 25 mm tai raudoitus on näkyvissä.• Ei-kriittisessä kohdassa on erittäin pitkälle edennyt laaja rapautumavaurio.

Betonin rapautuminen

Vasarointi

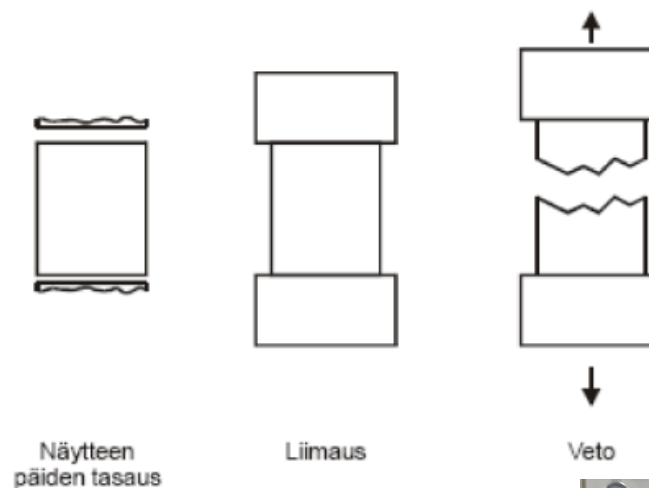
- rasitetuimmat osat kartoitetaan perusteellisesti vasaroimalla betonipinnat raskaalla vasaralla ("moska", paino n. 1 kg).
- Vasarointi (edullinen) kannattaa tehdä suhteellisen laajoille otospinnoille siten, että ainakin pakkasrasitetuimmat rakenteen osat vasaroidaan
- tavallista matalampi koputusääni ja vasaran normaalia vaimeampi kimpoaminen
- Karkeasti harjatuilla ja pesubetonipinnoilla vasaroinnin "tarkkuus" heikompi



Betonin rapautuminen

Vetokoe

- Vetolujuus kertoo betonin kunnosta enemmän kuin puristuslujuus
 - Pinnan suuntainen halkeilu näkyy vetokoetuloksissa mutta ei puristuslujuustuloksissa
- Betonin rapautumisen astetta, syvyyttä ja laajuutta selvitetään näytelieriöistä tehtävän vetolujuustestauksen avulla
- Näytekoot vaihtelee 50-75 mm:n välillä



Betonin rapautuminen: vetokoe

Tulosten tulkintaohje, BY 42

	Vetolujuus	Murtotapa ja -kohta	Huom!
Pitkälle edennyt rapautumaa	Luokkaa alle 0,5 MPa	<ul style="list-style-type: none">- Runkoainesrakeiden pintaa pitkin- murtopinnalla saattaa esiintyä suolamuodostumia (leveät halkeamat)- murtokohta usein lähellä pintaa	Tulkinta voi olla ongelmallista, jos <ul style="list-style-type: none">- betonin vetolujuus on ollut alun perinkin heikko- runkoaineena käytetty pyöreää luonnonkiviainesta tai muutoin heikkolujuuksista kiviainesta
Jonkinasteista rapautumaa	Luokkaa 1,0 MPa	<ul style="list-style-type: none">- murto runkoainesrakeiden pintaa pitkin- murto usein lähellä pintaa	<ul style="list-style-type: none">- rakenteessa on muita esim. kuivumisesta tai kuormituksesta aiheutuneita halkeamia
Ei rapautumista	Luokkaa 1,5 MPa tai yli	<ul style="list-style-type: none">- murto runkoainesrakeita rikkova- murto pinta suora ja tasainen	<ul style="list-style-type: none">- näytteessä on terästä

Vetokoetuloksen lisäksi tietoa murtotavasta. Valokuvat murtopinnoista antavat lisäinformaatiota!

Betonin rapautuminen

Vetokoe

Näyte	Rakenneosa	Vetolujuus [MN/m ²]	Murtokohta
KYP 7.2 uusinta	Kansilaatan, yläpinta	1,30 1,99	1-8 mm vetopinnasta, ka 3 mm, murtokohta betonista. 69-79 mm vetopinnasta, ka 77 mm, isoja kiviä myötäillen.
KYP 8.2	Kansilaatan, yläpinta	1,99	69-79 mm vetopinnasta, ka 75 mm, reunaosuma syvyydessä 75 mm.
KYP 9.2	Kansilaatan, yläpinta	2,24	1-3 mm vetopinnasta, osittain liimapinnasta.
KYP 10.2	Kansilaatan, yläpinta	3,69	71-80 mm vetopinnasta, ka 77 mm, 10% liimapinnasta.



KYP 5.2	Kansilaatan, yläpinta	2,39	58-76 mm vetopinnasta, ka 67 mm, isoja kiveä myötäillen.
KYP 4.2 Kuvat 16-17 uusinta	Kansilaatan, yläpinta	1,17 1,58	1-7 mm vetopinnasta, ka 3 mm, 30% kalkkihärmää. 1-4 mm vetopinnasta, ka 2 mm, murtokohta betonista.
KAP 2.7 v	Kansilaatan, alapinta	2,66	62-69 mm vetopinnasta, ka 65 mm, murtokohta betonista.
KAP 1.6	Kansilaatan, alapinta	2,26	55-69 mm vetopinnasta, ka 67 mm, isoja kiviä myötäillen.



Betonin rapautuminen

Mikrorakennetutkimus (ohuthie)

- Pakkaskestävyyden, pakkasrapautuman olemassaolon ja rapautumismekanismien selvittäminen
- Sisältyy kuntotutkimuksiin / erikoistarkastuksiin
- Yksi kalleimmista tutkimuksista mutta sisällöltään laajaa tietoutta

Yleistiedot:

- näytelieriö on katkennut teräksen kohdalta noin 50 mm yläpinnasta (leikkauspinta rikkoo kiviainetta) ja se on liimattu ohuthieen valmistuksessa
- teräs (\varnothing 22 mm) on 28 mm yläpinnasta, ei ruostetta
- karbonatisoituminen edennyt yläpinnasta alle 1 mm

Laatu ja mikrorakenne:

- betonin rakenne tasalaatuinen
- tiivistyminen on hyvä (säröily heikentää tiiveyttä), tiivistyshuokosia vähän ($\varnothing < 6$ mm), kiviaineen tartunnat yleisesti tiiviit
- kiviaine on pyörästynyt (pääkivilajit: granitoidit, gneissit, liuskeet, hiekkakivet/kvartsiitit), suurin havaittu raekoko 20 mm
- sideaineen (portlandsementti, masuunikuonaa) mikrorakenne/ -tekstuuri on tasainen, hydrataatioaste tavanomaista luokkaa
- suojahuokosia (\varnothing 0,02-0,8 mm) vähän
- huokosiin kiteytynyt ettringiittiä ja paikoin alle 0,5 mm huokokset ovat umpeutuneet sekä muutamat alle 0,7 mm huokokset ovat umpeutuneet alkalipiigeelillä

