

HILTI FERROSCAN PS 200:N SOVELTUVUUS TERÄS- BETONIRAKENTEIDEN TUTKIMISEEN

Juha Kukkonen
2011
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

HILTI FERROSCAN PS 200:N SOVELTUVUUS TERÄS- BETONIRAKENTEIDEN TUTKIMISEEN

Juha Kukkonen
Opinnäytetyö
24.5.2011
Rakennustekniikka
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Rakennustekniikka	Insinöörityö	66	+	2
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Rakennetekniikka	24.5.2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
WSP Finland Oy	Juha Kukkonen			
Työn nimi	Hilti Ferrosan PS 200:n soveltuvuus teräsbetonirakenteiden tutkimiseen			
Avainsanat	Ainetta rikkomaton tutkimus, NDT, teräsbetonirakenteet, betoniterästen paikannus, betonipeite			

Teräsbetonirakenteiden ainetta rikkomattomaan tutkimukseen on kehitetty monia eri menetelmiä. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Hilti Ferrosan PS 200 -betoniskannerin soveltuvuus teräsbetonirakenteiden terästen paikantamiseen sekä laitteen hankkimisen hyödyllisyys WSP Finland Oy:n kannalta. Työ suoritettiin WSP Finland Oy:n toimeksiannosta Oulun seudun ammattikorkeakoulun hankkimalla Hilti Ferrosan PS 200 -betoniskannerilla, jota vertailtiin WSP:n nykyiseen laitteeseen, Profometer 5:een.

Vertailtavat laitteet havaitsevat betonirakenteen sisällä olevat magneettiset metallit ja keräävät sen perusteella tietoa betoniterästen sijainnista sekä halkaisijoista. Työ suoritettiin käytännön kohteiden tutkimuksena ja tutkimuskohteina olivat teräsbetoniset talo- ja siltarakenteet. Tutkittavina talorakenteina olivat pilari, palkki, seinä, sandwich-elementti sekä TT-laatta ja siltarakenteina kehäjalja, reunapalkki, kansilaatta, pilari sekä jännitetty palkki. Laitteiden toimivuutta arvioitiin myös tutkimalla laboratoriossa tunnettuja teräsbetonilaattoja.

Työn tuloksena voidaan todeta Hilti Ferrosan PS 200:n soveltuvan useimpien teräsbetonirakenteiden tutkimiseen sekä tuovan merkittävästi lisätietoa tutkittavista teräsbetonirakenteista nykyiseen WSP:n käytössä olevaan laitteeseen verrattuna. Betoniterästen paikantamiseen ja betonipeitevahvuuksien määrittämiseen Ferrosan oli Profometeriä luotettavampi ja käytettävyydeltään parempi, mutta betoniterästen halkaisijoiden määrittäminen oli kummallakin laitteella epävarmaa.

Degree programme	Thesis	Number of pages + appendices
Civil engineering	B. Sc.	66 + 2
Line	Date	
Structural Engineering	24 May 2011	
Committed by	Author	
WSP Finland Ltd.	Juha Kukkonen	
Thesis title		
Suitability of Hilti Ferroskan PS 200 for Investigating Reinforced Concrete Structures		
Keywords		
Non-destructive testing, NDT, reinforced concrete structures, rebars positioning, concrete cover		

There have been developed several different non-destructive research methods for reinforced concrete structures. The aim of the thesis was to find out the suitability of Hilti Ferroskan PS 200 -concrete scanner of locating reinforced concrete structure rebars and the profitability of the device acquisition for WSP Finland Ltd. The thesis was made by assignment of WSP Finland Ltd. and Hilti Ferroskan PS 200 -concrete scanner was purchased by Oulu University of Applied Sciences and it was compared to the WSP's current device, Profometer 5.

The compared devices are able to find out a magnetic metals inside concrete structure and define the location of the rebars and their diameters based on the collected information. The research was carried out with practical researching and the research sites were reinforced building and bridge concrete structures. A House structures of the research were column, beam, wall, sandwich panel and a TT-slab and a bridge structures was rigid frame bridge wall, edge beam, bridge deck, column and prestressed concrete beam. The functionality of the equipment was also assessed by examining a well-known reinforced concrete slabs of laboratory.

As a result, it can be said that Ferroskan Hilti PS 200 is suitable for researching the most reinforced concrete structures and brings more additional information of reinforced concrete structures compared to current WSP's hardware. Ferroskan has better reliability and usability than Profometer for locationing of reinforcing bars and determination of concrete cover, but determination of the rebar diameters was uncertain by both device.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 AINETTA RIKKOMATON TUTKIMUS.....	8
2.1 Ainetta rikkomaton tutkimus teräsbetonirakenteissa	9
2.1.1 Mekaaniset menetelmät	10
2.1.2 Sähköiset menetelmät.....	12
2.1.3 Optiset menetelmät	14
2.1.4 Akustiset menetelmät	14
2.1.5 Radiologiset menetelmät.....	17
2.1.6 Magneettiset menetelmät	18
2.2 Betoniterästen paikannus	21
2.2.1 Profometer 5.....	22
2.2.2 Hilti Ferrosan PS 200	24
3 TERÄSBETONIRAKENTEISET TUTKIMUSKOHTEET	29
3.1 Testilaatat.....	29
3.2 Talorakenteet	35
3.2.1 Pilari.....	35
3.2.2 Palkki	37
3.2.3 Seinä	41
3.2.4 Sandwich-elementti	44
3.2.7 TT-laatta	48
3.3 Siltarakenteet	50
3.3.1 Kehäjalka.....	50
3.3.2 Reunapalkki.....	52
3.3.3 Kansilaatta.....	53
3.3.5 Pilari.....	55
3.3.4 Jännitetty palkki.....	57
4 YHTEENVETO	61

LÄHTEET.....	63
LIITTEET.....	67
Liite 1. Quickscan-raportti	
Liite 2. Imagescan-raportti	

1 JOHDANTO

Korjausrakentamisen osuus rakennustuotannon arvosta on liki puolet ja sen osuus lisääntyy vuosittain. Suomen rakennuskannan 2,5 miljoonan rakennuksen arvo vuonna 2008 oli 320 miljardia euroa ja niiden korjausrakentamisen kustannukset 9,4 miljardia euroa. (1, s. 4, 5, 7.) Lisäksi Suomessa on noin 14 600 siltaa, joiden arvo on 6 miljardia euroa ja korjaustarve alati kasvava (2). Valtaosa näistä rakenteista on teräsbetonisia, joiden mitoitusikä on vähintään 50 vuotta (3). Tämän vuoksi niillä on elinkaarensa aikana monta korjausvaihetta, jolloin rakenteiden kunto tutkitaan ja tulosten perusteella tarpeelliset korjaustoimenpiteet voidaan kohdentaa ja suunnitella.

Rakenteiden jäljellä olevan käyttöiän ja korjaustarpeen arviointia varten tarvitaan menetelmiä, joilla tutkimukset voidaan suorittaa käytössä olevissa kohteissa rakenteita rikkomatta. Tällaisia menetelmiä kutsutaan ainetta rikkomattomiksi tai rikkomattomaksi aineenkoestukseksi. Englannin kielestä peräisin olevat lyhenteet NDT (non destructive testing - ainetta rikkomaton testaus) ja NDE (non destructive evaluation - ainetta rikkomaton tutkimus) ovat myös yleisesti käytettyjä. (4, s. 10.)

Tämän työn tavoitteena on tutkia Suomessa vielä vähän käytetyn sähkömagneettismin avulla toimivan betoniskannerin soveltuvuutta teräsbetonirakenteiden tutkimiseen. Lisäksi tavoitteena on arvioida laitteen hankinnan kannattavuutta rakenteiden tutkimuksia ja korjaussuunnittelua tekevän yrityksen kannalta. Tutkittavan laitteen on hankkinut Oulun seudun ammattikorkeakoulu ja työ tehdään WSP Finland Oy:n toimeksiannosta. Tutkimus suoritetaan vertailemalla uuden Hilti Ferroskan PS 200 -betoniskannerin sekä WSP Finland Oy:n nykyisen Profometer 5:n avulla saatavia tuloksia keskenään. Tutkimuskohteina ovat teräsbetoniset talo- sekä siltarakenteet ja laboratorio-oloissa tutkittavat tunnetut teräsbetonilaatat.

2 AINETTA RIKKOMATON TUTKIMUS

Ainetta rikkomaton tutkimus eli rikkomaton aineenkoestus tarkoittaa sellaisia aineenkoestusmenetelmiä, joissa tutkittavaan rakenteeseen ei synny minkäänlaisia kokeista johtuvia jälkiä tai muodonmuutoksia (5, s. 208). Rakennuksia, rakenteita ja rakennusmateriaaleja koskevan ainettarikkomattoman tutkimuksen tarkoituksena on kelpoisuuden toteaminen, suunnitelmanmukaisuuden varmistaminen tai tarvittavien korjaustoimenpiteiden määrittäminen tapauskohtaisesti. Nämä tutkimukset kohdistuvat usein joko korjattaviin käytössä oleviin rakenteisiin, joiden käytön ei haluta häiriintyvän, tai uusiin rakenteisiin, joita ei haluta rikkoo laadunvarmistuksen vuoksi. (4, s. 10.) Näissä tilanteissa ainettarikkomatomat menetelmät ovat välttämättömiä.

Tutkimuksissa tehtävän mittaustyön tulee olla suhteellisen nopeaa, vaivatonta sekä kustannuksiltaan edullista. Tutkimuksissa käytettäviltä mittalaitteilta edellytetään helppokäyttöisyyttä, toimintavarmuutta, tulosten luotettavuutta sekä kohtuullista hintaa. Yksinkertaisimmillaan ja yleisimmillään ainettarikkomaton tutkimus on silmämääräistä tutkimusta, jonka perusteella tarkemmat tutkimukset voidaan käynnistää. (4, s. 10.)

Eri materiaalien elastis-plastisten, magneettisten, optisten, sähköisten ja termisten ominaisuuksien vaikutukset röntgen-, gamma- ja neutronisäteilyyn antavat mahdollisuuden ainettarikkomattomaan tutkimiseen. Esimerkiksi elastis-plastiset ominaisuudet korreloivat materiaalin venymään, jännitystilaan, kovuuteen ja lujuuteen. Erilaiset fysikaaliset tutkimusmenetelmät jaetaan akustisiin, optisiin, radiologisiin, sähköisiin, magneettisiin ja termisiin menetelmiin. (6, s. 8.)

Ainetta rikkomatomat menetelmät ovat yleisiä teräsrakenteiden tutkimisessa ja niihin soveltuvia menetelmiä on kehitetty paljon. Käytetyimpiä ovat akustiset, ultraäänitekniikkaan perustuvat menetelmät, joiden avulla voidaan mitata esimerkiksi rakenteen pinnan karheutta, elastisia ominaisuuksia, väsymistä, viru-

mista, jännityksiä, huokoisuutta, vetyhyökkäyksen astetta sekä anisotropiaa. (6, s. 14 - 15.)

2.1 Ainetta rikkomaton tutkimus teräsbetonirakenteissa

Yleisimmin teräsbetonirakenteiden kuntotutkimusten aloittamisen taustalla ovat havainnot pienemmistä vaurioista, kuten halkeilusta, likaantumisesta, lohkeilusta ja kulumisesta, tai selvistä rakenteellisista vaurioista, kuten suurista taipumisista ja halkeamista. Myös rakenteen kohtaamat onnettomuudet tai rakenteen vaurioepäily aiheuttavat tarpeen kuntotutkimuksille. Käyttötarkoituksen tai kuormituksen muutoksen suunnittelu sekä rakenteen ylläpitoon liittyvä arviointi vaativat myös rakenteille tehtäviä tutkimuksia. (7, s. 49.)

Teräsbetonirakenteiden tutkimukset ovat haasteellisia, koska rakenteen kuntoa ei ole mahdollista arvioida pelkästään ulkoisten mittojen ja ulkonäön perusteella. Rakenteen kantokyky muodostuu teräksen ja betonin ominaisuuksista sekä niiden yhteistoiminnasta, jotka ovat riippuvaisia kuormitusajasta. Betonirakenne sisältää aina lujuusvaihteluja, virumista sekä ulkoisia ja sisäisiä kemiallisia muutoksia, jotka vaikuttavat rakenteen lujuuteen ja säilyvyyteen. (7, s. 56 - 57.)

Tutkimukset tulee aina aloittaa paikanpäällä tehtävällä silmämääräisellä arvioinnilla, jolloin on myös perehdyttävä rakenteen mahdollisiin suunnitelma-asiakirjoihin. Silmämääräinen arviointi yhdistettynä tietoon rakenteen vaurioitumismekanismeista mahdollistaa tehtävien tutkimusten kohdentamisen vain tarpeelliseen osaan rakenteita. Etenkin vanhempien rakenteiden ja niiden suunnitelma-asiakirjojen eriävyys on myös syytä huomioida tutkimusten suunnittelussa. (7, s. 51 - 52.)

Teräsbetonirakenteista tutkitaan ainetta rikkomattomin menetelmin betonin kosteuspitoisuutta, lujuutta, väriä, halkeilua, tyhjätiloja, tiheyttä, tiivistyneisyyttä, pinta- ja pinnoitekerroksia sekä betoniterästen korroosiota ja sijaintia (4, s. 13 - 22). Seuraavaksi on esitelty yleisimmät teräsbetonirakenteiden ainetta rikkomat tutkimusmenetelmät ja -laitteet menetelmätyypeittäin jaoteltuna.

2.1.1 Mekaaniset menetelmät

Kimmovasaramenetelmä on pitkään käytössä ollut, helppo, nopea ja luotettava menetelmä uusien betonirakenteiden pintaosien puristuslujuuden tutkimiseen. Se on käyttökelpoinen laadun kartoitukseen sekä lujuusvaihteluiden laajaalaiseenkin paikantamiseen. Kimmovasara toimii jousikuormalla, joka laukaisaan rakenteen pintaan. Kovasta pinnasta takaisin kimmonneen vasaran aiheuttama jousen virittyminen kuvaa tutkittavan pinnan kovuutta. Rajoituksina betonin nimellislujuus voi olla korkeintaan K45 ja rakenteen kosteuspitoisuuden tulee olla tasainen. Menetelmä ei myöskään sovellu jäätyneen, hierretyn tai karbonatisoituneen vanhan pinnan tutkimiseen, koska ne kasvattavat pinnan kovuutta. Menetelmä vaatii ainoastaan kalibroidun kimmovasaran. (Kuva 1.) (4, s. 19 - 20; 7, s. 71 - 74.)



KUVA 1. Kimmovasara (8)

Pajavasaran avulla suoritettava iskukoe on silmämääräisen havainnoinnin jälkeen käytyin ainetta rikkomaton menetelmä siltarakenteiden tutkimuksissa. Pajavasaran iskun aiheuttaman äänen perusteella voidaan paikantaa huonosti alustaan tarttuneet pintakerrokset, irtonaiset betoniosat sekä pinnan lähellä olevat onkalot. (9, s. 53.)

Impact-Echo- eli isku-kaiku-menetelmää käytetään rakenteen sisällä olevien tyhjätilojen ja valuvikojen paikantamiseen sekä halkeamien syvyyden määrittämiseen. Rakenteen pintaan pudotetun pienen (yleensä 2 - 15 mm:n) teräskuu-

lan aiheuttamat paineaallot heijastuvat takaisin törmättyään johonkin epäjatkuvuuskohtaan. Tarvittava laitteisto sisältää iskuosan, vastaanottimen ja aallonmuodon analysaattorin (kuva 2). Mittauksen onnistuminen vaatii sopivan paineaallon muodon sekä keston ja on siten toistettava useasti kussakin mittauskohdassa. (4, s. 21 - 22; 10, s. 42.)



