



Juho Ruotanen

**SIR-3000-maatutkan soveltuvuus teräsbetonirakenteiden tutki-
miseen**

SIR-3000-maatutkan soveltuvuus teräsbetonirakenteiden tutkimiseen

Juho Ruotanen
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan ko., Yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Juho Ruotanen

Opinnäytetyön nimi: SIR-3000-maatutkan soveltuvuus teräsbetonirakenteiden tutkimiseen

Työn ohjaaja(t): Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012

Sivumäärä: 45

Rakenteiden tutkimiseen on kehitetty useita ainetta rikkomattomia menetelmiä. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia GSSI:n valmistaman SIR-3000-maatutkalaitteiston soveltuvuutta terästen paikantamiseen betonirakenteista. Työssä käytetty laite saatiin veloituksetta lainaksi Carement Oy:ltä.

Maatutkan toiminta perustuu sähkömagneettisiin pulsseihin, joita antenni lähettää tutkittavaan materiaaliin. Sähkömagneettisen pulssin energiasta osa heijastuu takaisin toisistaan sähkömagneettisilta ominaisuuksiltaan poikkeavista rajapinnoista. Vastaotin havaitsee heijasteen ja mittaa heijastumiseen kulunutta aikaa. Tällä tavalla pystytään arvioimaan esimerkiksi teräksen sijaintia betonirakenteessa. Opinnäytetyö tehtiin käytännön tutkimuksena teräsbetonisissa talo- ja siltarakenteissa. Talorakenteista tutkittiin palkki-, seinä- ja pilarirakenteita sekä sandwich-elementti ja TT-laatta. Siltarakenteista tutkittiin pilari, kehäjalka, kansilaatta sekä reunapalkki. Laitteen tarkkuutta arvioitiin myös tutkimalla tunnettuja teräsbetonilaattoja laboratoriossa.

Tutkimusten perusteella voitiin todeta SIR-3000-maatutkalaitteiston soveltuvan hyvin teräsbetonirakenteiden tutkimiseen ja terästen paikantamiseen betonista. Ainoastaan antennin kelkan vaatima tila rajoittaa tutkimuksia ahtaimmissa kohteissa ja pienimmissä rakenneosissa. Laite tuo lisäarvoa betonirakenteiden tutkimiseen korjausrakentamisen sovelluksissa ja rakentamisen laadunvalvonnessa. Erityisesti tutkittaessa laajoja alueita on maatutka nopea ja kustannustehokas menetelmä esimerkiksi betonipeitepaksuuden määrittämisessä.

Asiasanat: Ainetta rikkomaton tutkimus, maatutka, betonipeite, betoniterästen paikantaminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Municipal Engineering

Author(s): Juho Ruotanen

Title of thesis: Suitability of SIR-3000 Ground Penetrating Radar for Investigating Reinforced Concrete Structures

Supervisor(s): Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012 Pages: 43

Several non-destructive research methods have been developed for investigating reinforced concrete structures. The purpose of this thesis is to examine the suitability of the SIR-3000 ground penetrating radar in such investigations. The device used was provided by Carement Ltd.

The ground penetrating radar (GPR) is a geophysical method which uses radar pulses to imagine the subsurface. It uses electromagnetic radiation and detects the reflected signals from the subsurface. This way it is possible to detect the position of rebars in concrete structures. The study was carried out with practical research and the research sites in question were reinforced building and bridge concrete structures. Building structures included in the research were column, beam, wall, sandwich panel and TT-slab and bridge structures were rigid frame bridge wall, edge beam, bridge deck and column. The functionality of the equipment was also assessed by examining well-known reinforced concrete slabs in laboratory conditions.

Based on this research, it can be concluded that the SIR-3000 GPR device is suitable for investigating reinforced concrete structures and for locating rebars in concrete. The device is beneficial for examining concrete structures in building renovation solutions and in construction quality control. The GPR is an especially cost-effective method in determining concrete covers from vast areas.