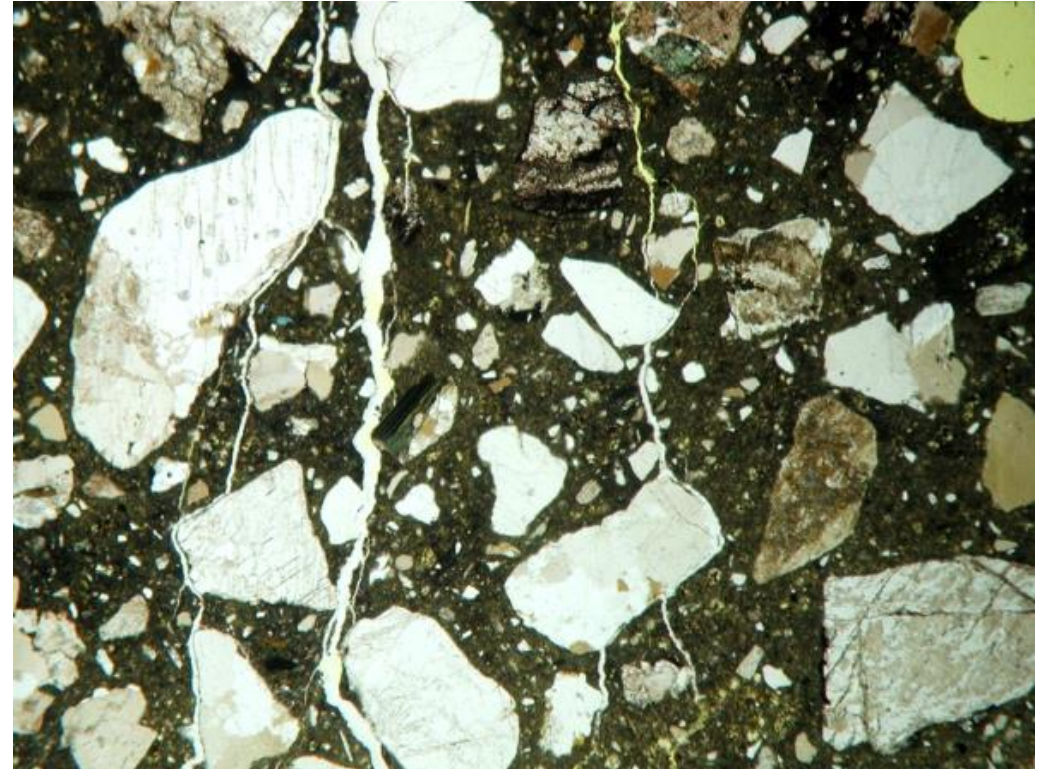
Rapautuneisuus/ säröily:

- yläpinnan läheisyydessä vähän plastista rakoilua (kiteytynyt kalsiumhydroksidia sekä ettringiittiä)
- pinnan suuntaiset, jatkuvat tai lähes jatkuvat mikrosäröt ovat 17, 35, 50 ja 68 mm yläpinnasta (leveys alle 0,08 mm), säröt leikkaavat hiekkakiviä/kvartsiitteja
- säröt ovat voimakkaasti haaroittuva ja niihin on kiteytynyt runsaasti ettringiittiä sekä muodostunut alkalipiigeeliä
- vähän suuntautumaton mikrosäröilyä (säröjen leveys alle 0,01 mm)

Betonin rapautuminen

Mikrorakennetutkimus (ohuthie)

- Pinnoitteet
- Karbonatisoitumissyvyys, etenemistapa
- Huokosten täytteisyys, indikoi kosteudesta betonirakenteessa
- Vesisementtisuhte ja hydrataatioaste
- Seosaineet, niiden vaikutus
- Runkoaineksen laatu, jakauma, vaurioituminen/lajiin liittyvät vauriot
- Näytteessä mahdollisesti olevien terästen vauriot
- Betonin halkeilu, vaurioaste, vaurioiden syy

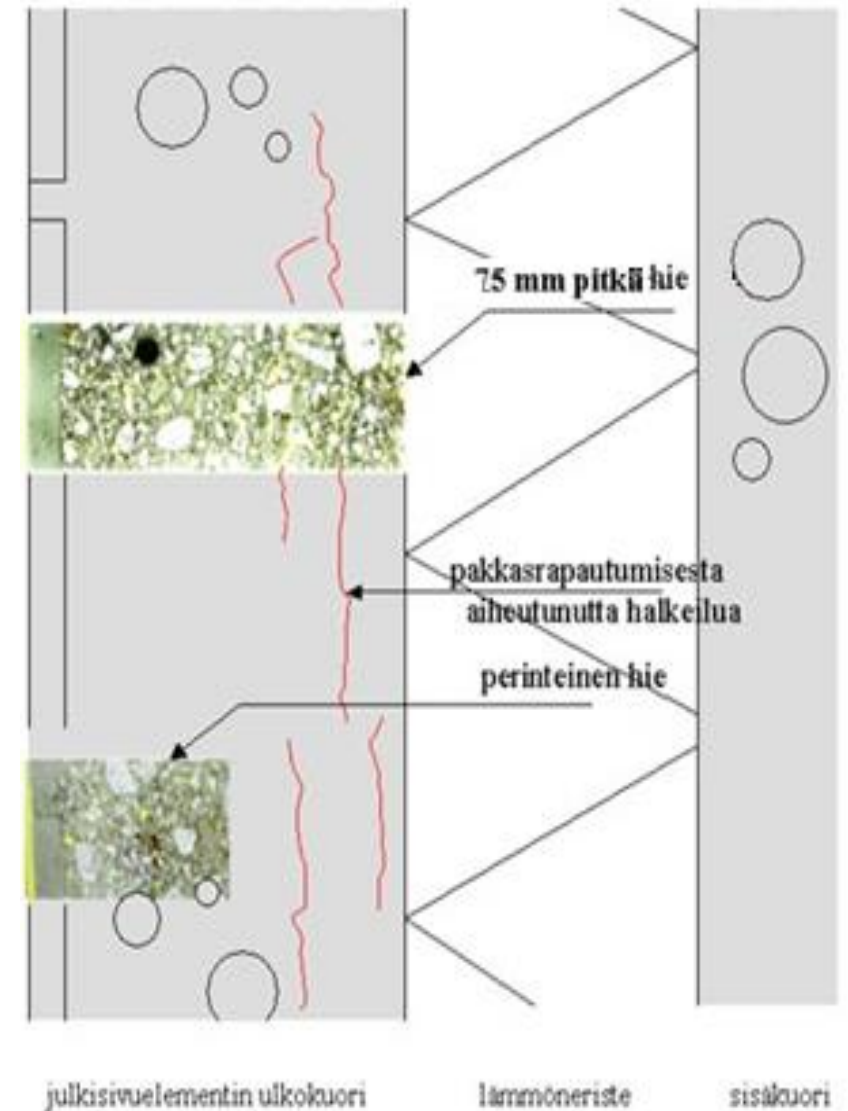


Betonin rapautuminen

Mikrorakennetutkimus (ohuthie)

- Tutkimussyvytykset vaihtelee rakenteittain
- Talopuolella käytössä 0-48 mm + 0-76 mm
- Infrapuolella käytössä 0-76 mm + 80-160 mm
- Hieen näyteleveys vaihtelee, esim. 25 mm
- Näytteen paksuus 0,02-0,03 mm

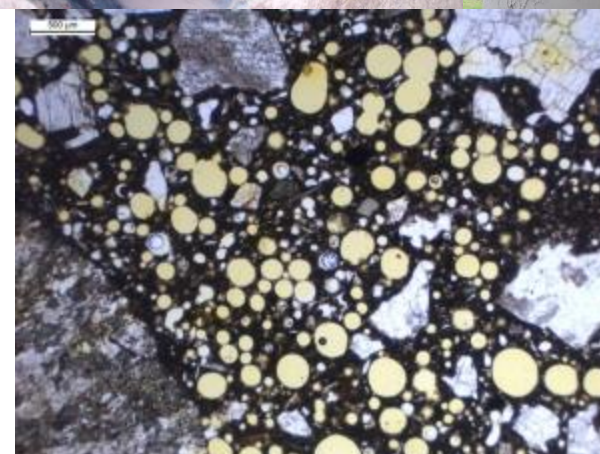
Kannattaa suosia isoja näytelieriöitä, josta ohuthienäyte valmistetaan, jotta laboratorio pystyy tekemään hieen varmasti sellaisesta kohtaa, jossa ei ole iso runkoainerae tms.