KUVA 2. Isku-kaiku-menetelmän laitteisto (11)

Impulse-response- eli impulssivaste-menetelmän avulla voidaan nopeasti määrittää laajankin betonisen rakenteen pinnan rapautuminen, valuviat sekä rakennekerrosten välinen tartunta. Mittaus tapahtuu iskuvasaralla aikaansaadun värähtelyn voimakkuuden ja etenemisnopeuden havainnointiin anturin avulla. Laitteiston (kuva 3) näyttölaite muodostaa mitatuista tuloksista kuvan, josta poikkeavien arvojen sijainti voidaan määrittää. Laite soveltuu hyvin sillan kansiin ja myös muiden betonirakenteiden tutkimiseen. (10, s. 44; 12.)



KUVA 3. Impulssivaste-menetelmän laitteisto (12)

2.1.2 Sähköiset menetelmät

Kosteusmittaria käytetään esimerkiksi silloin, kun halutaan tietää alusrakenteen kosteuspitoisuus erilaisten pinnoitteiden vaatimusten mukaisesti ennen pinnoitustyön aloittamista. Ainetta rikkomattomaan mittaamiseen käytetään materiaalin sähkönjohtavuuden perusteella toimivaa pintakosteusmittaria (kuva 4), jonka antamat tulokset ovat kuitenkin lähinnä suuntaa antavia lukuisten mitta-ukseen vaikuttavien muuttujien vuoksi. Luotettava kosteuspitoisuuden mitta- edellyttää rakenteeseen porattuun reikään tai valuun asennettua anturia. (4, s.13 - 14.)



Kuva 4. Pintakosteusmittari (13)

Betoniterästen korroosion käynnissäoloa, laajuutta sekä nopeutta voidaan tutkia syöttämällä rakenteeseen ennalta asennettujen kontaktiterästen, auki piikatun raudituksen tai betonipinnan kautta sähkövirtaa eri muodoissa. Betonin **ominaisvastuksen mittauksella** (kuva 5) voidaan arvioida betoniterästen korroosionopeutta aktiivisilla korroosioalueilla, joilla betonin pieni ominaisvastus viittaa suureen korroosionopeuteen. (9, s. 58.)



KUVA 5. Ominaisvastusmittari (15)

Muita käytettyjä menetelmiä ovat raudituksen **potentiaalimittaus** (kuva 6) ja sähkökemialliset **korroosionopeuden mittaamenetelmät**, jotka perustuvat lineaariseen polarisaatiovastukseen tai galvanostaattiseen pulssitekniikkaan. Kehittyneimmillä korroosionopeuden mittaamiseen soveltuvilla menetelmillä saadaan selvitettyä myös rakenteen potentiaali ja ominaisvastus. Menetelmät soveltuvat parhaiten ennalta riskialttiiksi tiedettyjen kontaktiteräksillä varustettujen rakenteiden tutkimiseen ja ovat yleisesti käytettyjä siltarakenteiden tutkimisessa. (4, s. 18 - 19; 9, s. 57 - 58.) Luotettavat tulokset vaativat kokemusta rakenteesta ja sääolosuhteiden vaikutuksesta (14, s. 41).



KUVA 6. Potentiaalimittari (16)

2.1.3 Optiset menetelmät

Betonipinnan värin kelpoisuuden arviointia tarvitaan, kun verrataan tilatun värinäytteen mukaista väribetonielementtiä toimitettuun elementtiin. Erilaiset valon taitot aiheuttavat eroja aistittuun elementin väriin, mutta **värimittarin** avulla arvosteltavan pinnan ja värinäytteen vastaavuus voidaan mitata eksaktisti. Mittaukset tulee suorittaa samanikäisistä rakenteista ilman sääolosuhteiden vaikutusta mittaustuloksiin. (4, s. 20 - 21.)

2.1.4 Akustiset menetelmät

Ultraäänilaitteistolla aikaansaadun akustisen aaltoliikkeen nopeutta ja nopeuseroja mittaamalla voidaan arvioida tutkittavan rakenteen betonin lujuutta ja huokostilaa sekä siinä esiintyviä vaurioita, kuten sisäistä halkeilua. Menetelmä vaatii yleensä rakenteen molemmiin puolin vastakkaisiin kohtiin asennetut lähetin- ja vastaanottoluotaimet, minkä vuoksi se soveltuu parhaiten pilareiden, palkkien sekä laattojen ja seinien aukkoja reunustavien alueiden tutkimiseen. Pelkästään rakenteen pintaosien tutkimiseen tarkoitettulla laitteella mittaaminen suoritetaan rakenteen yhdeltä puolelta. Aallon nopeuden määrittämisen lähetetyn pulssin lähtö- ja vastaanottoajan perusteella edellyttää rakenteen vahvuuden tarkkaa mittausta sekä luotainten hyvää kontaktia betonipintoihin. Rakenteen lujuuden arviointi pelkästään ultraäänimenetelmin ei ole luotettavaa, koska betonin kosteudella, tiivistysasteella ja betoniteräksillä on mittaustuloksiin merkittävä vaikutus. Heikkolujuuksisten ja vaurioituneiden alueiden paikantamiseen menetelmä soveltuu hyvin. Laitteistot ovat kenttätutkimuksiin soveltuvia keveytensä ja akkukäyttöisyytensä vuoksi (kuva 6). (4, s. 15; 7, s. 74 - 80; 17.)



KUVA 7. Ultraäänilaitteisto (18)

Suomessakin tutkitulla matalataajuuksisten (~50 kHz) leikkausaaltojen avulla toimivalla **ultraäänitomografialaitteella** (kuva 7) on mahdollista paikantaa monia eri betonirakenteen vaurioita. Laitteen toiminta perustuu sykäys-kaikutestausten menetelmään (pulse-echo). Laitteiston näyttöruudulle muodostama kolmiulotteinen kuva rakenteesta saadaan aikaan leikkausaaltojen heijastumien avulla ja lisäksi sillä voidaan betonirakenteessa kulkevan aallon nopeuden kautta arvioida betonin kuntoa. Käyttämällä korkeampia taajuusalueita laitteella on mahdollista määrittää jopa muutamien millimetrin kokoiset vauriot 200 mm:n syvyyteen saakka. Matalemmilla taajuusalueilla vauriot voidaan havaita runsaasti raudoitetuissa kohteissa 1 - 1,5 m:n syvyyteen ja harvaan raudoitetuissa jopa 2,5 m:n syvyyteen, mutta tällöin vaurioiden tulee olla suurempia. (8, s. 38; 10, s. 13.)

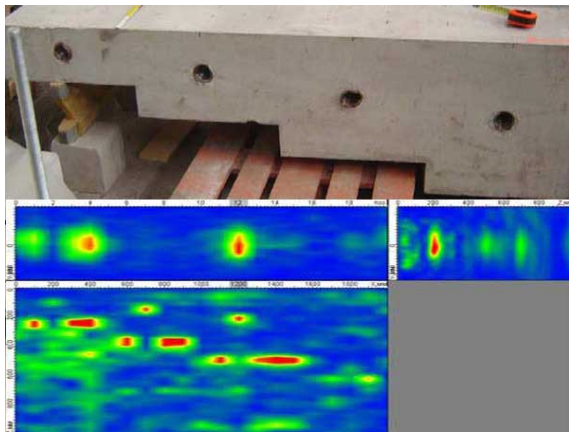


KUVA 8. MIRA-ultraäänitomografialaite (19)

Tomografialaitteen hyödyllinen käyttö vaatii käyttäjän, joka tuntee sekä laitteen että tutkittavan rakenteen, jotta vaurioista kertovat heijastumat voidaan erottaa normaaleista heijastumista. Laitteella voidaan muodostaa kuva rakenteen päällekkäisistä rakennekerroksista, mutta tiheä rauditus vaikeuttaa mittauksia syvemmissä kerroksissa. (8, s. 39 - 40; 10, s. 16.)

Laitteen avulla on mahdollista paikantaa betonirakenteen onkalot, harvavalut, halkeamat, laminoituminen ja muut epäjatkuvuudet (kuva 8) sekä jännekaapelit ja raudoitukset. Lisäksi sen avulla voidaan määrittää betonirakenteen mitat sekä arvioida päällekkäin valettujen betonikerrosten tartuntaa toisiinsa. Tutkittavan

rakenteen betoni-, kivi- tai teräspinnan on oltava riittävän tasainen; antureiden joustokiinnitys mahdollistaa enintään 8 mm epätasaisuuden antennin alalla. Mittaus muiden pehmeämpien kerrosten läpi ei ole mahdollista. Muista ultraääni-menetelmistä poiketen mittaustyö suoritetaan kokonaan pelkästään rakenteen yhdeltä puolelta ja menetelmä on todettu lämpimissä sääolosuhteissa kenttäolosuhteisiin soveltuvaksi. Myynnissä oleva järjestelmä sisältää mittausantennin ja näyttölaitteen toimivan kannettavan tietokoneen lisäksi kaikki tarpeelliset osat. (8, s. 39 - 40; 10, s. 15 - 16.)



KUVA 9. Betonirakenteessa olevien tyhjien putkien näkyminen MIRA-ultraäänitomografialaitteella (20)

Laitteen soveltuvuutta jännitettyjen siltojen kuntotutkimuksiin on selvitetty Tuomo Koskelan (2011) opinnäytetyössä ”MIRA-ultraäänitomografian käyttö jännitettyjen siltojen tutkimuksiin” (Oulun seudun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikka, YAMK). Opinnäytetyön mukaan laite soveltuu kuntotutkimuksiin hyvin; sillä voidaan paikantaa tarkasti siltojen jännitettyjen palkkien jänteet sekä niiden suo-
japutkien epäonnistuneet injektioinnit (10, s. 3, 46).

Akustisen emission avulla pystytään paikantamaan teräsrakenteiden halkeamien lisäksi myös jännitettyjen teräsbetonirakenteiden halkeamia. Kuormituksen alaisten rakenteiden mikrorakenteissa syntyy korkeataajuisia värähtelyä, mikä on merkki syntyvästä rakenneauriosta, esimerkiksi halkeamasta. Mittausanturit muuttavat nämä värähtelyt sähköisiksi signaaleiksi, jotka voidaan tietokoneohjelmalla esittää graafisesti. Tämän avulla on mahdollista määrittää hal-

keamakuorma tarkemmin, estää pysyvien avonaisten halkeamien syntyminen kuormitusta pienentämällä sekä pienentää hauraan rakenteen vauriovaaraa. Mittalaitteisto sisältää lähettimen ja ainakin yhden vastaanottimen. Usean vastaanottimen avulla on mahdollista hahmottaa tutkittavia ominaisuuksia myös kolmiulotteisesti. (4, s. 17.)



KUVA 10. Akustisen emission mittausanturit (21)

2.1.5 Radiologiset menetelmät

Gammasäteilymittausten sekä **gamma- ja röntgenkuvausten** avulla voidaan selvittää rakenteen raudotteiden sijainti ja halkaisija, betonipeitepaksuus, huonosti tiivistyneet kohdat, betonin tiheys, betoniterästen korroosio sekä monia muita ominaisuuksia terästen korroosioastetta lukuunottamatta. Säteilymittaus perustuu rakenteen läpäisseen ja heijastuneen gammasäteilyn tiheyden muutoksiin, jotka mitataan säteilyantureilla. Röntgenkuvauksen (kuva 11) avulla on mahdollista saada havainnollinen kuva rakenteen vaurioista lyhyessä ajassa paksuistakin rakenteista, mutta gammakuvauksilla rakenteen paksuus voi olla enintään 500 mm. Kuvauksissa rakenteen toiselle puolelle sijoitetaan säteilylähde ja toiselle puolelle filmi. Menetelmät eivät ole yleisiä, koska niiden käyttö edellyttää kalliin laitteiston hankintaa sekä paljon tietämystä ja työaika. Gamma- ja röntgenkuvausten kehittymisen rajoituksena ovat myös säteilysuojavälineet. (4, s. 14 - 15; 7, s. 95 - 96.)



KUVA 11. Röntgenkuvaus-laitteisto (22)

2.1.6 Magneettiset menetelmät

Maatutkaluotaus on paljon käytetty menetelmä teiden rakennekerrosten määrittämisessä. 1970-luvun lopulta lähtien sitä on kehitetty myös betonirakenteiden tutkintaan, etenkin sillan kansiin tarkastukseen soveltuvaksi. Tavoitteena on löytää vaurioituneet kohdat sekä vaurioitumisen laajuus ja vakavuus korjaustarpeen arviointia varten. Laitteen toiminta perustuu antennin lähettämien sähkömagneettisten pulssien takaisin heijastumiseen sähkömagneettisilta ominaisuuksiltaan erilaisten materiaalien rajapinnoilta. Tutka rekisteröi heijastuneet pulssit ja arvioi rajapintojen sijaintia pulssien lähtöhetken ja paluun välisen ajan sekä amplitudin mukaan. Laitteisto sisältää tutkittavan kohteen mukaisen antennin, tutkimuskelkat sekä keskusyksikön näyttölaitteineen. (4, s. 23.) Tieraikenteiden tutkaamisen soveltuvat laitteet ovat ajoneuvoon kiinnitettjä, kun taas betonirakenteiden tutkimiseen kehitetyt laitteet ovat käsin liikuteltavia.

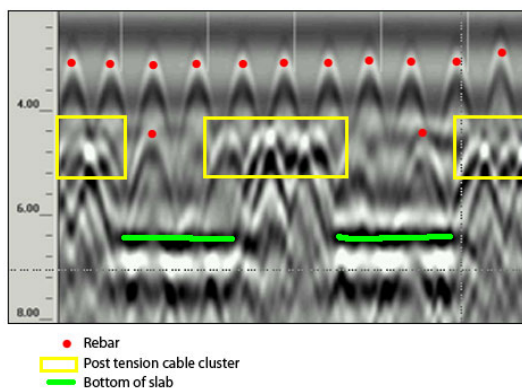
Maatutkaluotauksen tulosten luotettava analysointi vaatii rakenteen vauriomekanismien tuntemusta sekä taitoa ja kokemusta vertailuaineiston käyttämiseksi tulosten tulkinnan apuna. Aineisto sisältää tietoa kosteusolosuhteista, muilla menetelmillä määritettyjä kuntotietoja, rakennepiirustuksia ja visuaalisia havaintoja. Usein vertailuaineistoon kuuluu myös poralieriöitä, jolloin menetelmää ei voida pitää puhtaasti ainetta rikkomattomana. Suurimmat kehitystarpeet kohdistuvat luotaustulosten tulkinnan automatisointiin, jonka avulla menetelmä soveltuisi paremmin likimääräiseen vauriokartoitukseen. (4, s. 23.)

Oulun seudun ammattikorkeakoulussa on tekeillä Juho Ruotasen toimesta lopputyö, jossa selvitetään maatumkan soveltuvuutta teräsbetonirakenteiden tutkimiseen. Lopputyössä käytettävän laitteiston (kuva 12) avulla kyetään määrittämään terästen, putkien ja tyhjätilojen sijainti jopa 500 mm:n syvyydeltä. (23.)