Keywords: Non-destructive testing, ground penetrating radar, concrete cover, rebar positioning

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 MAATUTKALUOTAUS	7
2.1 Maatutka, dielektrisyys ja sähkönjohtavuus	7
2.2 Impulssitutkan toiminta	8
2.3 Betoniterästen paikantaminen SIR-3000-maatutkalaitteistolla	11
3 TERÄSBETONIRAKENTEISET TUTKIMUSKOHTEET	14
3.1 Testilaatat laboratoriossa	14
3.2 Talorakenteet	20
3.2.1 Pilari	20
3.2.2 Palkki	22
3.2.3 Sandwich-elementti	25
3.2.4 TT-laatta	28
3.2.5 Seinä	29
3.3 Siltarakenteet	34
3.3.1 Kehäjalka	34
3.3.2 Reunapalkki	36
3.3.3 Kansilaatta	37
3.3.4 Pilari	39
4 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	43

1 JOHDANTO

Vuonna 2008 Suomen rakennustuotannon kokonaisarvo oli 29,5 mrd. €, josta talonrakennuksen korjausrakentamisen osuus oli 9,4 mrd. €. Korjausrakentamisen osuus on kasvanut noin 2,5 - 3,5 % vuodessa 1990-luvun alun jälkeen. (1, s. 4, 5, 11.) Iso osa korjausrakentamisen kohteista on teräsbetonisia ja niiden suunnittelukäyttöikä on vähintään 50 vuotta (2). Rakennusten todellinen käyttöikä on usein paljon pidempi, yli 100-vuotias rakennus voi olla yhä täydessä käytössä. Tästä syystä rakenteille tulee niiden käyttöiän aikana useita erilaisia korjausvaiheita, joiden suunnittelun lähtötiedoiksi rakenteiden kunto tutkitaan ja saatujen tulosten perusteella toimenpiteet voidaan kohdentaa oikein.

Korjaustarpeen selvittämiseksi rakenteita joudutaan usein rikkomaan, jotta nähdään, millainen rakenne on ja missä kunnossa se on. Rakenteen rikkominen ei kuitenkaan usein ole käytännöllinen ja kustannustehokas tutkimusmenetelmä. Nykyisin on kehitelty myös useita erilaisia ainetta rikkomattomia menetelmiä, joilla rakenteita voidaan tutkia vahingoittamatta niitä. Muun muassa Yhdysvalloissa yksi suosittu menetelmä on maatumkaluotaus eli GPR (Ground Penetrating Radar). Maatumkan suosio johtune sen monikäyttöisyydestä. Useat ainetta rikkomattomat menetelmät pystyvät tunnistamaan betonirakenteista esimerkiksi ainoastaan teräkset, mutta maatumkalla on mahdollista löytää myös muita kohteita kuten kaapelit, muoviputket ja tyhjätilat.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Suomessa vielä verraten vähän betonirakenteiden tutkimiseen käytetyn maatumkan soveltuvuutta terästen paikantamiseen betonirakenteissa. Tavoitteena on arvioida laitteen tarkkuutta ja kehittää nopea työtapa esimerkiksi laajojen alueiden betonipeitepaksuuden tarkkaan todentamiseen. Tutkimuksessa käytettävä SIR-3000-maatumkalaitteisto saatiin veloituksetta lainaksi Carement Oy:ltä. Tutkimuskohteina käytetään teräsbetonisia talo- ja siltarakenteita sekä laboratorioluissa tutkittavia tunnettuja teräsbetonilaattoja.

2 MAATUTKALUOTAUS

Maatutkaluotausta on käytetty tierakentamisen tutkimuksissa 1970-luvun alusta lähtien, jolloin Yhdysvaltojen liittovaltion liikennevirasto aloitti menetelmän tutkimisen tunnelisovelluksissa ja siltojen kansirakenteissa. Ensimmäiset testit Suomessa tehtiin 1986 ja maatutkaluotauksesta tuli nopeasti yleinen tutkimusmenetelmä tierakenteiden ja rakenteenparantamisen suunnittelussa sekä myöhemmin päällysteiden laaduntodentamisessa. (3, s. 15.)

1990-luvulta alkaen maatutkaluotausta on ulkomailla käytetty betonirakenteiden tutkimisessa muun muassa tunneli- ja siltakohteissa. Tunneleissa tutkimukset ovat keskittyneet halkeilun, betonin paksuuden, betoniterästen sijainnin ja betonin ja kallion välisen tyhjätilan tutkimiseen. (3, s. 91.) Siltojen kansissa maatutkaluotausta on käytetty muun muassa päällysteen paksuuden ja vaurioiden tutkimiseen ja betonin osalta betonipeitepaksuuden ja betoniterästen sijainnin määrittämiseen. (3, s. 92.)