Kuva: Betonialan Ohuthiekeskus Oy

Betonin pakkasenkestävyys

- Pakkaskestävyyden puutteellisuus on helpompi todeta kuin se, että rakenneryhmä on täysin pakkasenkestävä:
 - eri tutkimusmenetelmillä löytyy merkkejä edes alkavasta rapautumisesta
 - ohuthieistä määritetty huokosrakenne ei ole riittävän hyvä kaikissa näytteissä
- Pakkaskestävyyden varmentamiseksi tarvitaan mikrorakennetutkimuksia
 - Myöskään silmämääräisesti tai vasaroimalla ei saa löytyä viitteitä rapautumasta
 - Pakkaskestävyydessä on todennäköisesti vaihtelua, eikä täydellistä varmuutta koko rakenneryhmän kestävydestä otantatutkimuksella saada.



Betonin rapautuminen ja näytteenotto

1. Ei merkkejä rapautumisesta
 - Näytteet rasitetuilta alueilta
2. Merkkejä mahdollisesta rapautumisesta
 - Näytteet kyseiseltä alueelta
3. Paikallista rapautumaa
 - Näytteet läheltä, ehjästä kohdasta
4. Laaja rapautumista
 - Näytteet kevyemmin rasitetulta alueelta tai mahdollisesti vaurioalueelta, mikäli selvitetään rapautuman syvyyttä ja etsitään ehjän pinnan syvyyttä



Kiinnitykset, kannatukset ja sidonnat

Asiakirjat

- kiinnikkeiden tyyppi ja materiaali
- Kiinnikkeille tulevat rasitukset (kuormat, pakkovoimat, lämpö, kosteus, liikkeet yms.)
- pettämisen vaikutukset

Kenttätutkimukset

- avaaminen ja tarkastaminen (kiinnityksen tyyppi ja kunto)
- endoskoopitähystys (lähinnä kiinnikkeiden tyyppi)
- lämpökuvaus (kiinnikkeiden sijainti)
- koekuormitus

Aistinvarainen havainnointi

- suunnitelmien paikkansapitävyys
- heikkenemiseen viittaavat seikat? (siirtymät, halkeamat, hammastukset yms.)

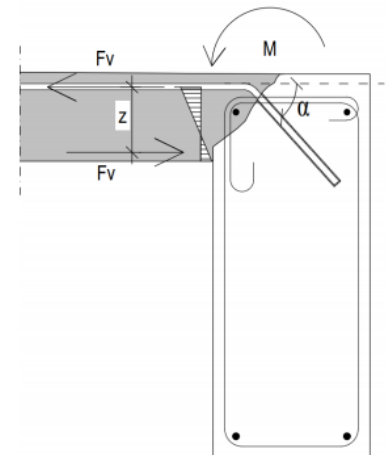
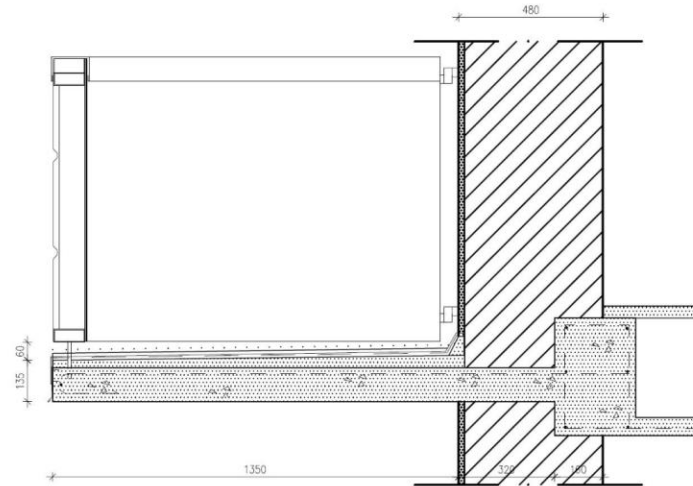
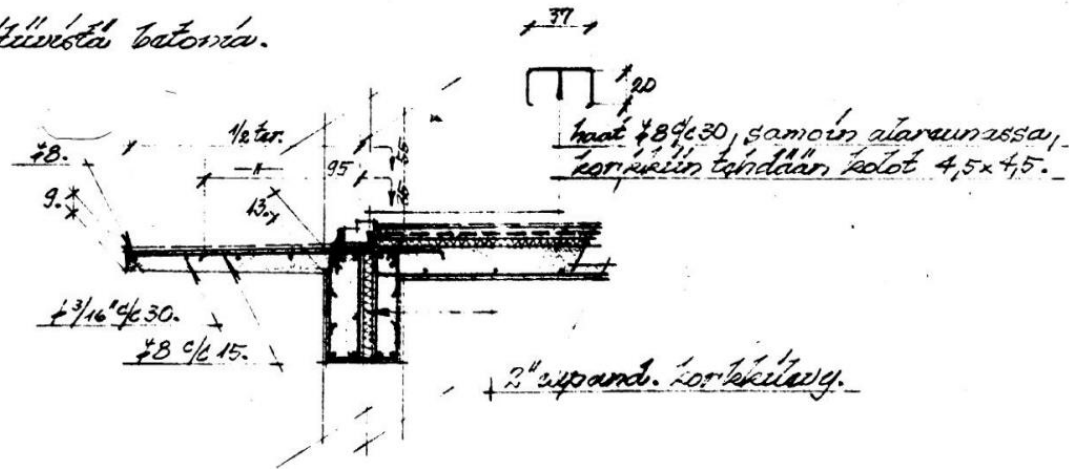
Laboratoriokokeet

- laskennalliset kantavuustarkastelut
- suoran lisätuennan mahdollisuuden selvittäminen

Kiinnitykset, kannatukset ja sidonnat

Esim. ulokeparveke

parvekkeet vesitiivestä betonista.