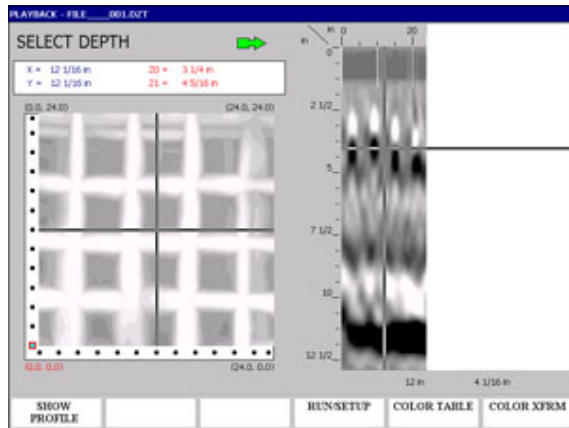


KUVA 12. Betonirakenteiden tutkaamiseen soveltuva SIR-3000-laitteisto

Antenni lähettää ja vastaanottaa sähkömagneettisia pulsseja rakenteen pinnassa liikuteltavan tutkimuskelkan avulla ja näyttölaite piirtää mittaustulokset (kuva 13) näkyville reaaliajassa. Lisäksi näyttölaite voi muodostaa mittauksen pohjana käytetyn ruudukon alalta kuvan (kuva 14) terästen sijainnista. Tämän kuvan tarkastelusyvyttä portaattomasti säätämällä saadaan selville eri kerrosten terästen sijainti. Laitteeseen on myös kehitetty ohjelmistoja, joiden avulla heijasteista voidaan taajuusanalyysin avulla päätellä teräksen korroosion olemassaolo. (23.)



KUVA 13. Maatumkan piirtämä kuva jännitetystä teräsbetonirakenteesta (24)



KUVA 14. Maatutkan piirtämä kuva teräsverkosta (25)

Sähkömagneettisiin aaltoihin perustuvan **mikroaaltokameran** (kuva 15) avulla voidaan selvittää terästen sijainti ja koko sekä paikantaa betonirakenteen halkeamia. Laitteen toiminta perustuu rakenteeseen lähetettävien mikroaaltojen teräksistä takaisin heijastuvan sähkömagneettisen kentän mittaamiseen. (4, s. 18.)



KUVA 15. Mikroaaltokamera (26)

Betoniterästen koon ja sijainnin määrittämiseen on kehitetty lukuisia muita laitteita, jotka toimivat paristolla aikaansaadun magneettikentän avulla (4, s. 18). Tämä opinnäytetyö käsittelee näitä laitteita tarkemmin luvussa 2.2.

2.2 Betoniterästen paikannus

Tyypillisimpiä tilanteita, joissa betoniterästen halkaisijat sekä sijainti tulisi saada selville, ovat rakenteen kantavuuslaskenta, purkutöitä ja läpivientejä varten tehtävien rei'itysten suunnittelu, kuntotutkimusten selvitykset betonipeitepaksuudesta sekä laadunvarmistus suunnitelmienmukaisuuden todentamisessa. Lisäksi näillä metalleja ilmaisevilla laitteilla voidaan välttää ei-toivottuja rakenteiden sisällä olevien vesijohtojen, kaasuputkien ja kaapeleiden asennusten vaurioitumisia. (4, s. 17 - 18.)

Terästen paikantamiseen tarkoitettuja laitteita on monen eri tasoisia; osalla niistä kyetään pelkästään toteamaan likimääräisesti tutkittavalla kohdalla sijaitsevat magneettiset metallit, joillakin saadaan selville lisäksi betonipeitepaksuus ja jotkin reagoivat myös ei-magneettisiin metalleihin ja määrittävät samalla niiden tarkan sijainnin sekä sijaintisyvyyden (kuva 16). (4, s. 18; 27.)



KUVA 16. Metallintunnistin (28)

Tässä lopputyössä vertaillaan kahden sähkömagnetismin avulla toimivan kehittyneemmän betoniterästen paikantamiseen tarkoitetun laitteen toimintaa ja soveltuvuutta käytännön kohteiden tutkimiseen luvusta 2.2.1 alkaen.

Kummallakaan tutkittavalla laitteella ei ole mahdollista havaita toisessa kerroksessa sijaitsevia teräksiä. Lisäksi laitteiden toimintaa rajoittavat tiheä raudoitus, vino raudoitus, hitsatut raudoiteverkot, paksut betonipeitekerrokset, ruostumattomat raudoitetangot sekä epätasainen mittausalusta. (4, s. 18; 29, s. 5, 6, 9, 12 - 16; 30, s. 4 - 9.)

2.2.1 Profometer 5

Profometer 5 (kuva 17) on kevyt ja helppokäyttöinen laite betoniterästen paikantamiseen sekä betonipeitepaksuuksien ja terästen halkaisijoiden määrittämiseen. Kenttäolosuhteisiin hyvin soveltuva laite toimii paristoilla ja sen toimintaperiaate perustuu pyörrevirtausperiaatteeseen ja pulssi-induktioon, jotka ovat sähkömagneettisia ilmiöitä. Pyörrevirtausperiaatteella toimivan laitteen mittausanturin aktivointikäämiin johdettu vaihtovirta aiheuttaa pyörrevirtoja raudoituksessa, jolloin mittauskäämin impedanssi muuttuu. Magneettisen induktion mukaan toimivan mittarin käämiin johdettu vaihtovirta aiheuttaa mittauspään magneettikentän, joka synnyttää toisessa käämissä induktiovirran. Magneettikentän kohdalle osuva magneettinen metalli aiheuttaa induktiovirtaan muutoksia. Näitä muutoksia mittaamalla laite esittää tulokset näyttöruudulla. (29, s. 3; 7, s. 86 - 89.)



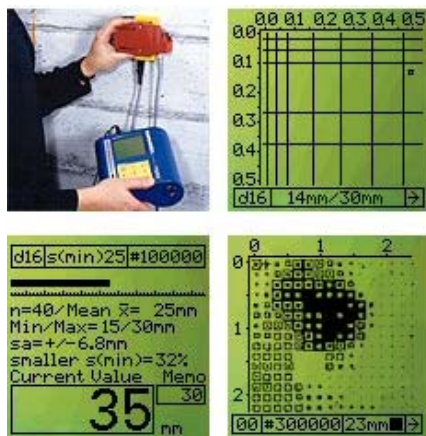
KUVA 17. Profometer 5 S-malli

Laitteesta on saatavilla kaksi erilaista mallia: perusmalli S ja lisäominaisuuksilla varustettu malli Scanlog. Lopputyössä vertailtava WSP Finland Oy:n nykyisin käyttämä Profometer 5 on perusmalli S, joka sisältää näyttölaitteen, yleisanturin ja tarvittavat kaapelit sekä suojalaukun. Perusmallista laajennettavissa oleva Scanlog-malli sisältää lisäksi yleisanturiin kiinnitettävän ScanCar-matka-anturin, joka mahdollistaa enemmän informaatiota antavat mittaukset. (29, s. 4.)

Peruslaitteella on mahdollista havaita peitepaksuusarvoja ja tankopaksuuksia sekä tallentaa peitepaksuusarvoja yksittäin samaan tiedostoon niiden tilastollis-

ta tarkastelua varten. Edistyneemmässä Scanlog-mallissa (kuva 18) on S-mallin ominaisuuksien lisäksi seuraavat ominaisuudet (29, s. 4):

- CyberScan-toiminto, jonka avulla raudotteiden sijainti saadaan näkyviin näyttölaitteella (kuva 18)
- rasterimittaus, jonka avulla peitepaksuudesta saadaan näytölle harmaasävykuva (kuva 18)
- ScanCar-matka-anturi, jolla raudotteiden paikka voidaan skannata nopeasti (kuva 18)
- muistipaikat CyberScan ja rasterimittauskohteille.



KUVA 18. Profometer 5 Scanlog-mallin matka-anturi sekä lisäominaisuudet (31)

Kummallakin mallilla on mahdollista tulostaa mittausarvot suoraan näyttölaitteeseen liitetyllä tulostimella tai ne voidaan siirtää tietokoneelle 9/9-napaisella tiedonsiirtokaapelilla. Laitteen mukana toimitettua tiedonsiirto-ohjelmaa ei WSP:llä käytetä, vaan mittauksien tiedot siirretään laitteelta tietokoneelle puhelinverkkoyhteyden avulla. Mittaustulokset käsitellään dokumentoitavaan muotoon Excel-ohjelmistolla.

Laitteella mittaaminen suoritetaan liikuttamalla yleisanturia sen pitkittäisakseli yhdensuuntaisesti tutkittaviin raudotteisiin nähden (29, s. 4). Mitattaessa näyttölaite kertoo signaalin vahvuuden sekä mitattavalla kohdalla olevan betonipeitepaksuuden. Laite antaa äänimerkin, kun betonipeitepaksuuden arvo on pienimmillään eli raudoitetaan keskikohta sijaitsee anturin keskikohdalla, ja näyt-

tää arvon väliaikaisesti, jolloin se voidaan myös tallentaa valittuun muistipaikkaan. Äänimerkin jälkeen on myös mahdollista määrittää tutkittavan raudoitustangon halkaisija, mutta tämän arvon saa näyttölaitteelle näkyviin vain väliaikaisesti. Tallennetuista arvoista voidaan näyttölaitteella muistipaikkakohtaisesti määrittää keskiarvo, suurin ja pienin arvo sekä keskihajonta.

Laitteessa on valittavissa kaksi erilaista mittausaluetta, joista pienempi alue on tarkoitettu raudoituksen halkaisijasta riippuen enintään 60 - 100 mm:n mittaus- syvyydelle ja isompi alue enintään 90 - 185 mm:n mittaus- syvyydelle (29, s. 5). Tulosten tarkkuuteen vaikuttavia raudoitteiden minimietäisyyksiä halkaisijoiden suhteen on esitetty kattavasti laitteen ohjekirjassa. Useissa tutkituissa kohteissa nämä ehdot eivät täytyneet tai teräksistä ei ollut tietoa.

Mittaustuloksiin vaikuttavat myös ennalta oletetut arvot raudoitustangon halkaisijalle sekä tankojen väliselle keski- etäisyydelle. Nämä arvot valitaan mahdollisimman lähelle tutkittavan rakenteen sisältämien raudoitteiden mittoja. Mikäli arvoja ei tiedetä, valitaan tangon halkaisijaksi 16 mm ja tankojen väliseksi etäisyydeksi 0 mm. Liian lähekkäin olevat raudoitetangot aiheuttavat todellista pienemmän peitepaksuuden arvot ja liian suuret tankojen halkaisijat. Hitsatuille raudoiteverkoille laite ei pysty näyttämään luotettavia tuloksia. (29, s. 5, 6, 9, 14 - 16.)

2.2.2 Hilti Ferroscan PS 200

Hilti Ferroscan PS 200 on Suomessa vielä vähän käytetty kehittynyt betonite- rästen laaja-alaiseen paikantamiseen tarkoitettu laite. Sen toiminta perustuu Profometer 5:n tavoin sähkömagneettiseen induktioon. Mittaaminen suoritetaan rullaamalla erillistä johdotonta skanneria (kuva19) tutkittavan rakenteen pinnal- la.



KUVA 19. Skanneri

Laiteisto käsittää ladattavilla akuilla toimivan skannerin lisäksi akkukäyttöisen näyttölaitteen (kuva 20), laturit, tiedonsiirtokaapelit sekä tietokone-ohjelmiston tulosten käsittelyä ja raportointia varten. Laite on hyvin kenttäolosuhteisiin soveltuva, helppokäyttöinen, kevyt sekä toimintavarma.



KUVA 20. Näyttölaite

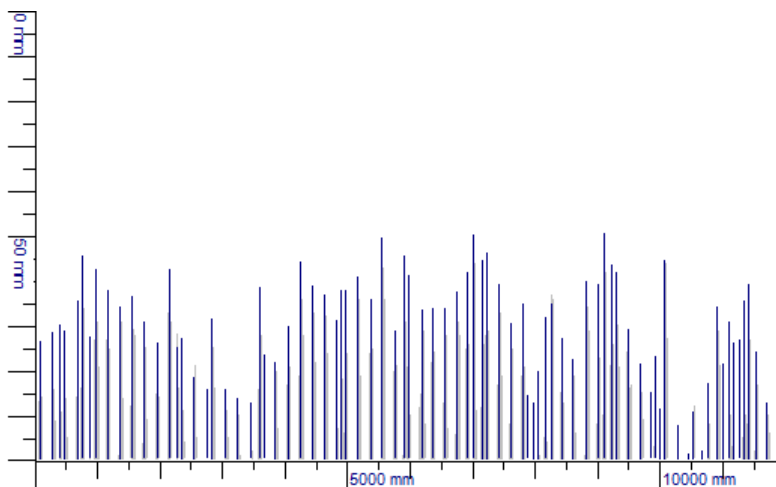
Mittaaminen tapahtuu rullaamalla skanneria betonirakenteen pinnalla poikisuuntaan tutkittaviin teräksiin nähden. Laite tallentaa tuloksia vain renkaiden pyöriessä, jolloin tapahtuu myös etäisyyden mittaus. Suurin sallittu mittausnopeus on 0,5 m/s ja tärkeimmät vaatimukset luotettavien mittaustulosten saamiseksi ovat (30, s. 4, 7) seuraavat:

- Mitattava betonipinta on sileä ja tasainen.
- Raudoitteet eivät ole ruostuneet.
- Raudoitteet kulkevat betonipinnan suuntaisesti.

- Betoni ei sisällä lisäaineita tai magneettisia aineksia.
- Raudoitteet kulkevat $\pm 5^\circ$ tarkkuudella skannerin asentoon nähden.
- Raudoitteet eivät ole hitsattuja.
- Vierekkäiset raudoitteet ovat samaa kokoa.
- Vierekkäiset raudoitteet ovat samalla syvyydellä.
- Skannerin renkaat ovat puhtaat.
- Kaikki skannerin 4 rengasta kulkevat rakenteen pinnassa.

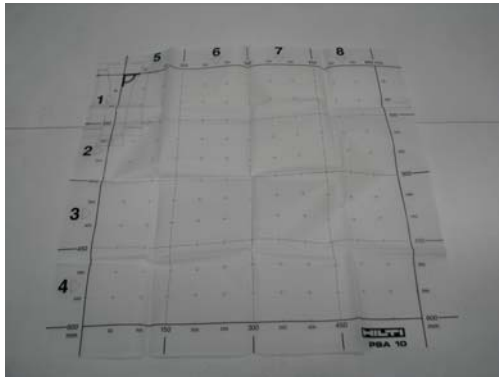
Skannerissa on valittavissa kolme eri tyyppistä mittaustapaa, Quickscan-, Imagescan- ja Blockscan-toiminnot.

Quickscan-toiminnolla voidaan nopeasti paikantaa terästen sijainti sekä betonipeitepaksuus yksittäisinä mittauksina. Tällöin skanneri antaa äänimerkin teräksen kohdalla ja esittää signaalin vahvuuden sekä arvioin betonipeitepaksuudesta näytöllä. Mikäli halutaan tarkka tieto betonipeitepaksuudesta, tulee skanneriin asettaa mahdollisimman totuudenmukainen arvio raudoitustankojen halkaisijasta sekä niiden keskiöetäisyydestä. Mikäli arvoja ei tiedetä, asetetaan halkaisijan arvoksi 16 mm ja keskiöetäisyydeksi >36 mm. Tehtävä skannaus voidaan myös tallentaa samaan skannerin muistiin, jonka maksimikapasiteetti on 30 m tai 10 quickscan-mittausta (kuva 21). Tallennettaessa laite käyttää myös ennakkoon asetettuja arvoja, jotka tarkentavat tuloksia. (30, s. 13 - 16.)