2.1 Maatutka, dielektrisyys ja sähkönjohtavuus

Maatutkalaitteistojen toiminta perustuu sähkömagneettisten aaltojen käyttöön ja yleisimmin käytetyt taajuudet ovat välillä 10 MHz – 3 GHz. Mittauksiin vaikuttavia fysikaalisia parametrejä ovat väliaineen sähkönjohtavuus, dielektrisyys ja magneettinen susceptibiliteetti. (4, s. 10)

Yksi tärkeimmistä aineiden sähkömagneettisia ominaisuuksia kuvaavista parametreistä on permittiviteetti eli dielektrisyysvakio, jonka tunnus on ϵ . Aineiden permittiviteettiä kuvataan tavallisesti suhteellisella dielektrisyysvakiolla ϵ_r , joka on aineen ja tyhjiön dielektrisyysvakioiden suhde (kaava 1).

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

KAAVA 1

Nykyään kirjallisuudessa tätä dielektrisyysvakioiden suhdetta kuvataan yleensä termillä dielektrisyys- tai er-arvo (5, s. 4).

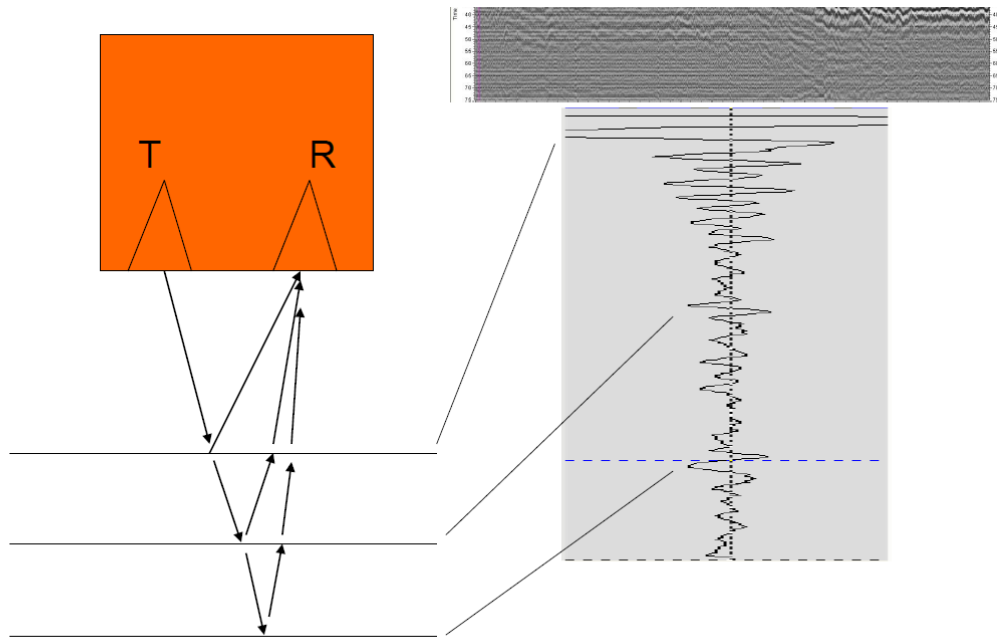
Dielektrisyys kuvaa aineen kykyä varautua, eli polarisoitua ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta. Ulkoisen magneettikentän kadottua alkutila palautuu. Mikäli alkutila ei täysin palaudu, on polarisaatio osittain häviöllistä. Tärkein ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta polarisoituva molekyyli on vesi. Materiaalin dielektrisyysarvon suuruus riippuu pääasiassa vapaan veden määrästä materiaalissa, koska vesipitoisuuden kasvu yleensä nostaa dielektrisyysarvoa. Luonnon materiaalien dielektrisyysarvo on yleensä välillä 1 - 81. (4, s. 10.)

Väliaineen dielektrisyysarvo vaikuttaa suoraan aallon etenemisnopeuteen väli-materiaalissa sekä signaalin vaimenemiseen. Mitä suurempi dielektrisyysarvo on, sitä hitaammin tutkan lähettämä aalto etenee väliaineessa, mutta myös vaimennus pienenee dielektrisyysarvon kasvaessa. (6, s. 7.)