Kaiteet

- Liikenneturvallisuus oleellisin painopiste
- Kaiteista visuaalinen tarkastus, käsikirja ohjaa
 - Liikenneturvallisuuden varmistaminen, putkiprofiilityypiselle kaidepylväälle piikkitesti tai ainevahvuuden mittausta
 - Ruostuminen voi olla käynnissä myös putken sisällä



Laakerit

- KAIKKI laakerit tarkastetaan lähietäisyydeltä erikoistarkastuksessa
- Kunto, liikkeet, kallistumat yms.. raportoidaan valokuvoin ja mittausraportein
- Tarkastushetken liikkeet vallitsevassa lämpötilassa
 - > verrataan suunniteltuun
- Normaalista poikkeava liike
 - > pitää analysoida mikä on aiheuttaja
- Erikoislaakerit huomioitava
 - Kriittisin Kreuzzin laakeri, korkealujuusteräksestä valmistettu, halkeiluriski suurempi kuin tavanomaisessa



Kosteustekninen toimivuus

Asiakirjat

- saumojen, liitoskohtien yms. toimivuus
- tuuletusjärjestelyt
- pintatyyppi
- vedeneristys ja vedenpoistojärjestelyt, parvekelaatoissa ja silloissa

Kenttätutkimukset

- huoltohenkilöstön haastattelut (esim. vesivuodot huoneistoihin)
- kosteusmittaukset (tulevat kysymykseen lähinnä poikkeustapauksissa)
- silloissa ja pihakansissa rakenteen avaus ja vedeneristeen tyypin ja kunnan tarkastus

Aistinvarainen havainnointi

- saumojen eheys ja joustavuus
- liikuntasaumojen toimivuus
- halkeilun esiintyminen
- vesivalumiin jäljet
- pintakäsittelyjen tyyppi ja kunto
- pellitysten kunto ja toimivuus
- parvekkeiden vedenpoiston toimivuus
- ulkopuolisen kattovedenpoiston toimivuus

Laboratoriokokeet

- ~~mikrobitutkimukset~~

Kosteustekninen toimivuus, rakennukset

- Elementti- ja liikuntasauvojen toimivuus
 - Eheys
 - Joustavuus
- Vesivalumat
- Pintakäsittelyjen tyyppi ja kunto
- Pellitysten kunto ja toimivuus
- Parvekkeiden vedeneristeen toimivuus
 - Näkyä alapuolella kosteusvuotoina
- Parvekkeiden ja vesikaton vedenpoiston toimivuus
- Läpivientien tiiveys

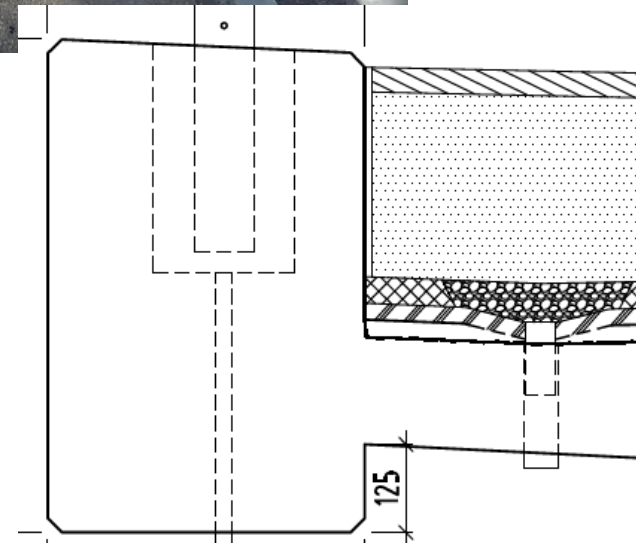


Kosteustekninen toimivuus, sillat

- Vedeneristeen toimivuus
 - Näkyy alapuolella kosteusvuotoina
 - Kallein vaurionaiheuttaja korjata
- Liikuntasaumojen toimivuus
 - Vuotoja päätyihin
 - Vuotoja mahdollisesti jänneterästen ankkurointialueelle
- Saumausten toimivuus
- Sillan kuivatuksen toimivuus
- Hulevesijärjestelmien toimivuus



Kosteustekninen toimivuus, sillat



Pintakäsittelyn tutkiminen

- Pinnoitettu rakenne
 - Visuaalinen havainnointi
 - Ehjä
 - Paikoitellen hilseilevä
 - Laaja-alaisesti hilseilevä
 - Alkuperäisen materiaalin selvittäminen vanhoista asiakirjoista
 - Pinnoiteanalyysi (maalianalyysi) laboratoriossa
 - Pinnoitteen tartunnan selvittäminen vetokokeilla
 - Pinnoitteen haitta-aineiden selvittäminen
- Pintatarvikkeet
 - Laattojen irtoamisen laajuuden arviointi silmämääräisesti kartoittamalla sekä koputtelemalla: irronneiden pintatarvikkeiden määrä ja tyypilliset irtoamiskohdat, syy
 - Koputtelu riittävän laajasti ja edustavalla otoksella.

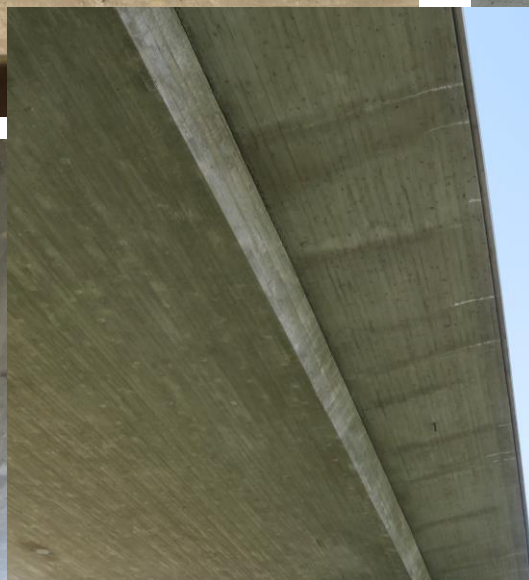


Halkeilu ja muodonmuutokset

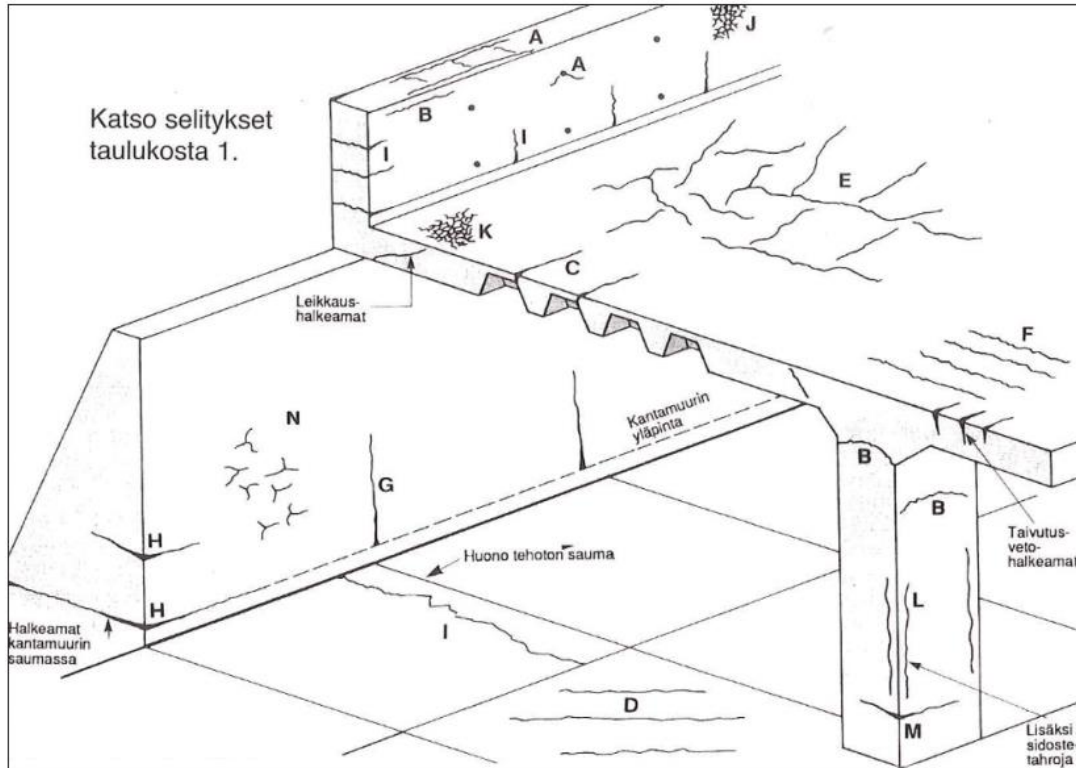
- Halkeamat ovat joko rakenteellisia halkeamia (ulottuvat neutraaliakselille tai menevät rakenteen läpi) tai pintahalkeamia (säröjä), joiden syvyys vaihtelee tapauskohtaisesti
- Halkeilu huonontaa betonin vesitiiviyttä
- Alentaa rakenteen jäykkyyttä
- Vuotavat halkeamat ovat säilyvyyden kannalta aina vaarallisia
- Halkeilu on luonnollista rakenteen toimintaa
- Leveät halkeamat ($>0,2$ mm) ovat kuitenkin osoitus riittämättömästä raudoituksesta
 - Jännitetyissä rakenteissa $>0,1$ mm