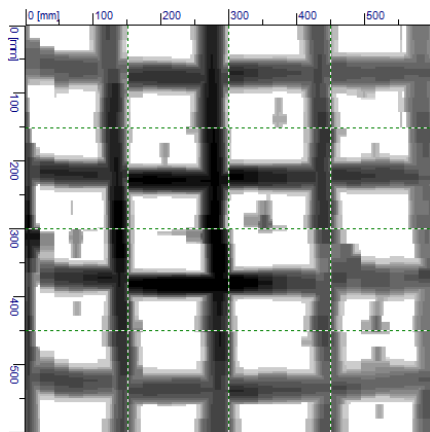
KUVA 21. Quickscan-mittauksen tulos betonipeitepaksuudesta

Imagescan-toiminnolla voidaan muodostaa havainnollinen kuva rakenteen teräksistä mittausalustana olevan ruudukon (kuva 22) alalta (600 mm x 600 mm). Skannaus suoritetaan muovisen mittausruudukon alalla kahteen suuntaan: 4 saraketta ja 4 riviä.



KUVA 22. Imagescan-toiminnon alustana toimiva ruudukko

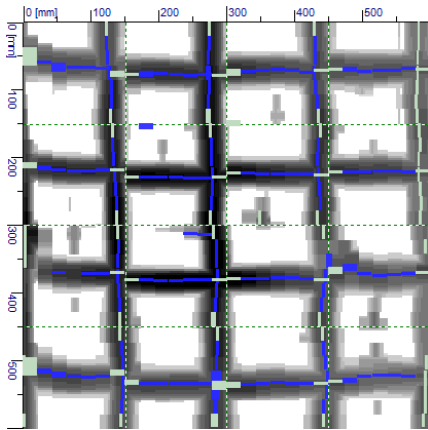
Mittaustuloksista (kuva 23) on mahdollista määrittää näyttölaitteella tai tietokoneella terästen sijainnin ja tankojakojen lisäksi myös tankojen halkaisijat sekä esimerkiksi päällimmäisen teräksen suunta kuvan tarkastelusyvyyttä muuttamalla. (30, s.16 - 18.)



KUVA 23. Imagescan-toiminnon muodostama kuva verkkoraudoitteesta

Laitteen aluksi näyttämät tulokset ovat teräksistä aiheutuneita signaaleja, joten terästen tarkkaa sijaintia tai kokoa ei ole mahdollista määrittää ilman mittaustulokselle tehtävää analysointia. Imagescan-toiminnolla saatujen mittaustulosten

kattava analysointi kestää näyttölaitteella joitakin minuutteja ja tietokoneella noin 10 sekuntia. Yksittäisiä arvoja voi poimia nopeammin ja Quickscan-toiminnon tulokset ovat nopeasti nähtävillä. Analysoitu kuva (kuva 24) esittää terästen oletetun sijainnin sekä tulosten luotettavuuden kullakin kohdalla. Kuvassa tumman siniset kohdat antavat luotettavimmat tulokset.



KUVA 24. Imagescan-toiminnon analysoitu tulos

Blockscan-toiminnon avulla voidaan yhdistää mittaustulokset 9 erikseen skannatun mittausruudukon muodostaman neliön alalta samaan kuvaan. Näyttölaitteella ja tietokoneella voidaan suorittaa näille mittauksille samat tarkastelut kuin Imagescan-toiminnon tuloksille. (30, s. 18 - 19.)

Skannerille väliaikaisesti tallennetut mittaukset voidaan siirtää näyttölaitteelle langattomasti infrapunayhteyden avulla tarkastelua ja analysointia varten. Näyttölaitteen 1 Gt:n muistikortin maksimikapasiteetti on 150 Imagescan- tai 75 Quickscan-toimintoa. Mukana tulevalla tietokoneohjelmistolla voidaan myös suorittaa samat toimenpiteet ja lisäksi sillä voidaan tallentaa ja tulostaa raportteja mittaustuloksista huomautuksineen. Liitteenä on esimerkit Quickscan- (liite 1) sekä Imagescan-toimintojen (liite 2) tuloksista muodostetuista raporteista.

3 TERÄSBETONIRAKENTEISET TUTKIMUSKOHTEET

Tutkimuskohteiksi valittiin mahdollisimman kattava otos tyypillisimpiä teräsbetonisia talo- sekä siltarakenteita, joiden raudotteiden sijainnin paikantamisella on tarvetta korjausrakentamisen sekä laadunvarmistuksen näkökulmista. Kohdeet valikoitiin lähinnä WSP Finland Oy:n suosituksen mukaisesti.

Käytetty tutkimusmenetelmä on kuvattu jokaisen tutkitun kohteen kohdalla erikseen kohteiden asettamien vaatimusten sekä laitteiden rajoitusten vuoksi. Lisäksi kustakin kohteesta on käsitelty kohteittain mittauksella tavoiteltu tieto, mitaustyön rajoitukset sekä olosuhteiden vaikutukset.

3.1 Testilaatat

Laitteiden mittaustarkkuutta betonipeitepaksuuden, raudotteiden halkoisijoiden sekä sijainnin määrittämisen suhteen arvioitiin tutkimalla laboratoriossa testilaattoja (kuva 25). Laattoihin asennettujen raudoitetankojen päät olivat näkyvillä laatan kummaltakin puolelta ja niiden sijainti oli tarkasti määritettävissä. Laattoihin oli asennettu teräksiä vain yhteen suuntaan ja niiden väliset etäisyydet (minimi 95 mm) antoivat mahdollisuuden häiriöttömään mittaukseen.



KUVA 25. Testilaatta 1

Laattojen paksuudet olivat 125 mm, ja niihin oli asennettu eri kokoisia teräksiä eri syvyyksille. Testilaatan 2 (kuva 26) teräs numero 2 oli 12 mm:n punos (7x4 mm). Teräkset numeroitiin kuvasta katsottuna oikealta vasemmalle ja niiden sijaintisyvydet ja tankojen keskiövälit mitattiin laattojen molemmilta puolilta.



KUVA 26. Testilaatta 2

Laatoille suoritettiin aluksi betonipeitepaksuuksien määritykset ilman oikeata arviota tangon halkaisijasta. Profometerillä mitattiin kustakin teräksestä 5 peitepaksuuden arvoa. Tankopaksuuden asetuksena käytettiin 16 mm ja tankojaon asetuksena 0 mm. Pientä tai isoa mittausaluetta käytettiin tangon sijaintisyvyyden ja halkaisijan perusteella käyttöohjeen mukaisesti.

Ferrosanilla teräksestä mitattiin 5 peitepaksuuden mittaustulosta Quickscan-toiminnolla käyttäen tankopaksuuden asetuksena 16 mm ja tankojaon asetuksena >36 mm. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty nämä mittaustulokset.

TAULUKKO 1. Testilaatta 1, betonipeitepaksuudet

Teräs nro	Laite	Mittaustulokset					ka	Oikea arvo
1	Profometer 5	51,0	51,0	50,0	49,0	49,0	50,0	45,0
	Ferrosan PS 200	50,0	47,0	45,0	44,0	42,0	45,6	
2	Profometer 5	35,0	35,0	35,0	34,0	34,0	34,6	30,0
	Ferrosan PS 200	35,0	34,0	34,0	34,0	33,0	34,0	
3	Profometer 5	23,0	22,0	21,0	21,0	20,0	21,4	15,0
	Ferrosan PS 200	23,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,6	
4	Profometer 5	-	-	-	-	-	-	82,0
	Ferrosan PS 200	-	-	-	-	-	-	
5	Profometer 5	39,0	39,0	39,0	37,0	35,0	37,8	35,0
	Ferrosan PS 200	37,0	36,0	34,0	33,0	32,0	34,4	

TAULUKKO 2. Testilaatta 2, betonipeitepaksuudet

Teräs nro	Laite	Mittaustulokset					ka	Oikea arvo
1	Profometer 5	61,0	61,0	60,0	57,0	55,0	58,8	55,0
	Ferrosan PS 200	63,0	59,0	56,0	54,0	52,0	56,8	
2	Profometer 5	37,0	36,0	35,0	34,0	33,0	35,0	30,0
	Ferrosan PS 200	35,0	34,0	33,0	33,0	30,0	33,0	
3	Profometer 5	24,0	24,0	23,0	23,0	21,0	23,0	17,0
	Ferrosan PS 200	26,0	25,0	21,0	21,0	21,0	22,8	
4	Profometer 5	80,0	79,0	78,0	78,0	77,0	78,4	85,0
	Ferrosan PS 200	-	-	-	-	-	-	
5	Profometer 5	47,0	47,0	46,0	46,0	45,0	46,2	40,0
	Ferrosan PS 200	45,0	45,0	45,0	44,0	43,0	44,4	

Laatoista määritettiin betonipeitepaksuudet myös käyttäen oikeata arviota tangon halkaisijasta. Profometerillä mitattiin kustakin teräksestä 5 peitepaksuuden arvoa käyttäen oikeaa tankopaksuuden arvoa ja tankojaon asetusta 0 mm. Pientä tai isoa mittausaluetta käytettiin tangon sijaintisyvyyden ja halkaisijan perusteella käyttöohjeen mukaisesti.

Ferrosanilla teräksistä mitattiin 5 peitepaksuuden mittaustulosta Quickscan-toiminnolla käyttäen tankopaksuuden asetuksena oikeaa arvoa ja tankojaon asetuksena >36 mm. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty nämä mittaustulokset.

TAULUKKO 3. Testilaatta 1, betonipeitepaksuudet

Teräs nro	Laite	Mittaustulokset					ka	Oikea arvo
1	Profometer 5	56,0	51,0	50,0	46,0	44,0	49,4	45,0
	Ferrosan PS 200	47,0	46,0	45,0	45,0	42,0	45,0	
2	Profometer 5	32,0	32,0	32,0	31,0	30,0	31,4	30,0
	Ferrosan PS 200	31,0	29,0	27,0	27,0	26,0	28,0	
3	Profometer 5	21,0	20,0	20,0	20,0	19,0	20,0	15,0
	Ferrosan PS 200	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	
4	Profometer 5	81,0	81,0	81,0	80,0	80,0	80,6	82,0
	Ferrosan PS 200	-	-	-	-	-	-	
5	Profometer 5	41,0	40,0	40,0	39,0	37,0	39,4	35,0
	Ferrosan PS 200	36,0	36,0	36,0	34,0	32,0	34,8	

TAULUKKO 4. Testilaatta 2, betonipeitepaksuudet

Teräs nro	Laite	Mittaustulokset					ka	Oikea arvo
1	Profometer 5	62,0	61,0	60,0	57,0	52,0	58,4	55,0
	Ferrosan PS 200	58,0	55,0	54,0	52,0	43,0	52,4	
2	Profometer 5	35,0	35,0	34,0	33,0	31,0	33,6	30,0
	Ferrosan PS 200	31,0	30,0	28,0	27,0	26,0	28,4	
3	Profometer 5	21,0	20,0	19,0	18,0	17,0	19,0	17,0
	Ferrosan PS 200	18,0	18,0	18,0	16,0	15,0	17,0	
4	Profometer 5	87,0	85,0	83,0	82,0	80,0	83,4	85,0
	Ferrosan PS 200	-	-	-	-	-	-	
5	Profometer 5	43,0	43,0	42,0	42,0	42,0	42,4	40,0
	Ferrosan PS 200	42,0	42,0	41,0	40,0	39,0	40,8	

Raudoitetankojen paksuuksien määrytykset suoritettiin Profometerillä 16 mm:n halkaisijan asetuksella sekä oikealla tankopaksuuden asetuksella. Tankojen keskiötäisyytenä käytettiin arvoa 0 mm. Pientä tai isoa mittausaluetta käytettiin tangon sijaintisyvyyden ja halkaisijan perusteella käyttöohjeen mukaisesti. Ferrosanilla tankopaksuudet määritettiin Imagescan-toiminnolla, jossa ei ole mahdollista ennalta asettaa tankopaksuuden tai tankovälin arvoa. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty nämä tulokset.

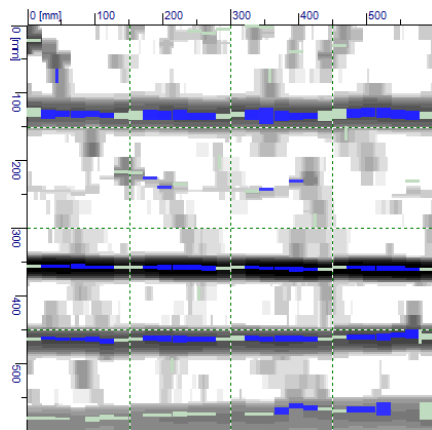
TAULUKKO 5. Testilaatta 1, tankopaksuudet

Teräs nro	Laite	Mittaustulokset					ka	Oikea arvo
1	Profometer 5, Ø 16 mm	14,7	12,1	11,6	10,1	7,9	11,3	12,0
	Profometer 5, Ø oikea	14,0	11,6	11,6	9,7	7,0	10,8	
	Ferrosan PS 200	10,0	8,0	8,0	6,0	6,0	7,6	
2	Profometer 5, Ø 16 mm	9,8	9,8	9,7	9,7	9,6	9,7	10,0
	Profometer 5, Ø oikea	9,5	9,3	9,3	7,0	7,0	8,4	
	Ferrosan PS 200	10,0	8,0	8,0	8,0	6,0	8,0	
3	Profometer 5, Ø 16 mm	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0
	Profometer 5, Ø oikea	7,4	7,1	7,0	7,0	7,0	7,1	
	Ferrosan PS 200	8,0	8,0	8,0	8,0	6,0	7,6	
4	Profometer 5, Ø 16 mm	-	-	-	-	-	-	20,0
	Profometer 5, Ø oikea	-	-	-	-	-	-	
	Ferrosan PS 200	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
5	Profometer 5, Ø 16 mm	10,5	10,5	9,9	7,0	7,0	9,0	16,0
	Profometer 5, Ø oikea	18,9	16,4	16,3	16,2	15,7	16,7	
	Ferrosan PS 200	16,0	14,0	12,0	12,0	12,0	13,2	

TAULUKKO 6. Testilaatta 2, tankopaksuudet

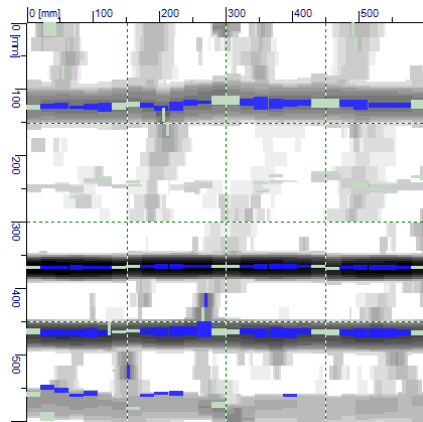
Teräs nro	Laite	Mittaustulokset					ka	Oikea arvo
1	Profometer 5, Ø 16 mm	21,2	18,6	17,4	16,3	11,7	17,0	16,0
	Profometer 5, Ø oikea	19,1	17,7	16,4	13,3	7,0	14,7	
	Ferrosan PS 200	8,0	8,0	8,0	8,0	6,0	7,6	
2	Profometer 5, Ø 16 mm	16,7	16,4	16,4	16,3	16,2	16,4	12,0
	Profometer 5, Ø oikea	16,8	16,4	16,1	15,7	16,0	16,2	
	Ferrosan PS 200	16,0	16,0	14,0	14,0	14,0	14,8	
3	Profometer 5, Ø 16 mm	7,4	7,4	7,4	7,2	7,1	7,3	6,0
	Profometer 5, Ø oikea	7,6	7,3	7,3	7,3	7,1	7,3	
	Ferrosan PS 200	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	
4	Profometer 5, Ø 16 mm	-	-	-	-	-	-	20,0
	Profometer 5, Ø oikea	-	-	-	-	-	-	
	Ferrosan PS 200	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
5	Profometer 5, Ø 16 mm	10,0	9,6	9,2	9,2	9,2	9,4	10,0
	Profometer 5, Ø oikea	12,2	10,9	9,2	7,0	7,0	9,3	
	Ferrosan PS 200	20,0	16,0	14,0	14,0	10,0	14,8	

Mittaustulosten arvot on poimittu Profometerin osalta laitteesta puhelinverkko-yhteyden avulla tietokoneelle siirretystä tiedostosta ja Ferrosanin osalta analysoiduista Imagescan-toiminnon tuloksista. Kuvassa 27 on esitetty Imagescan-toiminnolla määritetyt testilaatan 1 terästen signaalit.