Väliaineen sähkönjohtavuus kuvaa vapaiden varausten liikkumista väliaineessa. Mitä enemmän väliaineessa on vapaasti liikkuvia varauksia, sitä suurempi on sen sähkönjohtavuus ja maatumkan lähettämän sähkömagneettisen signaalin heikkeneminen. (4, s. 10.)

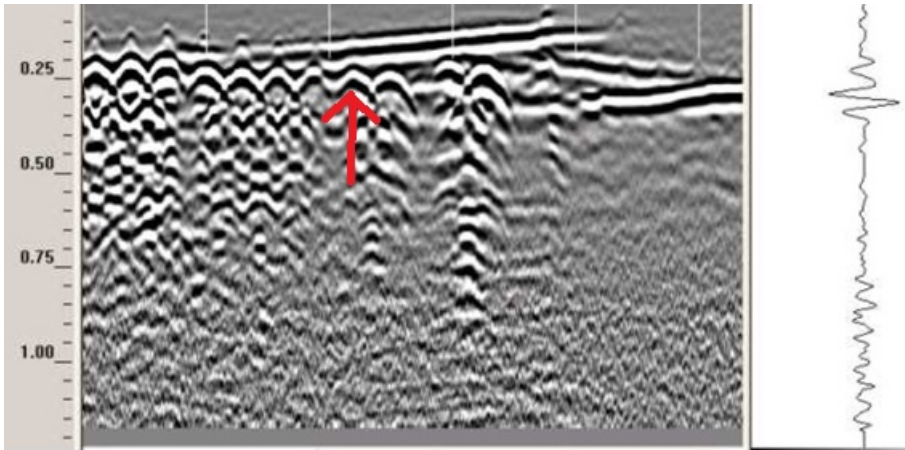
2.2 Impulssitutkan toiminta

Impulssitutka on yleisin käytössä oleva maatumkatyyppi. Muita tyyppejä ovat 3D-laitteiden käyttämä askeltaajuustutka ja taajuusmoduloidut kuva-aaltotutka (7, s.14). Impulssitutka koostuu kahdesta osasta, lähettimestä ja vastaanottimesta (kuva 1).



KUVA 1. Tutkapulssin heijastuminen (8)

Lähetin lähettää väliaineeseen sähkömagneettisen pulssin, jonka pituus on riippuvainen käytettävästä antennitaajuudesta, yleensä hieman alle nanosekunnista kymmeneen nanosekunteihin. Osa signaalin energiasta heijastuu toisistaan sähkömagneettisilta ominaisuuksiltaan poikkeavista rajapinnoista ja osa etenee rajapinnan läpi seuraaville rajapinnoille. Signaali vaimenee kulkuajanfunktiona geometrisen vaimennuksen, signaalin sironnan, heijastusten ja lämpöhäviöiden seurauksena. Heijastusten kulku aika ja amplitudi mitataan ja heijastukset esitetään kulkuajan funktiona. Kun mittauksia tehdään nopeassa tahdissa useita peräkkäin, saadaan tutkittavasta väliaineesta sen rakenteita kuvaava jatkuva luotausprofiili eli tutkakuva (kuva 2). (6, s. 6 - 8.)



KUVA 2. Tutkakuva betonilattiaista ja teräksien aiheuttamat paraabelin muotoiset heijasteet (teräksen pinta on heijasteen valkoisen osan keskellä). (9)

Tutkaluotauksella saavutettavissa oleva syvyysulottuvuus riippuu väliaineiden sähköisten ominaisuuksien lisäksi käytettävästä antennitaajuudesta ja siten signaalin aallonpituudesta. Väliaineen aiheuttama signaalin vaimennus suurentuu antennitaajuuden kasvaessa, koska samalla kasvaa väliaineen johtavuus ja tutka-aallolle näkyvien ja sen vuoksi signaalin energiaa sirottavien kohteiden määrä lisääntyy aallonpituuden lyhentyessä suuremmilla taajuuksilla. Näin tunkeutumissyvyys pienenee antennitaajuuden kasvaessa, mutta toisaalta samalla tutkan erotuskyky paranee. (6, s. 8 - 9.)