Halkeilu ja muodonmuutokset



Halkeilu ja muodonmuutokset



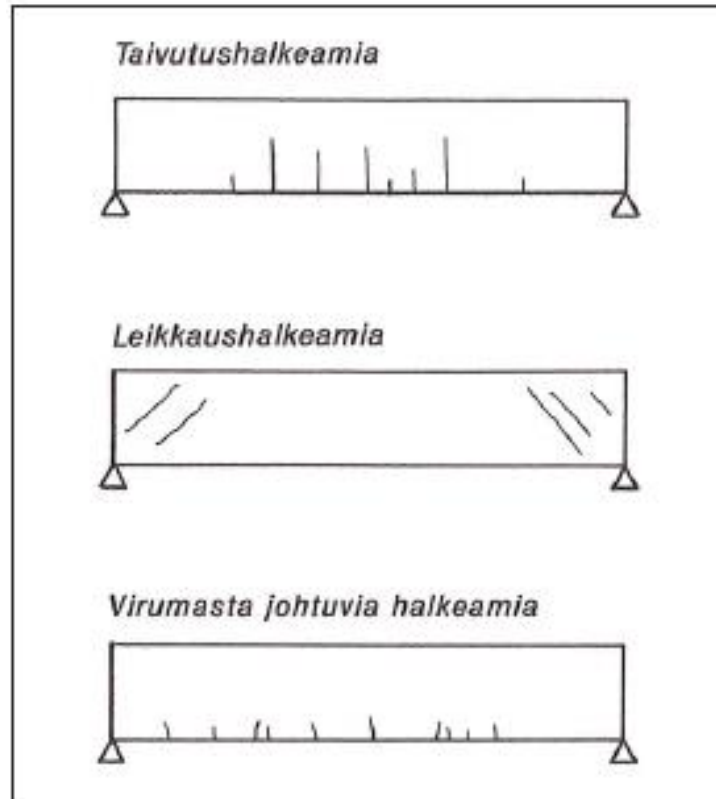
Kuva 6. Esimerkkejä betonirakenteille luonteenomaisista halkeamista /2/.

- SILKO 1.233 – halkeamien korjaaminen - yleisohje

Halkeamatyyppi	Kirjaintunnus (ks. kuva 6)	Alajako	Yleisin esiintymiskohta	Ensimmäinen aiheuttaja (poislukien pakkovoimat)	Toissijaiset aiheuttajat/tekijät	Vaurion välttämiskeino	Syntymisaika
Plastinen painuminen	A	Raudituksen yläpuolella	Paksut rakenteet	Liiallinen veden erottuminen	Nopea varhaiskuivuminen	Vähennettävä vedenerottumista (lisähuokostus) tai jäikitärytys	10 min-3h
	B	Holvaus	Pilarien yläpää				
	C	Paksuuden vaihtelu	Ripa- ja arinalaatat				
Plastinen kutistuminen	D	Diagonaalinen	Tiet ja laatat	Nopea varhaiskuivuminen	Lisäksi teräkset lähellä pintaa	Vähäinen veden-erottuminen	Varmistetaan tehokas varhainen jälkihoito
	E	Satunnainen	Teräsbetonilaatat				
	F	Raudituksen yläpuolella	Teräsbetonilaatat				
Varhainen terminen kutistuminen	G	Ulkoiset pakkovoimat	Paksut seinät	Liiallinen lämmönkehitys	Nopea jäähtyminen	Vähennettävä lämpöä ja/tai eristäminen	päivästä 2-3 viikkoon
	H	Sisäiset pakkovoimat	Paksut laatat	Liialliset lämpöerot			
Varhainen kutistuminen itsekuivumisen vuoksi		Ulkoiset pakkovoimat		Hyvin alhainen vesisementtisuhte			tunneista päiviin
Pitkän aikavälin kutistuminen ulkoisen kosteudenmenetyksen vuoksi		Sisäiset pakkovoimat					
	I		Ohuet laatat ja seinät	Tehoton rasituksen "hätäapu" (saumat)	Voimakas kutistuminen		useita viikkoja tai kuukausia, jopa useita vuosia
Säröily	J	Muottipinta	Pintabetoni	Tiiviit muotit	Lihava seos jälkihoito	Parannettava jälkihoito ja viimeistely	1-7 päivää, joskus paljon myöhemmin
Säröily	K	Hiertopinta	Laatat	Voimakas hiehto	Kuivuminen	Ei mitään	Päivistä kuukausiin
Raudituksen korroosio	L	Karbonatisoituminen ja ulkoiset kloridit	Pilarit ja palkit	Liian ohut betoni-peite / karbonatisoituminen / sallittua suurempi suolapitoisuus tai suolojen imeytyminen	Huonolaatuisen betoni	Poistettava mainitut aiheuttajat	yli 2 v.
	M	Kalsiumkloridi	Betoni-elementit	Liikaa kalsiumkloridia			
Aikalikiviainesreaktio	N		Kosteat paikat	Reagoiva kiviaines ja liian alkalinen sementti		Poistettava mainitut aiheuttajat	yli 5 v.

Halkeilu ja muodonmuutokset

- SILKO 1.233 – halkeamien korjaaminen - yleisohje



Kuva 9. Taivutetun rakenteen halkeamatyypit.

Taivutetuissa rakenteissa yleisimmin esiintyvät halkeamat voidaan ryhmitellä seuraavasti (kuva 9):

1. Jos rakenteet taipuvat liiaksi, syntyy vetopuolelle lähes pystysuoria rakenteellisia taivutushalkeamia.
2. Jos rakenteen leikkauskapasiteetti ylittyy, syntyy tukien läheisyyteen vinoja rakenteellisia leikkaushalkeamia.
3. Viruma on pitkäaikaisesta kuormituksesta aiheutuva ja ajasta riippuva pysyvä muodonmuutos, jonka seurauksena syntyy vetopuolelle vinoja tai pystysuoria virumahalkeamia. Virumasta johtuvia halkeamia esiintyy erityisesti pitkissä jännittämättömissä palkkisilloissa ja kotelopalkkisilloissa.
4. Jännitettyjen siltojen päätypoikkialkeissa esiintyvät halkeamat.