KUVA 27. Testilaatta 1

Ferrosanin mittaustulokset poimittiin tietokonesovelluksen avulla vahvimpien signaalien kohdalta. Kuvassa 28 on esitetty testilaatan 2 terästen signaalit. Kuvien skannaussyvyys on noin 120 mm.



KUVA 28. Testilaatta 2

Silmämääräisen havainnoinnin perusteella kummallakin laitteella voidaan määrittää yhteensuuntaan olevien terästen sijainti tarkasti jokaisen testilaatassa olleen teräksen kohdalla. Betonipeitepaksuuksien mittaamiseen laitteiden tarkkuudet ovat riittävät ja ennakoasetuksena asetetun oikean tankopaksuuden voidaan todeta selkeästi tarkentavan mittaustuloksia kummallakin laitteella. Ferroscanilla mitatut betonipeitepaksuuden tulokset olivat tarkempia, mutta Profometerin voidaan todeta kykenevän mittaamaan syvemmällä sijaitsevien terästen betonipeitepaksuuksia Ferroscania paremmin. Ferroscanin Imagescantoiminnon avulla määritettävät betonipeitepaksuudet vastasivat Quickscantoiminnon avulla saatuja tuloksia.

Tankopaksuuksien mittaamisessa laitteiden antamat tulokset poikkesivat todellisesta paksuudesta betonipeitepaksuuden arvoja enemmän. Molempien laitteiden antamissa tuloksissa oli suurtakin vaihtelua ja Profometerissä oikean tankopaksuuden ennakoasetus saattoi muuttaa mittaustulosta huonompaan suuntaan. Profometerillä määritetyt tankopaksuudet olivat selvästi Ferroscanin arvoja tarkempia keskiarvoltaan, mutta niiden sisältämä vaihtelu oli myös suurempaa. Tuloksissa esiintyi suurta vaihtelua myös kaksi kertaa samalla tankopaksuuden ennakoasetuksella mitatuille halkaisijaltaan 16 mm:n teräksille. Ferroscanin ohjekirjassa (30, s.7) mainittu mittausta häiritsevä vierekkäisten terästen halkaisijoiden sekä sijaintisyvyyksien vaihtelu heikensi laitteen tarkkuutta. Suoritettujen tankokohtaisten mittausten vähäisellä määrällä on myös vaikutusta laskettuun keskiarvoon, vaikka mitattaessa ääriarvoja karsittiinkin.

3.2 Talorakenteet

3.2.1 Pilari

Tutkimuskohteeksi valittu elementtivalmisteinen teräsbetonipilari (kuva 29) sijaitsee parkkihallissa ja sen mitat ovat 350 mm x 400 mm. Tavoitteena oli testata laitteiden soveltuvuus pilarin terästen paikantamiseen sekä tankopaksumuksen määrittämiseen. Terästen sijainnista tai halkaisijoista ei ollut tietoa, joten laitteiden ennakoasetuksina käytettiin aiemmin mainittuja ohjekirjojen mukaisia oletusarvoja.



KUVA 29. Parkkihallin pilari

Ferrosanilla suoritettavia mittauksia varten pilarin kylkeen oli kiinnitettävä vanerilevy, jotta myös rakenteen reuna-alueiden skannaaminen oli mahdollista. Levyn 12 mm:n vahvuus voidaan huomioida tulosten analysointivaiheessa betonipeitepaksuutta määritettäessä. Levyn käyttö huonontaa mittaustulosten tarkkuutta, koska silloin skanneri on kauempana teräksistä ja signaali heikenee. Pyöreisiin pilareihin Imagescan-toiminto ei sovellu.

Pilarin lyhyemmällä ja pidemmällä sivuilla havaittiin olevan eri suuruiset betonipeitepaksuudet, joten mittaukset suoritettiin molemmilta sivulta. Kummallakin laitteella tutkittiin pääterästen betonipeitepaksuudet sekä halkaisijat. Pilarin pidemmän (400 mm) sivun mittaustulokset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Pilarin pidemmän sivun mittaustulokset

Laite	Betonipeitepaksuudet			ka
Profometer 5	49,0	45,0	42,0	45,3
Ferrosan PS 200	47,0	46,0	44,0	45,7

Laite	Pääterästen halkaisijat			ka
Profometer 5	30,2	30,7	27,1	29,3
Ferrosan PS 200	28,0	16,0	14,0	19,3

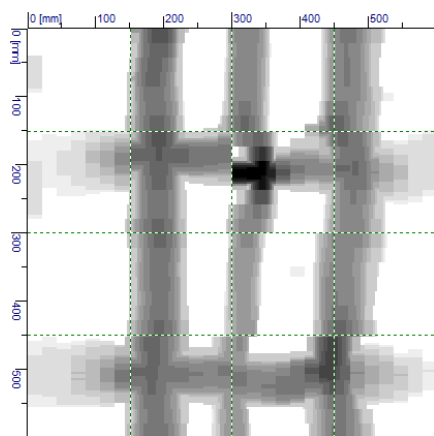
Pilarin lyhyemmän (350 mm) sivun mittaustulokset on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Pilarin lyhyemmän sivun mittaustulokset

Laite	Betonipeitepaksuudet			ka
Profometer 5	22,0	22,0	18,0	20,7
Ferrosan PS 200	27,0	26,0	24,0	25,7

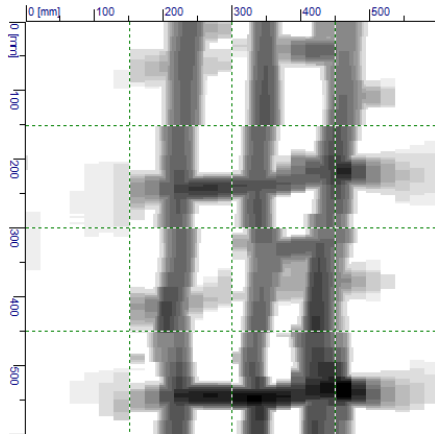
Laite	Pääterästen halkaisijat			ka
Profometer 5	24,5	24,8	20,8	23,4
Ferrosan PS 200	36,0	36,0	25,0	32,3

Pilarin terästen oletettu sijainti voidaan määrittää Ferrosanin Imagescan-toiminnon avulla hyvin. Kuvassa 30 on esitetty pilarin pidemmän sivun mittaustulos.



KUVA 30. Pilarin pidempi sivu

Näyttölaitteella näkyvien tulosten avulla on mahdollista työmaalla piirtää terästen sijainnit rakenteen pintaan. Kuvassa 31 näkyvät epätarkasti suoritetun skannauksen aiheuttamat vaihtelut terästen sijainneissa. Kuvien skannaussyvyyttä on noin 110 mm.



KUVA 31. Pilarin lyhyempi sivu

Molemmat laitteet soveltuvat työn suorittamisen kannalta pilareiden terästen paikantamiseen sekä betonipeitepaksuuksien määrittämiseen. Mitattujen betonipeitepaksuuksien oikeellisuutta ei voitu varmistaa rakennetta avaamalla. Pilareiden terästen halkaisijoiden tarkka määrittäminen on molemmilla laitteilla epävarmaa ja etenkin Ferroskanin tulokset vaihtelivat paljon. Vähäinen mittausmäärä aiheuttaa myös epävarmuutta tuloksiin.

3.2.2 Palkki

Tutkimuskohteiksi valittiin kaksi eri palkkia; parkkihallin katon elementtivalmisteen palkki ja 1960-luvulla valmistettu, paikalla valettu laattapalkki. Tavoitteena oli selvittää laitteiden soveltuvuus palkkien alapinnan terästen paikantamiseen sekä niiden tankopaksuuksien määrittämiseen. Terästen sijainneista tai halkaisijoista ei ollut tietoa, joten laitteiden ennakoasetuksina käytettiin oletusarvoja.

Parkkihallin elementtipalkista (kuva 32) pääterästen skannaaminen palkin alapinnasta onnistui Ferroskanilla sen leveyden vuoksi. Koska mittausruudukon

alimman rivin alueella skannausta ei voitu suorittaa, käytettiin tilanteessa Imagescan-toiminnon ominaisuutta, jolla jokin esteellinen alue voidaan jo mittausvaiheessa rajata pois muodostettavasta kuvasta.



KUVA 32. Parkkihallin elementtipalkki

Profometerillä poimittiin betonipeitepaksuudet pääterästen kohdalla sekä pää- ja hakaterästen halkaisijat. Parkkihallin elementtipalkin betonipeitepaksuuden mittaustulokset on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Parkkihallin palkin betonipeitepaksuudet

Laite	Betonipeitepaksuus pääterästen kohdalla						ka
Profometer 5	41,0	31,0	31,0	26,0	20,0	20,0	28,2
Ferrosan PS 200	35,0	31,0	29,0	28,0	24,0	21,0	28,0

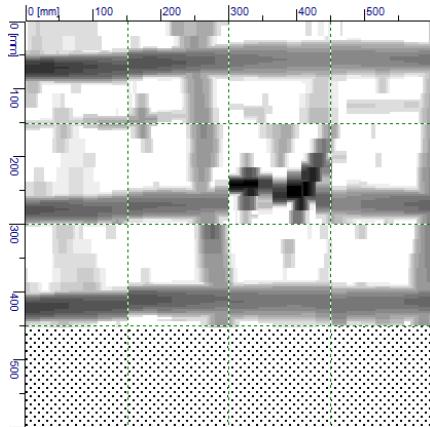
Taulukossa 10 on esitetty elementtipalkin terästen halkaisijoiden mittaustulokset.

TAULUKKO 10. Parkkihallin palkin terästen halkaisijat

Laite	Pääterästen halkaisijat								ka
Profometer 5	40,0	26,2	23,4	23,1	22,8	17,8	16,2	15,5	23,1
Ferrosan PS 200	36,0	30,0	30,0	28,0	25,0	16,0	14,0	12,0	23,9

Laite	Hakaterästen halkaisijat								ka
Profometer 5	41,0	41,0	41,0	41,0	32,4	32,3	28,6	28,4	35,7
Ferrosan PS 200	10,0	10,0	10,0	8,0	8,0	8,0	6,0	6,0	8,3

FerrosScanin Imagescan-toiminnolla tuotetussa kuvassa (kuva 33) näkyy pinnassa kaksi häiriötekijää jotka aiheutuvat jostakin betonipintaa lähellä olevista magneettisista metalleista, mahdollisesti sidelangan palasista. Kuva esittää teräksistä mitatut signaalit noin 120 mm:n syvyydeltä.



KUVA 33. Parkkihallin palkin alapinta

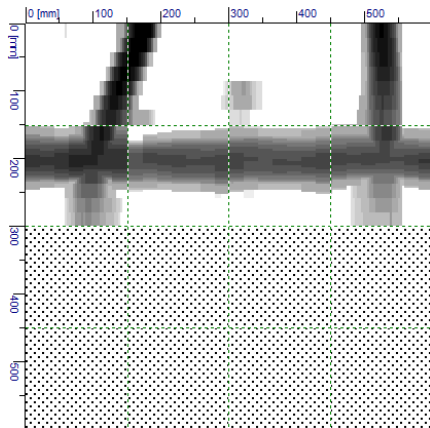
Kumpikin laite antoi samansuuruiset betonipeitepaksuuden ja päätankojen halkaisijoiden arvot, mutta mittaustulosten suuri vaihtelu etenkin tankohalkaisijoiden määrityksessä tekee tuloksista epäluotettavia. Lisäksi Profometerillä määritetyt hakaterästen tankovahvuudet eivät ole mahdollisia. Pää- sekä hakaterästen paikantaminen onnistui molemmilla laitteilla, eikä mittaushetken -5 °C:n lämpötilan havaittu vaikuttaneen laitteiden toimintaan.

Paikalla valetusta laattapalkista (kuva 34) pyrittiin selvittämään tukialueen läheisyydestä ne kohdat, joissa palkin keskiaukossa alapinnassa sijaitsevat teräksiset nousevat palkin yläpintaan. Tietoa tarvitaan suunniteltaessa rakennuksen saneerauksen yhteydessä asennettavien ilmanvaihtoputkien läpivientejä. Palkin kantavuus heikentyy huomattavasti, mikäli pääteräksiset vaurioituvat porattaessa läpivientien vaatimia reikiä. (32.)



KUVA 34. Laattapalkki

Alkuperäisten piirustusten mukaan palkin neljän pääteräksen kuuluisi nousta yläpintaan kahdessa eri kohdassa, 45° kulmassa ja noin 500 - 1 500 mm palkin päädyistä. Profometerillä terästen sijaintia ei voitu luotettavasti määrittää, mutta Ferrosscanin Imagescan-toiminnolla tuotetusta kuvasta (kuva 35) ilmenevät tuki-alueen lähellä olevien terästen sijainnit.



KUVA 35. Laattapalkin terästen sijainti

Skannaus suoritettiin ruudukon kahden ylimmän rivin alueelta. Kuvan perusteella tutkitulla kohdalla ei sijaitse ylös taivutettuja pääteräksiä, vaan pystysuuntaiset ja viistossa asennossa olevat teräkset ovat hakateräksiä. Tämä voidaan todeta, koska palkin alapinnassa kulkevien terästen betonipeitepaksuus on noin 50 mm ja pystysuunnassa olevien hakaterästen noin 30 mm. Lisäksi kuvan tarkastelusyvyyttä pienentämällä pääteräksistä aiheutuneet signaalit poistuvat näkyvistä ensin ja jäljelle jäävät vain hakateräksistä aiheutuneet signaalit. Kuvast-

sa on esitetty tutkitun alueen terästen aiheuttamat signaalit noin 110 mm:n syvyydeltä palkista, eli mittaus tulee tehdä palkin kummankin sivun teräksille erikseen.

Tulosten perusteella palkin terästen paikantaminen pintaa lähellä olevissa kerroksissa onnistuu Ferroscanin avulla luotettavasti, mutta Profometerillä vinossa kulkevien terästen luotettava paikantaminen ei ole mahdollista.

3.2.3 Seinä

Tutkittaviksi seiniksi valittiin kaksi väestönsuojan seinää niiden tiheään hitsatun verkkoraudoituksen vuoksi. Tavoitteena oli selvittää laitteiden soveltuvuus hitsattujen verkkoraudoitteiden betonipeitepaksuuksien sekä terästen halkaisijoiden ja sijaintien määrittämiseen. Terästen sijainnista tai halkaisijoista ei ollut mittaushetkellä tietoa, joten laitteiden ennakoasetuksina käytettiin oletusarvoja.

Toimistorakennuksen väestönsuojan seinästä (kuva 36) oli tavoitteena määrittää betonipeitepaksuus sekä verkkoraudoitteen silmäkoko ja terästen halkaisijat.