Matalataajuisia 20 - 200 MHz:n antenneja käytetään pääasiassa maa- ja kallio-perägeologisissa rakennetutkimuksissa sekä vesistötutkimuksissa. Näillä päästään materiaalista riippuen 10 - 40 m:n tunkeutumissyvyyteen ja erotuskyky on noin 0,6 - 1,5 m. Keskitaajuusantenneja 300 - 500 MHz käytetään perinteisesti kunnallisteknisissä sekä tierakenteiden tutkimuksissa. Tunkeutumissyvyys on noin 3 - 10 m ja erotuskyky noin 0,08 - 0,3 m. Korkeataajuusantenneja, 900 - 3000 MHz, käytetään yleensä betonirakenteiden sekä asfalttipäällysteiden tutkimisessa. Tunkeutumissyvyys on noin 0,2 - 1,5 m ja erotuskyky 0,02 - 0,1 m.

Erotuskyvyllä tarkoitetaan sitä, kuinka lähellä toisiaan olevat rajapinnat voidaan erottaa vielä erillisiksi. Tämä koskee sekä vaaka- että pystysuunnassa tapahtuvaa havainnointia. (5, s. 9.)

Pulssitutkan pystysuuntainen erottelukyky voidaan laskea kaavalla 2 (5, s. 9).

$$h = \frac{\tau * c}{2 * \sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{KAAVA 2}$$

c = valonnopeus tyhjiössä (0,3m/ns)

τ = pulssin pituus (ns)

Havaitun rajapinnan syvyys (esim. teräs betonin sisällä) voidaan laskea kaavalla 3 (5, s. 9).

$$s = v * t = \frac{0,5 * twt * c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{KAAVA 3}$$

twt = pulssin edestakainen kulku-aika

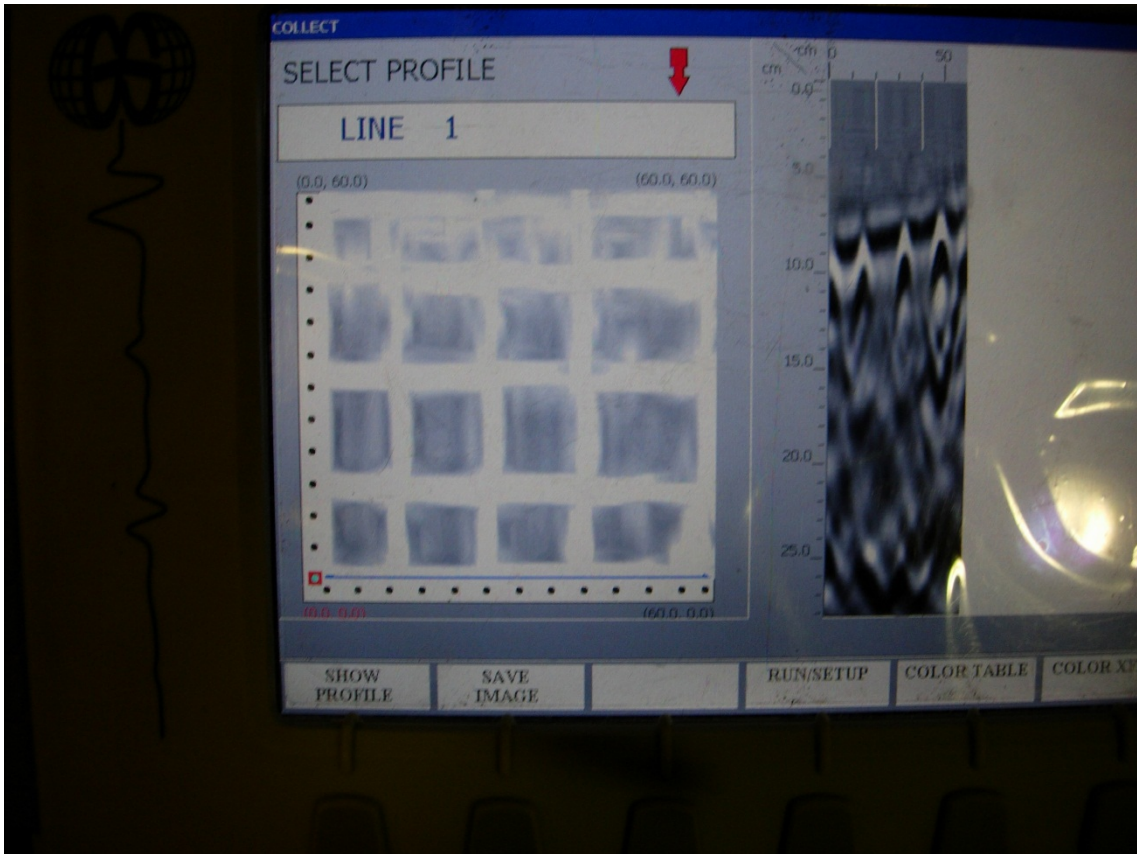
2.3 Betoniterästen paikantaminen SIR-3000-maatutkalaitteistolla