Halkeilu ja muodonmuutokset, tutkiminen

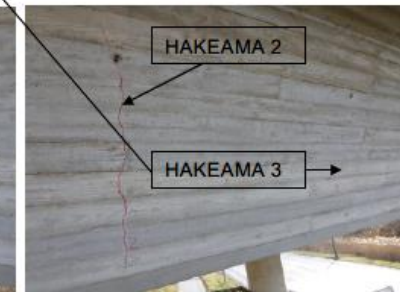
- Halkeama-kartoitus
 - Visuaalinen
 - Kastelu
 - Syiden selvittäminen
 - Tarvittaessa kantavuus- / rakennelaskelmat
- Halkeamien leveyden mittaus
 - Luuppi
 - Mittalaitteet
- Halkeamien syvyyden selvitys
 - Poranäytteet
 - Mittalaitteet



Kuva 3



Kuva 4



Kuva 5



Kuva 6

Halkeilu ja muodonmuutokset, tutkiminen

- Halkeama-kartoitus
 - Visuaalinen
 - Kastelu
 - Syiden selvittäminen
- Halkeamien leveyden mittaus
 - Luuppi
 - Lasilevy
 - Mittalaitteet
- Halkeamien syvyyden selvitys
 - Poranäytteet
 - Mittalaitteet



Figure 2 - The TCP 500 system



Figure 1 - The Surfer system



Haikka-aineet

Kustannustehokasta tutkia kuntotutkimuksen yhteydessä

- Vedeneriste
- Pinnoitteet
- Maalit
- Sauma-aineet

- Näytteenotto
 - Henkilösuojaus
 - Välineiden kontaminaatio
 - **Otanta ja sen edustavuus mietittävä tarkoin!**

- Muistettava, että on vain kartoitus tutkittavien rakenneosien pinnoilta, ei vastaa AHA-kartoitusta kohteesta!

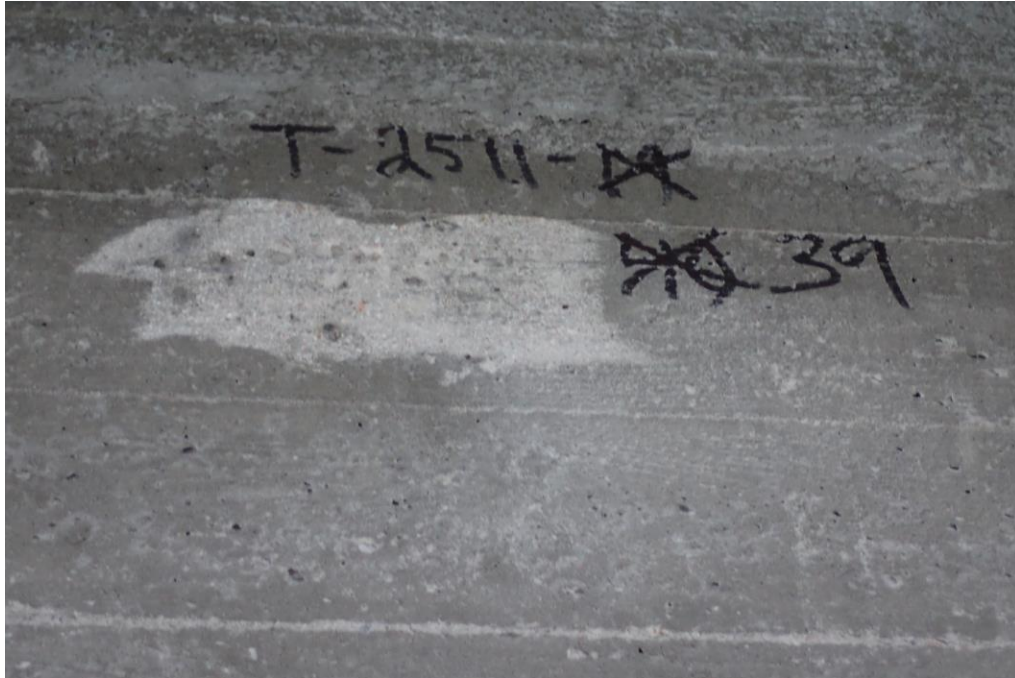
Taulukko 1. Haikka-aineiden esiintyminen eri aikakausina

Materiaali / tutkittavat haikka-aineet	Asbesti ennen vuotta 1994	PCB ennen vuotta 1984	PAH ennen vuotta 1980	Raskasmetallit, sisältää lyijyn	Lyijy ennen vuotta 1990
sauma-aineet	kyllä	kyllä	ei	ei	kyllä
eristeet	kyllä	ei	kyllä	ei	ei
teräsmaalit	kyllä	kyllä	ei	kyllä	ei
betonimaalit ja pinnoitteet	kyllä	kyllä	ei	kyllä	ei

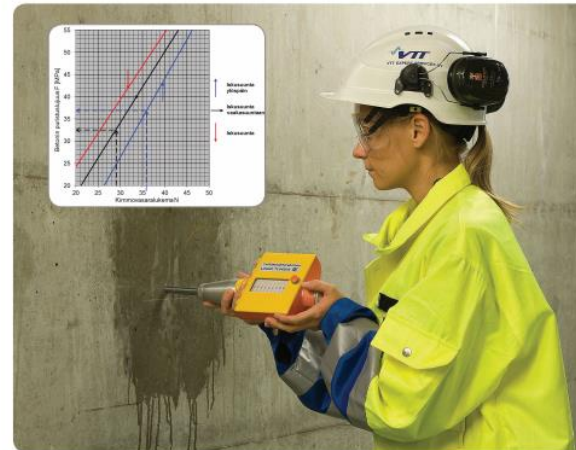
Betonin puristuslujuus ja kimmovasara

- Silloista tutkitaan erikoistarkastuksen yhteydessä päällysrakenteen puristuslujuus näytelieriöistä
- Minimimäärä 3 kpl, mikäli rakennesuunnittelija ei ole enempää määritellyt
- Näytteenotto ja tutkimukset standardien mukaisesti
- Kimmovasaraa voidaan käyttää mm. laajempien alueiden betonipintojen rapautumisen ja lujuusvaihteluiden selvittämiseen
- Kimmovasaralla ei saada oikeaa kuvaa betonin todellisesta puristuslujuudesta

Betonin puristuslujuus ja kimmovasara



Kimmovasaran käyttäjän ohje



Betonin puristuslujuus ja kimmovasara

SFS-EN 12504-1 BETONIN TESTAUS RAKENTEISTA, OSA 1: PORATUT KOEKAPPALEET. PURISTUSLUJUUDEN TESTAUS

Koetulokset sekä tilaajan ilmoittamat lähtötiedot:

Koekappaleen tunnus	Lujuus- ja rakenneluokka	Valmistuspvm	Ikä d	Koetuspvm	Murtovoima kN	Puristuslujuus MPa	Tiheys kg/m ³
Kap 3.2k	-	-	-	18.9.2018	329	73,8	2330
Ksp 1.5o	-	-	-	18.9.2018	355	79,7	2330
Kap 2.6k	-	-	-	18.9.2018	328	73,6	2290

- Sillan ikä 22 vuotta

Näytteenotto ja tutkimukset

- Laitteet pitää olla kalibroituja
- Mittaajan pitää hallita mittalaite, mittaussuomenetelmä sekä tulosten tulkinta
- Näytteenotossa huolehdittava työturvallisuus
- Vetokoenäyte;
 - Vedettävä pituus > halkaisija
 - Halkaisija ≥ 50 mm (julkisivut)
 - Halkaisija ≥ 70 mm (sillat, kantavat rakenteet)