KUVA 36. Toimistorakennuksen väestönsuojan seinä

Taulukoissa 11 ja 12 on esitetty seinästä mitatut betonipeitepaksuudet ja terästen halkaisijat.

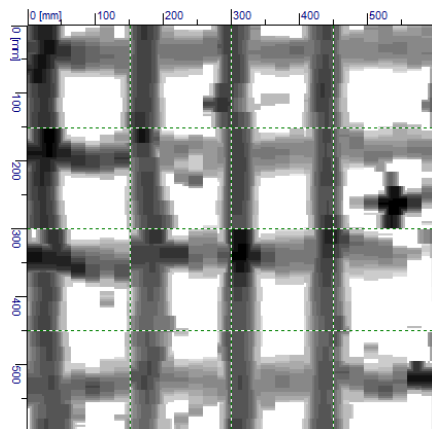
TAULUKKO 11. Toimistorakennuksen väestönsuojan seinän betonipeitepak-suudet

Laite	Betonipeitepaksuus pystyteräksen kohdalla										ka
Profometer 5	51,0	51,0	51,0	50,0	50,0	49,0	49,0	48,0	47,0	47,0	49,3
Ferrosan PS 200	52,0	51,0	48,0	47,0	47,0	46,0	46,0	46,0	45,0	43,0	47,1

TAULUKKO 12. Toimistorakennuksen väestönsuojan seinän terästen halkaisijat

Laite	Pystyterästen halkaisijat										ka
Profometer 5	32,7	24,9	23,4	23,2	22,5	16,8	16,4	13,3	12,7	7,0	19,3
Ferrosan PS 200	25,0	25,0	20,0	20,0	12,0	10,0	10,0	10,0	8,0	8,0	14,8

Ferrosanin Imagescan-toiminnolla tuotetusta kuvasta (kuva 37) selviää verkkoraidoitteen silmäkoko 150 mm x 150 mm. Kuva näyttää teräksistä aiheutuneet signaalit noin 120 mm:n syvyydeltä.



KUVA 37. Toimistorakennuksen väestönsuojan seinän verkkoraidoite

Oppilaitoksen väestönsuojan seinästä (kuva 38) oli tavoitteena määrittää verkkoraidoitteen tankohalkaisija sekä silmäkoko.



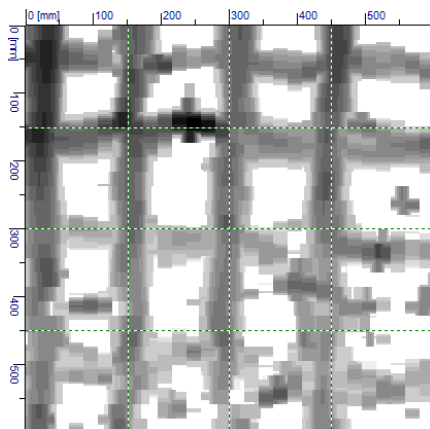
KUVA 38. Oppilaitoksen väestönsuojan seinä

Oppilaitoksen seinän mittaustulokset on esitetty taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Oppilaitoksen väestönsuojan seinän terästen halkaisijat

Laite	Pystyterästen halkaisijat										ka
Profometer 5	33,8	33,4	30,1	26,4	25,2	20,9	20,8	20,8	13,3	11,2	23,6
Ferrosan PS 200	20,0	20,0	16,0	14,0	14,0	12,0	12,0	10,0	10,0	8,0	13,6

Ferrosanin Imagescan-toiminnolla tuotetusta kuvasta (kuva 39) selviää verkkoraidoitteen silmäkoko 150 mm x 150 mm, mutta etenkin kuvan alareunan tulokset ovat häiriintyneet. Laitteella hitsatuista raudotteista saatuja tuloksia ei laitteen valmistajankaan mukaan voida pitää luotettavina (31). Kuva näyttää teräkistä aiheutuneet signaalit noin 120 mm:n syvyydeltä.



KUVA 39. Oppilaitoksen väestönsuojan seinän verkkoraidoite

Oppilaitoksen väestönsuojan seinän verkkoraudoite on rakenteen piirustusten mukaan silmäkooltaan 150 mm x 150 mm ja tankovahvuudeltaan 12 mm.

Kummallakin laitteella voidaan määrittää tutkittujen seinien mukaisten verkkoraudoitteiden silmäkoko. Tankovahvuuksien määrittäminen ei ole luotettavaa tulosten suuren vaihtelun vuoksi. Ferroscanin tulokset tankovahvuuksista olivat kuitenkin huomattavasti lähempänä oikeata kuin Profometerin tulokset.

3.2.4 Sandwich-elementti

Sandwich-elementtien kuntotutkimuksissa on usein tarve paikantaa ulkokuorta kannattelevien ansaiden sijainti, jotta niistä voidaan mahdollisimman vähäisillä rakenteen purkamisilla saada näytepalat. Kohteeksi valittuun rakennukseen (kuva 40) suunnitellaan lisälämmöneristystä, jolloin ansaiden kunto, koko sekä sijainti tulee saada selville, jotta voidaan määrittää lisäkannakointien tarve. (32.)



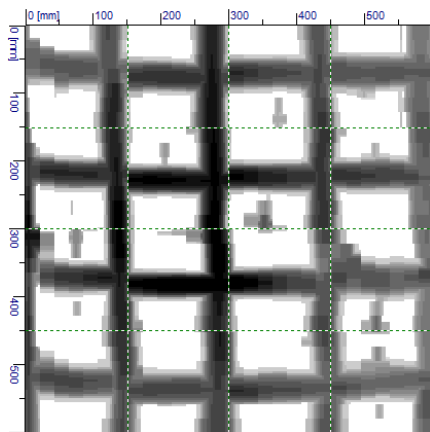
KUVA 40. 1970-luvulla rakennettu kerrostalo

Ansaiden sijainti pyrittiin määrittämään Ferroscanin Imagescan-toiminnon avulla. Reunimmaisten ansaiden oletettiin sijaitsevan noin 500 mm elementin reunasta, joten suoritettavat kolme skannausta tehtiin siirtäen mittausruudukkoa kuvan 41 tilanteesta aina leveytensä verran eteenpäin. Tuloksena saatujen skannausten syvyydet olivat noin 120 mm.



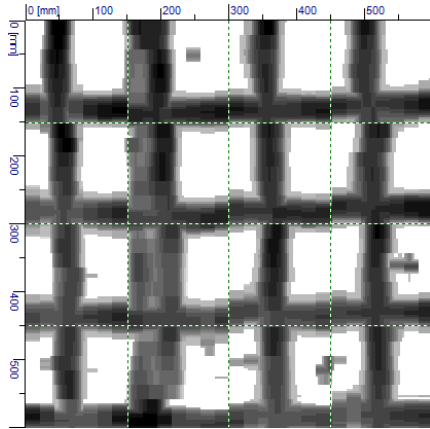
KUVA 41. Mittausruudukko teipattuna sandwich-elementtiin

Ensimmäisestä skannaustuloksesta (kuva 42) ei havaittu ansaan sijaintia. Todennäköisesti ansas sijaitsee verkkoraudoitteen pystyteräksen kohdalla, eikä siten erotu kuvasta. Terästen tankovahvuus on tuloksen perusteella joka kohdassa 6 mm.



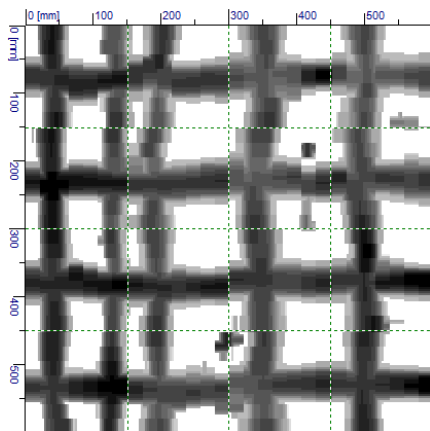
KUVA 42. Sandwich-elementin ensimmäinen skannaus

Toisessa skannaustuloksessa (kuva 43) ansaiden sijainti erottuu verkkoraudoitteen pystyterästen välissä näkyvänä katkottaisena pystylinjana. Verkkoraudoitteen tankovahvuus on tuloksen mukaan 6 mm, mutta ansaslinjan ja sen viereisen verkkoraudoitteen pystyteräksen halkaisijan määrittäminen ei ole mahdollista niiden liian lähekkäisen sijainnin vuoksi.



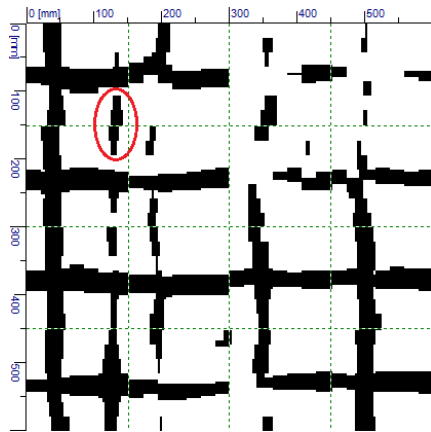
KUVA 43. Sandwich-elementin toinen skannaus

Kolmannesta skannaustuloksesta (kuva 44) ansaslinjan sijainti havaittiin myös pystyterästen välissä. Verkkoraudoitteen tankovahvuus on myös kolmannen tuloksen mukaan 6 mm, mutta ansaslinjan ja sen viereisen verkkoraudoitteen pystyteräksen halkaisijan määrittäminen ei jälleen ole mahdollista niiden liian lähikäisen sijainnin vuoksi.



KUVA 44. Sandwich-elementin kolmas skannaus

Kolmannen skannaustuloksen tarkastelusyvyyttä muuttamalla noin 65 mm:iin (kuva 45) havaittiin ansaslinjassa kohta, jossa ansas käy lähimpänä betonipintaa. Kohta on esitetty punaisella merkinnällä kuvassa 45.



KUVA 45. Ansaan sijainti

Elementtiin merkittiin kynällä ansaan pintaa lähimpänä oleva kohta pysty- ja vaakamerkinnoin, minkä jälkeen näytepala leikattiin irti kyseiseltä kohdalta (kuva 46).



KUVA 46. Näytteenotto sandwich-elementistä

Näytepalan irroituksen jälkeen (kuva 47) ansaan havaittiin sijaitsevan tulosten mukaisesti merkityllä pystylinjalla ja vaakamerkintä sijaitsi noin 20 mm todellista alempana.



KUVA 47. Näytteenotto sandwich-elementistä

Profometerin avulla ansaiden sijainnin luotettava määrittäminen ei onnistunut, vaikkakin rakenteen avaamisen jälkeen todennetulta ansaslinjalta signaalin vahvuus oli välillä huomattavasti verkkoraudoitteen kohdalta saatua signaalia voimakkaampi. Elementin ulkokuoren verkkoraudoitteen tankovahvuus oli 6 mm.

Ferroskanin voidaan todeta soveltuvan sandwich-elementtien ansaiden paikantamiseen hyvin. Tutkitun elementin melko sileä pystyharjattu betonipinta oli mahdollista skannata suoraan elementin pinnasta. Epätasaisemmillä elementtipinnoilla voi olla tarpeen käyttää tasaista levyä skannausalustana.

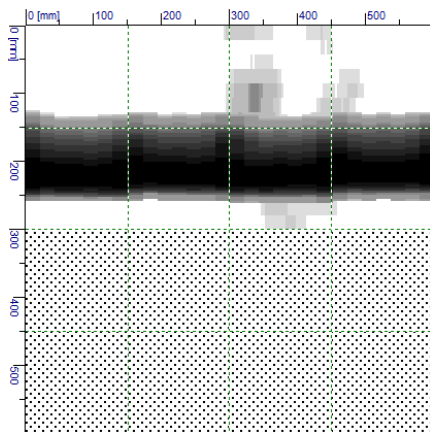
3.2.7 TT-laatta

TT-laattojen rivoissa sijaitsevien jännepunosten määrän ja punoskoon määrittäminen vanhoista rakenteista on vaikeaa, mikäli punokset eivät näy laatan päädystä. Näytekappaleen leikkaaminen laatan rivasta vaatii erillisten tukirakenteiden rakentamista. (32.) Kohteeksi valittiin betonielementtitehtaalla ulkosäilytyksessä oleva TT-laatta (kuva 48), joka oli helppo tutkia ja jonka punosten sijainti sekä halkaisijat olivat tiedossa.



KUVA 48. TT-laatta

Punosten sijainnin ja halkaisijan määrittäminen ei onnistunut kummallakaan laitteella niiden liian lähekkäisen sijainnin vuoksi. Ferroscanin Imagescan-toiminnolla tuotetusta kuvasta (kuva 49) ilmenee vain alue, jolla punoksia sijaitsee. Kuvan skannaussyvyys on noin 120 mm.



KUVA 49. TT-laatan jännepunokset

Laatan 5 punosta sijaittivat kolmessa kerroksessa ja kerrosten väliset etäisyydet olivat noin 50 mm. Lisäksi betonipinnan viistous suhteessa terästen sijaintiin sekoitti tuloksia. Mittaus tulisi suorittaa siten, että mittausalustana käytetty levy on tuettu saman suuntaisesti punosten suhteen, eikä betonipinnan suhteen. Tällöin eri kerroksissa olevat punokset jäisivät tutkittavan pinnan puoleisten punosten taakse eivätkä näkyisi niiden välistä.

3.3 Siltarakenteet

3.3.1 Kehäjalka

Tutkimuskohteeksi valitusta uudehkosta vinojalkaisesta kehäsillasta (kuva 50) oli tavoitteena määrittää kehäjalan ja reunapalkin terästen sijainti sekä halkaisijat. Mittauksissa käytettiin laitteiden oletusasetuksia, koska terästen sijainnista ja halkaisijoista ei ollut tietoa.



KUVA 50. Vinojalkainen kehäsilta

Sillan alta kehäjalan sileäpintaisesta osasta (kuva 51) pyrittiin määrittämään pystysuuntaisten pääterästen sijainti sekä tankohalkaisijat.

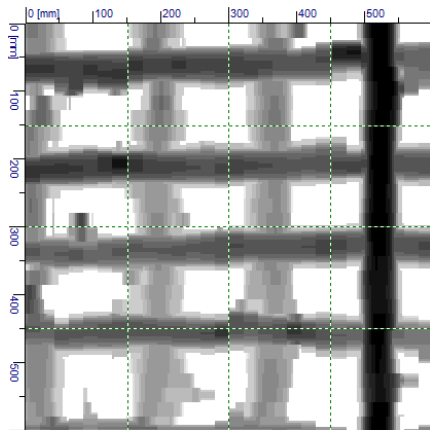


KUVA 51. Kehäjalka

Terästen sijainnit löytyivät kummallakin laitteella samoista kohdista, mutta tankohalkaisijoita ei voitu määrittää kummallakaan laitteella. Profometer ei antanut

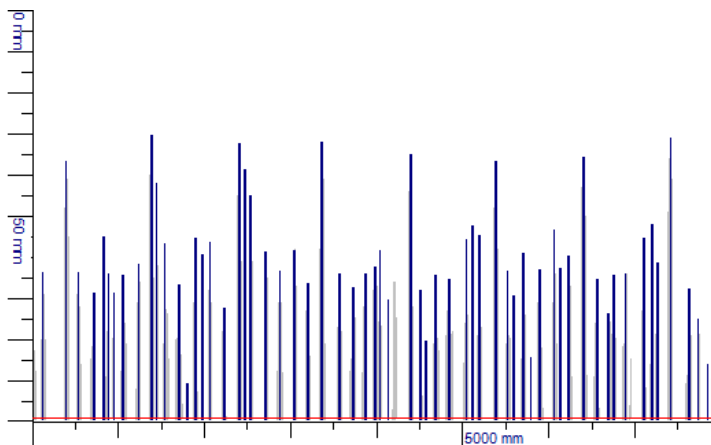
mitään tuloksia liian paksun betonipeitesyvyyden vuoksi ja Ferrosscanin avulla voitiin määrittää tankopaksuuksia vain yhteen pinta lähimpänä olevaan teräkseen. Tuloksissa oli lisäksi huomattavaa vaihtelua.