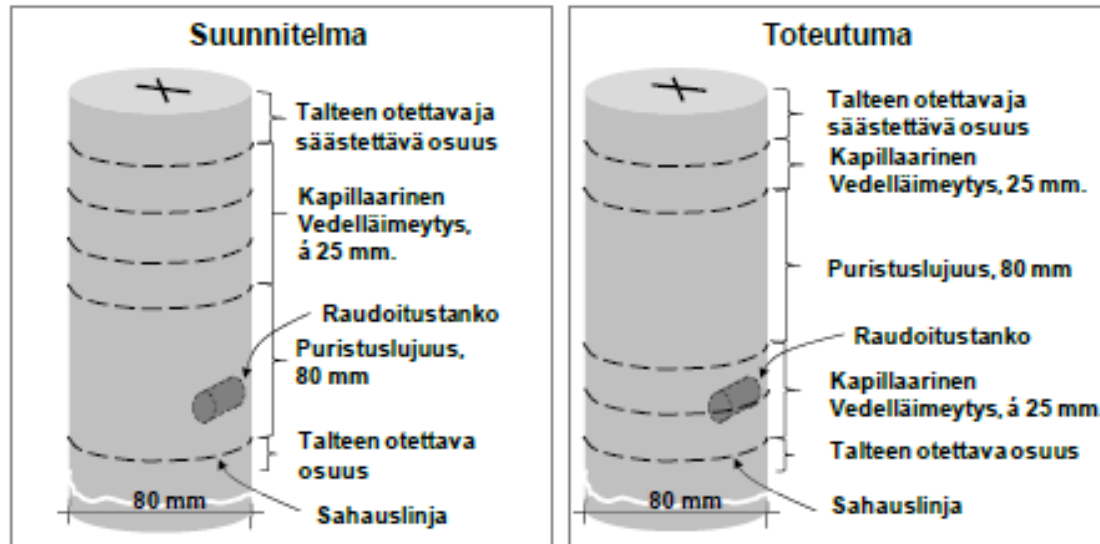


Näytteenotto ja tutkimukset

- Puristuslujuusnäyte;
 - Puristettava pituus > halkaisija
 - Halkaisija ≥ 80 mm
 - Näytteen eheys (raudoitteet, isot runkoaineet, halkeamat)
- Ohuthienäyte
 - Näytepituus tutkittavan rakenteen mukainen
 - 0-48 mm
 - 0-76 mm
 - 0-160 mm (AKR)
 - Näytteen halkaisija ≥ 40 mm
 - Edustavuus mietittävä, että saadaan tietoa siitä pinnasta ja asiasta, joka kiinnostaa



Näytteenotto ja tutkimukset



Näytteenotto ja tutkimukset

- Kloridit
 - Näytelieriö tai
 - Jauheena
 - Kloridiprofiilisarja, muistetaan näytteiden ”kontaminaation estäminen”
- Karbonatisoituminen
 - Mitataan kaikkien lieriönäytteiden yhteydessä työmaalla tai laboratoriossa
 - Voidaan tehdä kohteella suoraan rakenteesta, mutta harvinaisempaa. Paikkaustarve sen jälkeen suurempi



Näytteenotto ja tutkimukset

- Pintarakenteiden avaus
 - Päällyste
 - (mursketäyttö)
 - Suojabetoni
 - Eriste
 - Kansilaatta



Näytteenotto ja paikkaus

- Rakenteisiin poratut reiät pitää paikata.
- Pintarakenteet pitää paikata
- Ohjeistus LO 28/2018



4.8.6 Näytteenottokohtien paikkaaminen

Näytekohtien paikkaaminen

Rakenteesta irtiporatut näytekohdat tai aukipiikkaukset paikataan koko näytteenotkohdan tai aukipiikkauksen laajuudelta. Betonirakenteen osalta paikkaus tehdään laastipaikkaamalla tai betonoimalla käyttäen SILKO-hyväksytyjä tuotteita ja noudattamalla SILKO-ohjeita betonirakenteen korjaamisesta.

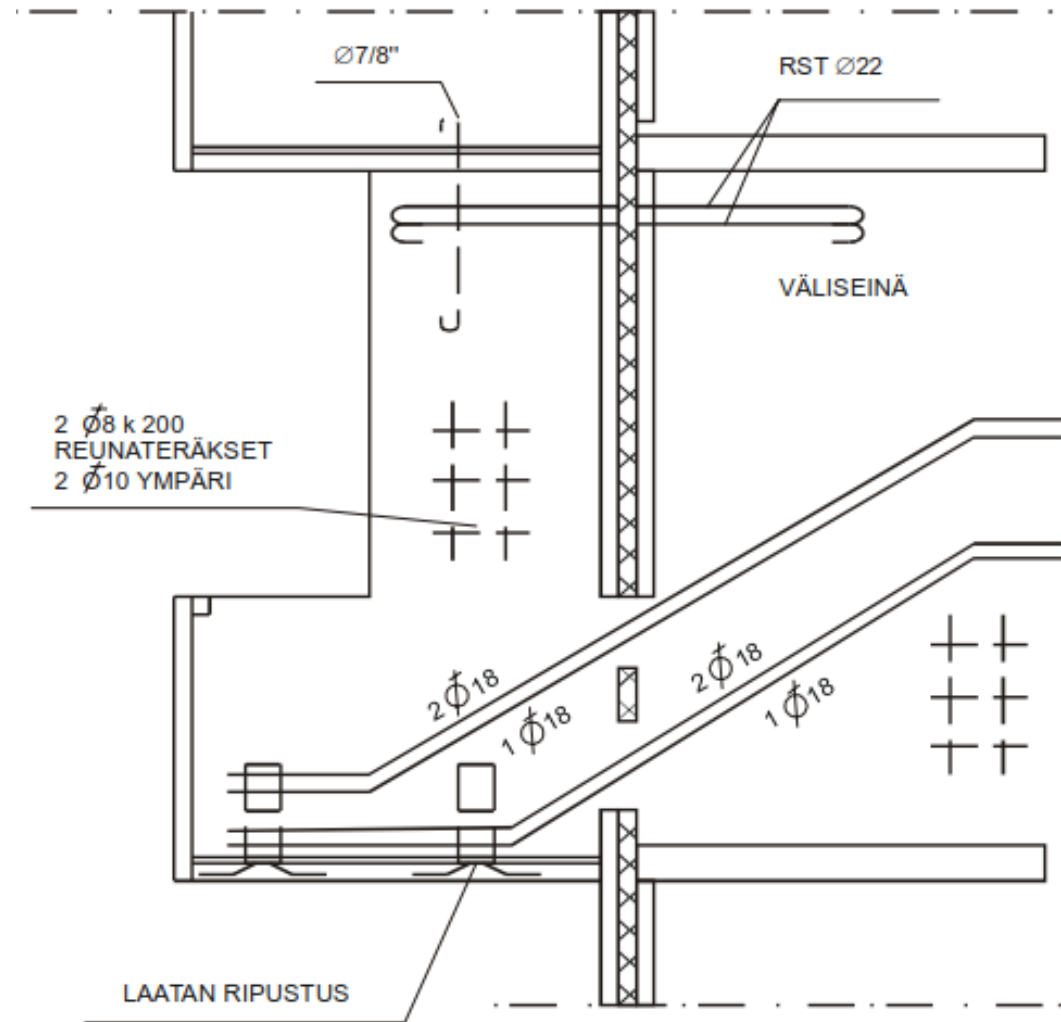
4.8.7 Pintarakenteiden paikkaaminen

Sillan kannen yläpinnan paikkaamisessa noudatetaan SILKO-ohjeen 2.831 (20) periaatteita. Betonin näytteriät paikataan juotosmassalla tai -laastilla, kuumuutta kestäväällä epoksilla tai vaihtoehtoisesti kuumennetulla kumibitumilla. Vedeneristeen ja pintarakenteiden paikkaus tehdään ko. SILKO-ohjeen mukaisesti. Eristeen paikkauksessa käytetään kuumennettua kumibitumia ja purettua asfalttia voidaan käyttää paikkauksen täyteaineena.