Ferrosscanin Imagescan-toiminnon avulla saadun tuloksen (kuvat 52) mukaan osa pystytangoista sijaitsee vaakasuuntaisten tankojen etupuolella, mutta suurin osa niiden takapuolella. Imagescan-toiminnon kuvan skannaussyvyys on noin 120 mm.



KUVA 53. Kehäjalan teräkset

Pystysuuntaisten terästen sijainti eri syvyyksillä ilmenee myös Quickscan-toiminnon tuloksista (kuva 52).



KUVA 52. Kehäjalan betonipeitepaksuudet

3.3.2 Reunapalkki

Sillan reunapalkista (kuva 54) pyrittiin määrittämään pitkittäisten terästen halkaisijat sekä betonipeitepaksuus hakaterästen kohdalta.



KUVA 54. Vinojalkaisen kehäsillan reunapalkki

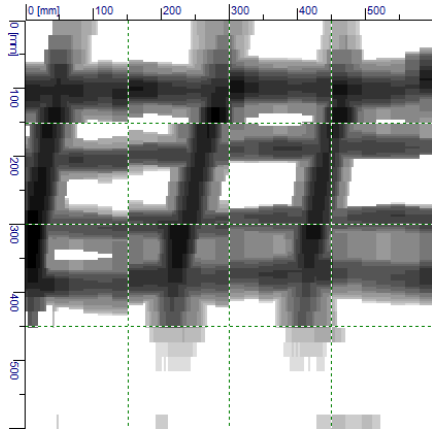
Pitkittäisten terästen halkaisijan määrittäminen ei onnistunut kummallakaan laitteella reunapalkin tiheän raudoituksen vuoksi. Profometerin tuloksissa oli huomattavaa hajontaa ja Ferroscanilla pääterästen halkaisijoita ei voitu määrittää lainkaan.

Betonipeitepaksuus reunapalkissa tulisi olla 45 mm. Betonipeitepaksuuden mitaus onnistui kummallakin laitteella tiheästä raudoituksesta huolimatta, mutta tuloksissa oli suurta vaihtelua (taulukko 12).

TAULUKKO 12. Reunapalkin betonipeitepaksuudet

Laitte	Betonipeitepaksuus										ka
Profometer 5	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	44,0	44,0	43,0	27,0	27,0	41,0
Ferroscan PS 200	61,0	59,0	53,0	51,0	48,0	47,0	47,0	47,0	46,0	41,0	50,0

Terästen paikantamisessa molemmat laitteet osoittivat samat kohdat. Ferroscanin Imagescan-toiminnon avulla terästen sijainneista saadaan havainnollinen kuva (kuva 55). Kuvan skannaussyvyys on noin 110 mm.



KUVA 55. Reunapalkin teräkset

3.3.3 Kansilaatta

Toisena siltakohteena oli vanhempi **laattasilta** (kuva 56), josta pyrittiin määrittämään sillan kannen alapinnan sekä siltapilarin pääterästen halkaisijat. Mittauksissa käytettiin laitteiden oletusasetuksia, koska terästen sijainneista tai tankovahvuuksista ei ollut tietoa.



KUVA 56. Laattasilta

Kannen alapinnasta (kuva 57) määritettiin sillan pituussuuntaisten terästen halkaisijat molemmilla laitteilla.



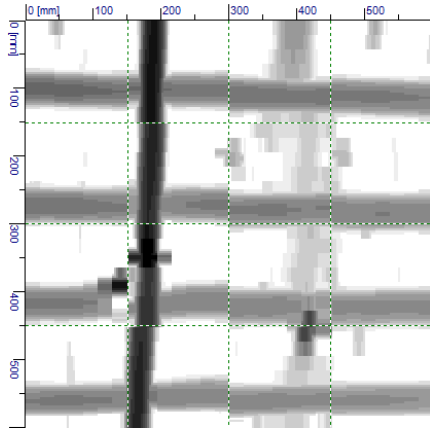
KUVA 57. Laattasillan kannen alapinta

Kannen alapinnan mittaustulokset on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Kannen alapinnan sillan pituussuuntaisten terästen halkaisijat

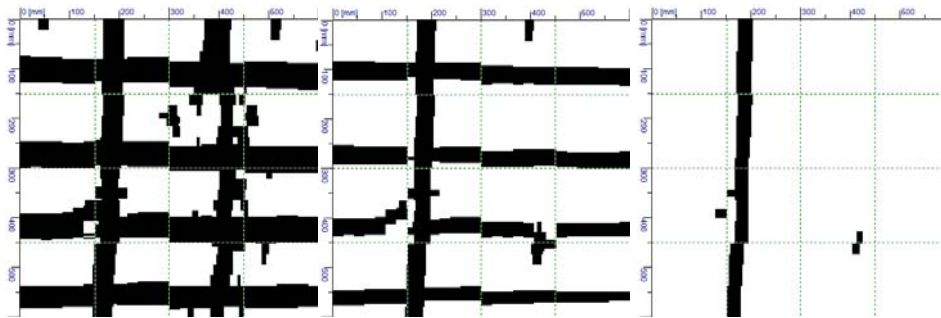
Laite	Pääterästen halkaisijat										ka
Profometer 5	31,7	30,4	29,3	28,0	25,9	25,5	22,6	20,8	10,5	7,0	23,2
Ferrosan PS 200	36,0	36,0	30,0	28,0	28,0	25,0	25,0	20,0	20,0	20,0	26,8

Terästen sijainnin määrittäminen osoitti molemmilla laitteilla samat sijainnit, mutta tankopaksuuksien tuloksissa oli suurta vaihtelua. Ferrosanin Imagescan-toiminnon tuloksen (kuva 58) mukaan osa sillan poikkisuuntaisista teräksistä sijaitsee pitkittäisten terästen alapuolella ja osa yläpuolella. Kuvassa pystysuuntaisena näkyvä toinen sillan kannen poikkisuuntainen teräs ei erotu kunnolla, koska se sijaitsee muita teräksiä syvemmällä. Kuvan skannaussyvyys on noin 120 mm.



KUVA 58. Laattasillan kannen alapinnan teräkset

Terästen keskinäiset sijainnit ilmenevät selkeästi Imagescan-toiminnolla tuotetun kuvan tarkastelusyvyvyyttä muuttamalla (kuva 59). Ensimmäisenä näkyvistä katoavat syvimältä mitatut signaalit.



KUVA 59. Tarkastelusyvyvyyden säätäminen (85 mm - 55 mm - 30 mm)

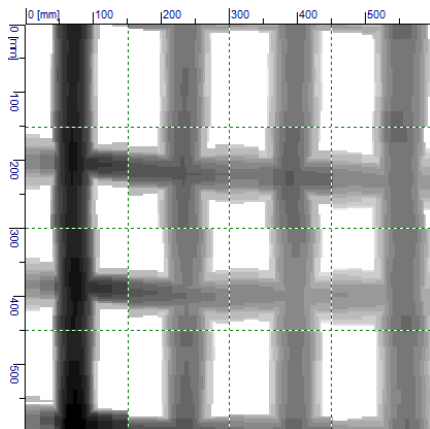
3.3.5 Pilari

Laattasillan pilarin (kuva 60) pääterästen betonipeite- sekä tankovahvuudet pyrittiin määrittämään molemmilla laitteilla. Pilarin koko oli 600 mm x 250 mm. Mittauksissa käytettiin laitteiden oletusasetuksia, koska terästen sijainneista tai tankovahvuuksista ei ollut tietoa.



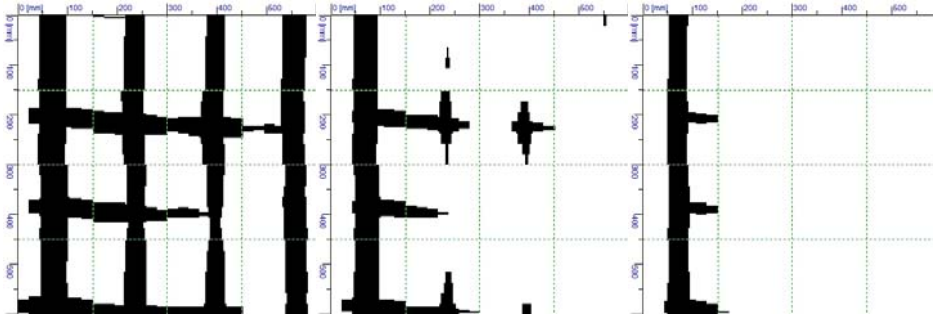
KUVA 60. Laattasillan pilari

Molempien laitteiden mittaustulokset vaihtelivat huomattavasti, koska pilarin teräkset eivät ole betonipinnan suuntaisesti. Ferroscanin Imagescan-toiminnolla tuotetusta kuvasta (kuva 61) voidaan havaita pystyterästen sijaitsevan pilarin vasemmalla reunalla lähempänä betonipintaa kuin oikealla reunalla. Kuvan skannaussyvyys on noin 110 mm.



KUVA 61. Laattasillan pilarin teräkset

Kuvan tarkastelussyvyyttä muuttamalla terästen sijainti hahmottuu selkeämmin (kuva 62):



KUVA 62. Tarkastelusyvyyden säätäminen (65 mm - 55 mm - 45 mm)

Ferrosanilla määritettäessä vasemmanpuoleisen pystyteräksen halkaisija on 25 mm ilman suurta vaihtelua tuloksissa. Profometerillä ei määritetty pelkästään vasemmanpuoleisen teräksen halkaisijaa. Pilarin muiden terästen halkaisijoiden määrittämisessä esiintyi suurta vaihtelua ja Ferrosanin Imagescan-toiminnon signaalin vahvuudet olivat huonot. Tämä voi johtua terästen sijaitsemisesta eri syvyyksillä tutkittavasta betonipinnasta.

3.3.4 Jännitetty palkki

Kolmas siltakohde oli noin 20 vuotta vanha **jännitetty laattapalkkisilta** (kuva 63), jota tutkimalla pyrittiin selvittämään laitteiden erottelukykyä hyvin tiheästi raudoitetuissa teräsbetonirakenteissa.



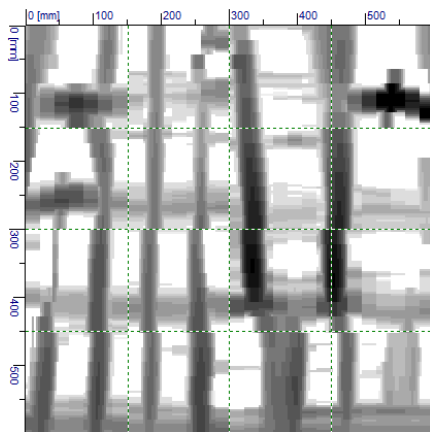
KUVA 63. Jännitetty laattapalkkisilta

Jännitetyn palkin ankkurialueen läheisyydessä (kuva 64) sijaitsee usein palkin tihein rauditus.



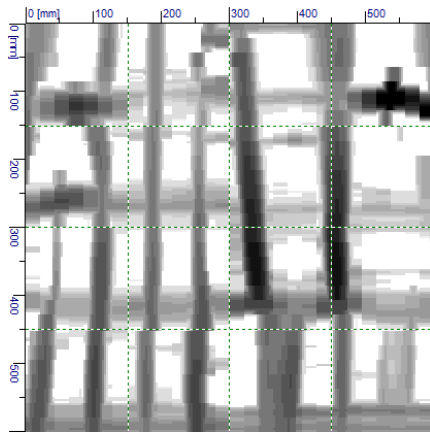
KUVA 64. Jännitetty palkki

Profometerin avulla terästen luotettava paikantaminen ei onnistunut tiheään raudoituksen vuoksi. Ferroscanin Imagescan-toiminnon avulla terästen sijainneista voitiin muodostaa havainnollinen kuva (kuva 65).



KUVA 65. Jännitetyn palkin kyljen teräkset, ensimmäinen mittaus

Imagescan-mittaus toistettiin samassa kohdassa, koska mittaustulos vaikutti häiriintyneeltä. Toisella mittauskerralla tulos oli kuitenkin lähes identtinen aiempaan verrattuna (kuva 66).



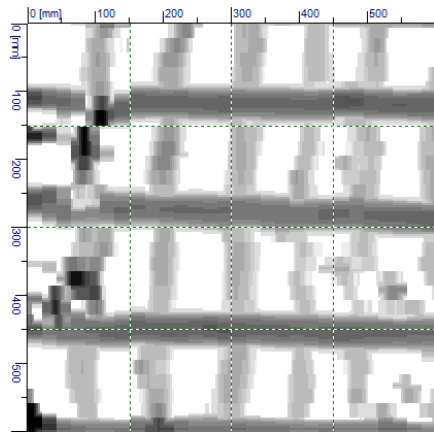
KUVA 66. Jännitetyn palkin kyljen teräkset, toinen mittaus

Palkin alapinnan (kuva 67) pituussuuntaisten terästen sijainnin määrittäminen ei onnistunut Profometerillä liian tiheään raudoituksen vuoksi. Ferroscanilla terästen paikantaminen onnistui, mutta niiden tankovahvuuksia ei voitu määrittää tulosten huomattavan vaihtelun vuoksi.



KUVA 67. Jännitetyn palkin alapinta

Kuvassa 68 on esitetty Imagescan-toiminnon mittaustulokset palkin alapinnasta. Haaleampana signaalina näkyvät teräkset ovat palkin pituussuuntaisia teräksiä.



KUVA 68. Jännitetyn palkin alapinnan teräkset

4 YHTEENVETO

Tavoitteena oli määrittää Hilti Ferroscan PS 200:n soveltuvuus teräsbetonirakenteiden tutkimiseen sekä laitteen hankkimisen hyödyllisyys WSP Finland Oy:n kannalta. Tutkimusmenetelminä olivat yleisesti Ferroscanin ja WSP Finland Oy:n nykyisen Profometer 5:n avulla suoritettavat mittaukset käytännön kohteissa.

Tutkimusten kohteina olleiden rakenteiden perusteella kummallakin tutkitulla laitteella voidaan yleensä paikantaa terästen sijainnit. Terästen paikantamista Ferroscanilla voidaan kuitenkin pitää Profometeriä luotettavampana, koska Profometerin havaittiin antavan usein hieman todellisesta sijainnista poikkeavia havaintoja. Luotettavat tulokset vaativat Profometerillä terästen paikantamisen molempiin suuntiin teräksen yli kulkien.

Betonipeitevahvuuksien määrittämiseen molemmat laitteet soveltuvat tarkkuutensa puolesta hyvin, mutta Ferroscanin käytettävyys on huomattavasti parempi kuin Profometerin.

Terästen halkaisijoiden määrittäminen on kummallakin laitteella hyvin epävarmaa, etenkin jos rakenne sisältää erikokoisia tai eri syvyydellä sijaitsevia teräksisiä. Ferroscanin erottelukyvyn voidaan kuitenkin todeta olevan parempi tiheimmin raudoitetuissa teräsbetonirakenteissa.