Paikkausperiaatteiden menetelmäkuvaukset (pintarakenteet ja näytekohdat) on esitettävä tutkimussuunnitelmassa ja hyväksyttävä tilaajalla.

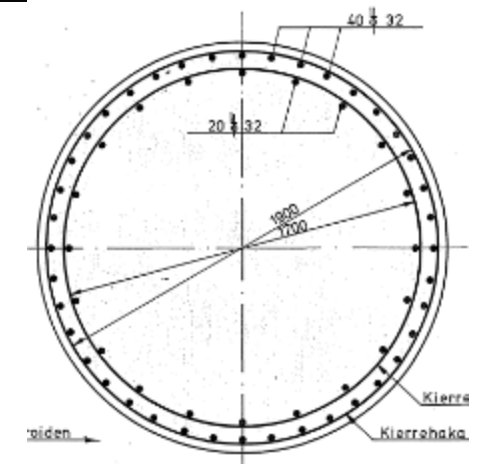
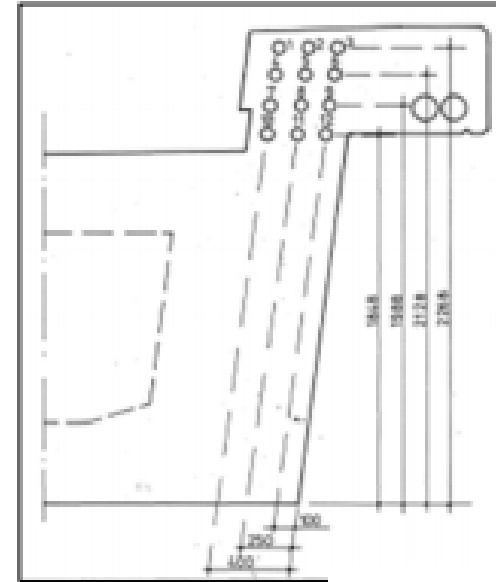
Näytteenoton riskit, talo

- Näytteenottokohdat ja –tavat on valittava siten, ettei näytteenotolla vaaranneta rakenteen kantavuutta tai kiinnitystä.
- Paikkaaminen on suunniteltava ja toteutettava niin, että näytteenottokohdat eivät lisää rakenteen rasiustasoa esim. siten, että niiden kautta pääsee rakenteeseen vettä.
- Näytteenotto ja sitä seuraava paikkaaminen on tehtävä niin, että rakennetta ulkonäköä ei tarpeettomasti heikennetä.



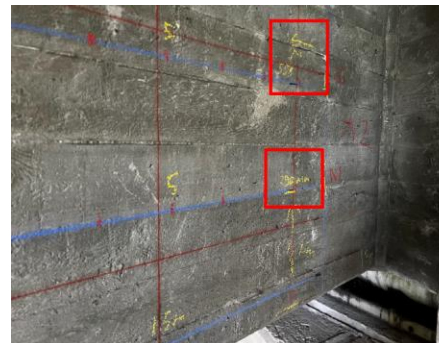
Näytteenoton riskit ja haasteet, silta

- Näytteenottokohdat ja -tavat on valittava siten, ettei näytteenotolla vaaranneta rakenteen kantavuutta.
- Rakenteissa kulkevat kaapelit on huomioitava.
- Jännerakenteiden jänteiden sijainnit on huomioitava poraustyössä.
 - Suunnitelmat
- Tiheästi raudoitetuissa rakenteissa näytteenotto on haasteellista.
 - Suunnitelmat
 - Riskit kantavuuden alenemalle, jos työ tehdään huolimattomasti



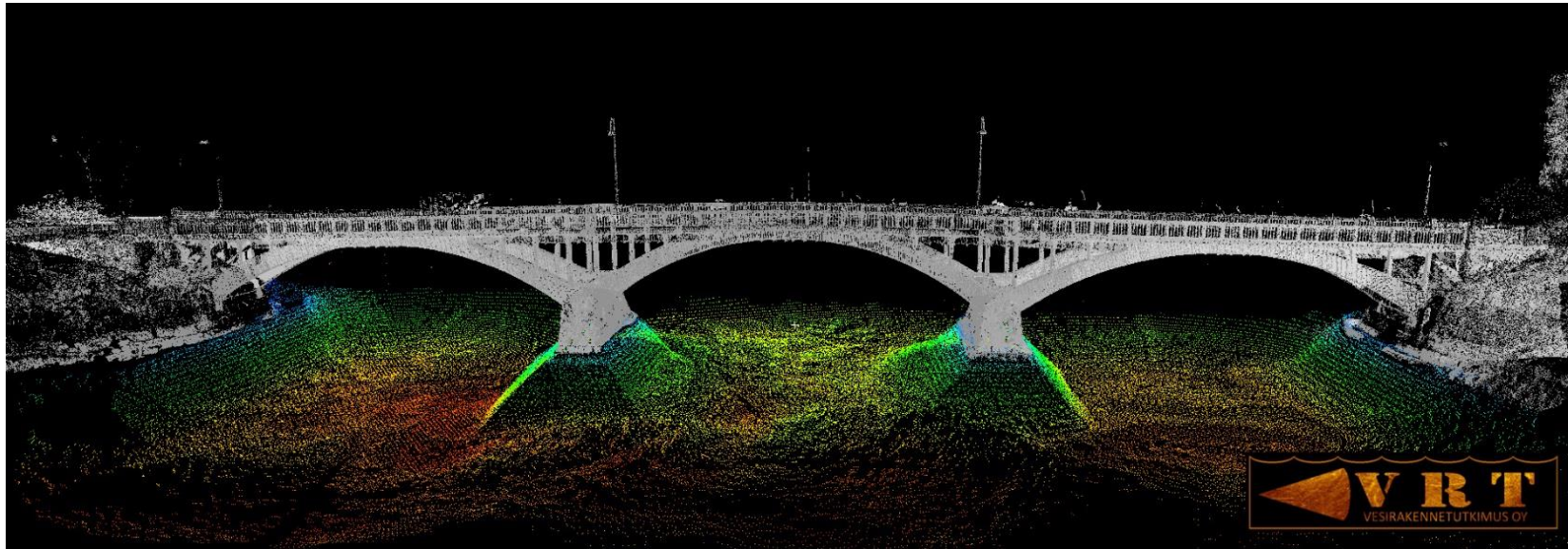
Liittyvät tutkimukset, erikoismenetelmät

- Ultraäänitekniikkaan perustuvat mittaukset esim. jännekaapeleiden tutkiminen
- Jännitysaaltoihin / värähtelyyn perustuvat menetelmät
 - Pulse Echo
 - Impact Echo
 - Impulse response
- Gamma- tai röntgenkuvaus
- Endoskooppi
- Monitorointi
- Siltatutkaus



Liittyvät tutkimukset, erikoismenetelmät

- Lämpökamerakuvaus
- Koekuormitus
- Laserkeilaukset



Havainnot ja mittaukset,
tutkimusmahdollisuudet ja
tutkimismenetelmät