Ferroscan soveltuu tutkitun perusteella teräsbetonirakenteiden tutkimuksiin hyvin ja ominaisuuksiensa puolesta toisi uuden ulottuvuuden WSP Finland Oy:n nykyisten laitteiden lisäksi. Laite on helppokäyttöinen, toimintavarma ja rajoitustensa puitteissa tuloksiltaan luotettava.

Ferroscanin hankkimisen hyödyllisyys WSP Finland Oy:n kannalta on syytä harkita työkohteiden tarpeiden kautta. Pelkästään betonipeitteiden mittaamiseen laitetta ei kannata hankkia, mutta rakenteiden pintakerrosten terästen

tarkkaa paikantamista vaativissa kohteissa laitteesta on merkittävää etua Profometriin verrattuna. Terästen halkaisijoiden määrittämiseen laitteen tulokset ovat tutkitun perusteella usein epävarmoja, mutta kuitenkin suuntaa antavia.

Profometer 5 voidaan laajentaa lisäosien avulla Scanlog-malliksi, jolloin terästen paikantaminen havainnolliseksi kuvaksi on mahdollista. Kustannuksiltaan laajentaminen on huomattavasti Ferroscania edullisempi ratkaisu, mutta sen ominaisuudet eivät ole yhtä kattavat. Scanlog-malli ei muodosta vapaata kuvaa tutkitun alueen magneettisten metallien signaaleista, vaan yhdistää havaitut tankojen sijainnit samaan kuvaan. Esimerkiksi viistossa kulkevien terästen havainnointi ei ole mahdollista.

Tutkitun perusteella molempien laitteiden ohjekirjoissa ilmoitetut betonipeitepaksuuksien ja tankohalkaisijoiden mittaustarkkuudet ovat huomattavan optimistisia. Tarkempaan laitteiden tarkkuuksien määrittämiseen olisi tarvittu useita kohteita, joissa mittauksen jälkeen rakenne olisi voitu avata ja mitata todelliset arvot.

LÄHTEET

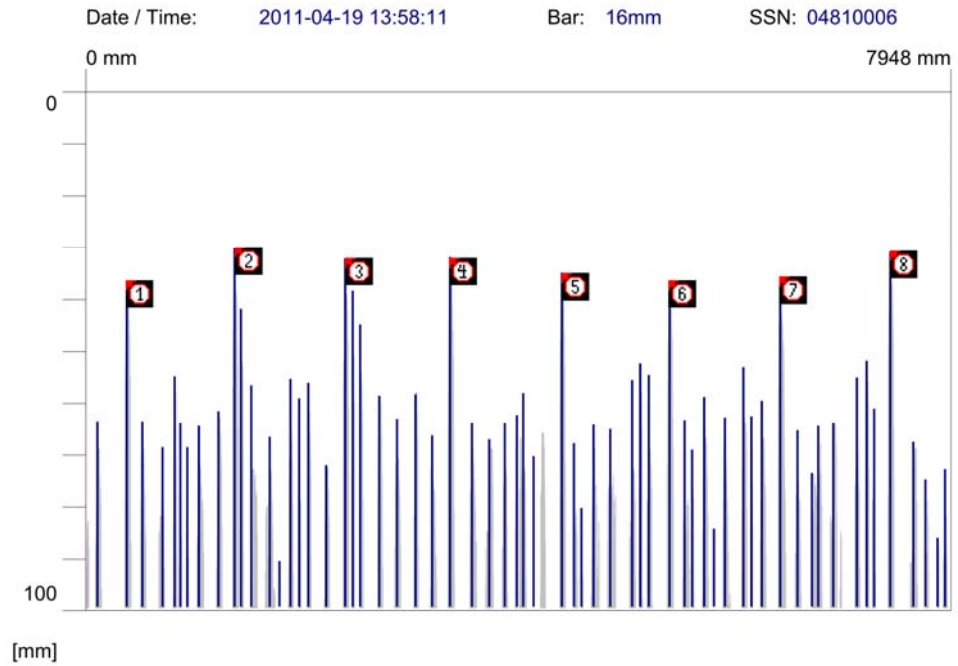
1. Pajakkala Pekka. 2010. Korjausrakentamisen näkymät ja rooli - miten Suomi sijoittuu kansainvälisessä vertailussa. VTT:n seminaari. Saatavissa: http://www.vtt.fi/files/news/2010/korjausrakentamisen_sem/pajakkala_korjausrakorjausrak_nakymat_vtt2010.pdf. Hakupäivä 23.4.2011.
2. SILLAT. 2010. Liikennevirasto. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/index.htm>, josta linkki ”Sillat, organisointi”. Hakupäivä 23.4.2011.
3. BETONIRAKENTEITA SUUNNITELTU JOPA 1000 VUODEN KÄYTTÖIÄLLE. 2011. Betoniteollisuus ry. Saatavissa: <http://www.betoni.com/fi/Tietoa+betonista/Betoni+ja+kestävä+kehitys/Betoni+n+käyttöikä/>. Hakupäivä 23.4.2011.
4. Pakonen, Sakari 1999. NDE-Menetelmien tunnettuus ja käytön tarve rakennus- ja kiinteistöalalla. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto. Diplomityö.
5. Ansaharju, Tapani - Ilomäki, Osmo - Katainen, Harri - Maaranen, Keijo - Mäkinen, Armas 1994. Materiaalitekniikka. 4. painos. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.
6. Pitkänen, Jorma 1991. Uusien materiaalien ominaisuuksien määrittäminen NDT-menetelmin. VTT, Tiedotteita 1275. Espoo: VTT Offsetpaino.
7. Kay, Ted 2002. Assessment & Renovation of Concrete Structures. Eastbourne: Antony Rowe Ltd.
8. Mekaaninen SCHMIDT-Hammer (kimmovasara). 2011. Saatavissa: http://www.elbecon.fi/_files/31182.jpg. Hakupäivä 23.4.2011.

9. Sillantarkastusohje. 2004. Liikennevirasto. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/sillantarkastusohje2004.pdf>. Hakupäivä 24.3.2011.
10. Koskela, Tuomo 2011. MIRA-ultraäänitomografian käyttö jännitettyjen siltojen tutkimuksiin. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikka/YAMK. Opinnäytetyö. Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/handle/10024/27058>. Hakupäivä 23.4.2011.
11. Typical Impact-Echo Test System. 2004. Saatavissa: <http://www.impact-echo.com/Impact-Echo/images/wssetup.jpg>. Hakupäivä 23.4.2011.
12. GIs'Mash. 2009. Saatavissa: <http://www.germann.org/TestSystems/sMASH/sMASH.pdf>. Hakupäivä 24.4.2011.
13. DOSER ELMO YHDISTELMÄKOSTEUSMITTARI. 2011. Saatavissa: <http://www.teknocalor.fi/images/stories/mittarit/elmo1.jpg>. Hakupäivä 23.4.2011.
14. Korroosion ainetta rikkomattomat tutkimusmenetelmät. 2006. Tiehallinto. Tutkimusselostus nro VTT-S-11654-06. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/korroosio_selostus_vtt_2006.pdf. Hakupäivä 23.4.2011.
15. OhmCorr™ Meter. 2008. Saatavissa: http://ndtjames-old.com/catalog/corrosionTesting/Images/rm_1.jpg. Hakupäivä 23.4.2011.
16. Rebar corrosion gauge TC600. 2011. Saatavissa: http://img.directindustry.com/images_di/photo-m2/rebar-corrosion-gauge-429450.jpg. Hakupäivä 23.4.2011.

17. GI Surfer. 2009. GERMAN INSTRUMENTS A/S. Saatavissa:
<http://www.germann.org/TestSystems/Surfer/Surfer.pdf>. Hakupäivä
24.3.2011.
18. Ultrasonic Testing-Tico. 2008. Saatavissa:
<http://www.epccn.com/System/Upload/product/20091102320b.jpg>. Haku-
päivä 23.4.2011.
19. MIRA - a new NDT equipment for concrete structure investigation. 2010.
Saatavissa:
<http://www.gbgoz.com.au/images/News/images/news100210/01.jpg>. Haku-
päivä 23.4.2011.
20. MIRA - a new NDT equipment for concrete structure investigation. 2010.
Saatavissa:
<http://www.gbgoz.com.au/images/News/images/news100210/02.jpg>. Haku-
päivä 24.4.2011.
21. Bridge Structural Health Monitoring using Acoustic Emission. 2011. Saata-
vissa: [http://www.tisec.com/SI/DEV/admin/data/upimages/bridge-
acousticemission-3.jpg](http://www.tisec.com/SI/DEV/admin/data/upimages/bridge-acousticemission-3.jpg). Hakupäivä 24.4.2011.
22. Concrete X-Ray. 2011. Röntgenkuvaus-laitteisto. Saatavissa:
<http://www.concreteinspectors.com/images/servicemainimage.jpg>. Haku-
päivä 24.4.2011.
23. Ruotanen, Juho 2011. Tekninen myyjä, Hilti (Suomi) Oy. Keskustelu
27.4.2011.
24. Trace Conduits In Concrete Slabs With GPR. 2011. Saatavissa:
<http://www.geophysical.com/Images/gprdata-conduits-l.jpg>. Hakupäivä
24.4.2011.

25. StructureScan Optical on-screen data example showing wire mesh within concrete slab. 2011. Saatavissa: <http://www.geophysical.com/Images/Optical-3Ddata1.jpg>. Hakupäivä 30.4.2011.
26. FI Test- und Messtechnik GmbH (FIT-M). 2011. Saatavissa: <http://www.ndt.net/exhibit/stand/images/img-0171m2.jpg>. Hakupäivä 24.4.2011.
27. Tunnistimet. 2011. Hilti (Suomi) Oy. Saatavissa: http://www.hilti.fi/holfi/page/module/product/prca_catnavigation.jsf?lang=fi&nodeld=-231741. Hakupäivä 24.4.2011.
28. PS 35 Metallintunnistin. 2011. Saatavissa: <http://www.hilti.fi/data/product/prodmedium/29634.jpg>. Hakupäivä 24.4.2011.
29. Profometer 5 -laitteen mukana toimitettava käyttöohje.
30. Hilti Ferrosan PS 200 -laitteen mukana toimitettava käyttöohje.
31. Profometer 5+. 2011. Saatavissa: http://www.dsi-equipment.com/uploads/pics/profometer_03.jpg. Hakupäivä 24.4.2011.
32. Petäjäjärvi, Petri 2011. Korjaus- ja tutkimusyksikön päällikkö, WSP Finland Oy. Keskustelu 3.5.2011.

Quickscan: Quickscan -liite.xff



Quickscan Statistics:

Minimum Coverage: 30 mm	T1: 100 mm
Maximum Coverage: 91 mm	#Bars at T1: 62
Mean Coverage: 59 mm	T2: 100 mm
Standard Deviation: 14 mm	#Bars at T2: 62
Cut-Off: 100 mm	T3: 100 mm
#Bars at Cut-Off: 62	#Bars at T3: 62

Customer: ---

Location:

Operator: JK

Comment:

File Storage: C:\Documents and Settings\fik31095\Desktop\Quickscan -liite.xff

Project: Kukkonen

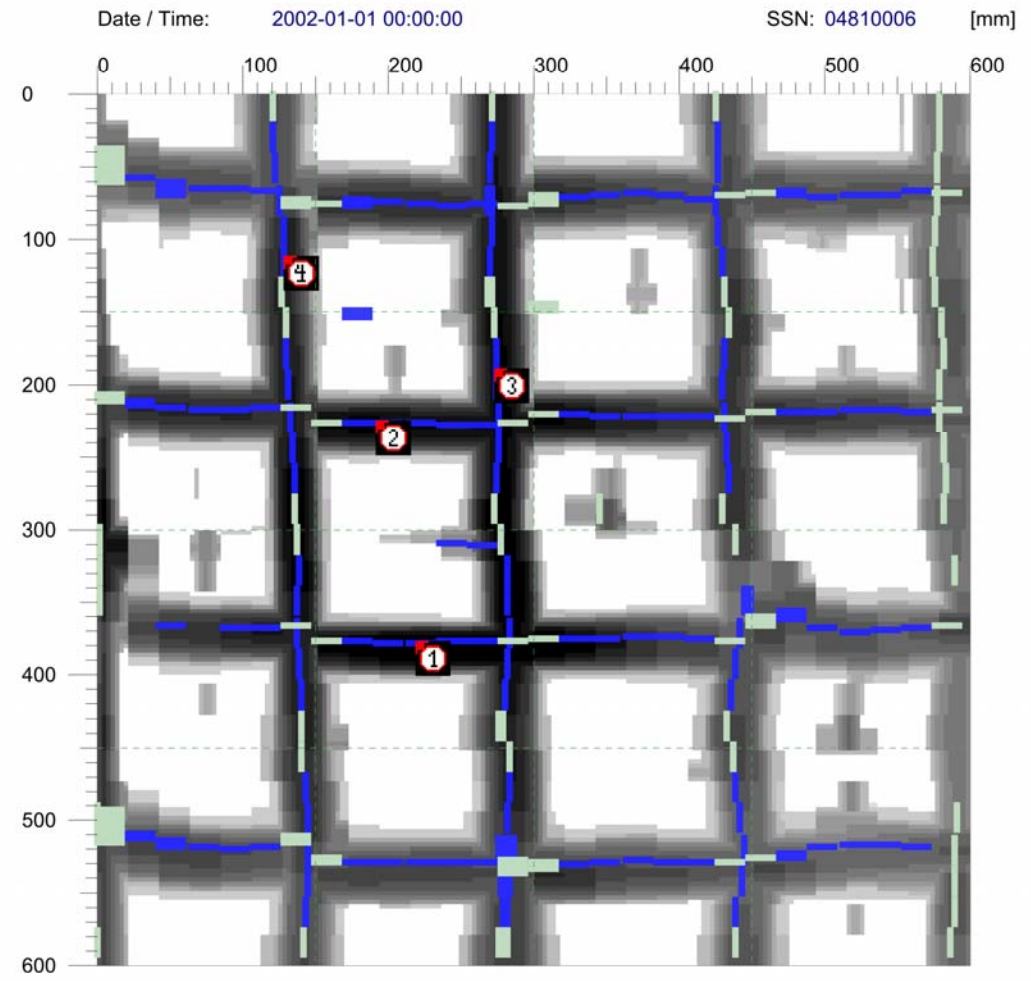
Quickscan: Quickscan -liite.xff

Marker:	x: [mm]	z: [mm]	Comment:
1	380	36	
2	1367	30	
3	2385	32	
4	3348	32	
5	4374	35	
6	5367	36	
7	6385	36	
8	7394	31	

File Storage: C:\Documents and Settings\fik31095\Desktop\Quickscan -liite.xff

Project: Kukkonen

Imagescan: Imagescan -liite.xff



Customer: ---

Location:

Operator: JK

Comment:

File Storage: C:\Documents and Settings\fjk31095\Desktop\Imagescan -liite.xff

Project: Kukkonen

Imagescan: Imagescan -liite.xff

Marker:	x: [mm]	y: [mm]	Comment:
1	220	379	Betonipeitepaksuus 25 mm, teräksen halkaisija 6 mm
2	193	227	Betonipeitepaksuus 28 mm, teräksen halkaisija 6 mm
3	275	191	Betonipeitepaksuus 28 mm, teräksen halkaisija 6 mm
4	129	113	Betonipeitepaksuus 31 mm, teräksen halkaisija 6 mm

File Storage: C:\Documents and Settings\fvj31095\Desktop\Imagescan -liite.xff

Project: Kukkonen