Tutkimuksissa käytettävä laitteisto on yhdysvaltalaisen GSSI-yhtiön valmistama. Laitteistokokonaisuuteen kuuluu SIR-3000-keskusyksikkö sekä siihen kytkettävä betonitutkimuksiin tarkoitettu 2 600 MHz:n tutka-antenni ja kelkka, johon antenni kiinnitetään (kuva 4).



KUVA 4. SIR-3000-keskusyksikkö, antenni ja kelkka

Laitteella on mahdollista tutkia rakenteita kahdella tavalla. Perinteinen tapa on niin sanottu pituusprofiilitutkimus, jossa laitteella tutkataan yhtä linjaa yhdessä suunnassa tutkittavan kohteen yli. Toinen tapa on niin sanottu "Structure scan" eli rakennetutkaus, jossa laitteen mukana toimitettua ruudukkoa hyväksikäyttäen tutkittava kohde tutkataan sekä vertikaalisessa että horisontaalisessa suunnassa ja tutkittavasta kohteesta muodostuu rakennekuva (kuva 5). Tässä tutkimuksessa tutkimuskohteet tutkitaan pääasiassa profiilitutkimuksella terästen paikantamiseksi.



KUVA 5. Structure scan -kuva

3 TERÄSBETONIRAKENTEISET TUTKIMUSKOHTEET

Tutkimuskohteina käytettiin teräsbetonisia silta- ja talorakenteita, joissa raudoitteiden sijainnin paikantamisesta on hyötyä korjausrakentamisessa ja rakentamisen laadunvalvonnassa. Tutkittavat kohteet valittiin pääasiassa WSP Finland Oy:n suositusten mukaisesti.

Tutkimusmenetelmä on kuvailtu jokaisen kohteen kohdalla erikseen laitteen asettamien rajoitusten ja kohteiden asettamien vaatimusten vuoksi. Kohteittain on myös käsitelty tutkaamisella tavoiteltu tieto, mahdolliset rajoitukset ja olosuhteiden vaikutukset.

3.1 Testilaatat laboratoriossa

Käytetyn SIR-3000-maatutkalaitteiston tarkkuutta betonipeitepaksuuden ja betoniterästen sijainnin määrittämiseen arvioitiin laboratoriossa kahden testilaatan avulla (kuva 6). Laboratoriokokeiden avulla pyrittiin myös selvittämään maatutkalaitteiston asetusten vaikutus mittaustuloksiin sekä kehittämään ja kokeilemaan työtapoja, joilla päästään mahdollisimman tarkkoihin tuloksiin betonipeitepaksuuden mittaamisessa.



KUVA 6. Testilaatta 1

Laattoihin asennettujen raudotteiden päät olivat näkyvissä laatan molemmissa päissä, jolloin terästen sijainti oli tarkoin määritettävissä. Teräksiä laattoihin oli asennettu ainoastaan yhteen suuntaan ja niiden väliset etäisyydet olivat minimissään 95 mm.

Laatat olivat 125 mm paksuja, ja niihin oli asennettu erilaisia teräksiä eri syvyyksille. Esimerkiksi testilaatan 1 teräs numero 4 oli 12 mm:n teräspunos (7 x 4 mm). Teräkset numeroitiin kuvasta (kuva 7) katsottuna vasemmalta oikealle ja niiden syvyydet laatan pinnasta katsottuna mitattiin laattojen reunasta.

Aluksi testattiin laitteen tarkkuus määrittää betoniteräksien horisontaalinen sijainti, kun laitteella tutkataan kohtisuoraan teräksien yli. Laitteella pystyy tutkaamaan ensin kohteen yli ja sitten peruuttamaan kelkalla takaisin keskelle havaittua heijastetta. Useiden kokeilujen jälkeen huomattiin, että laitteella kykenee määrittämään teräksen sijainnin betonilaatassa jopa millimetrien tarkkuudella.

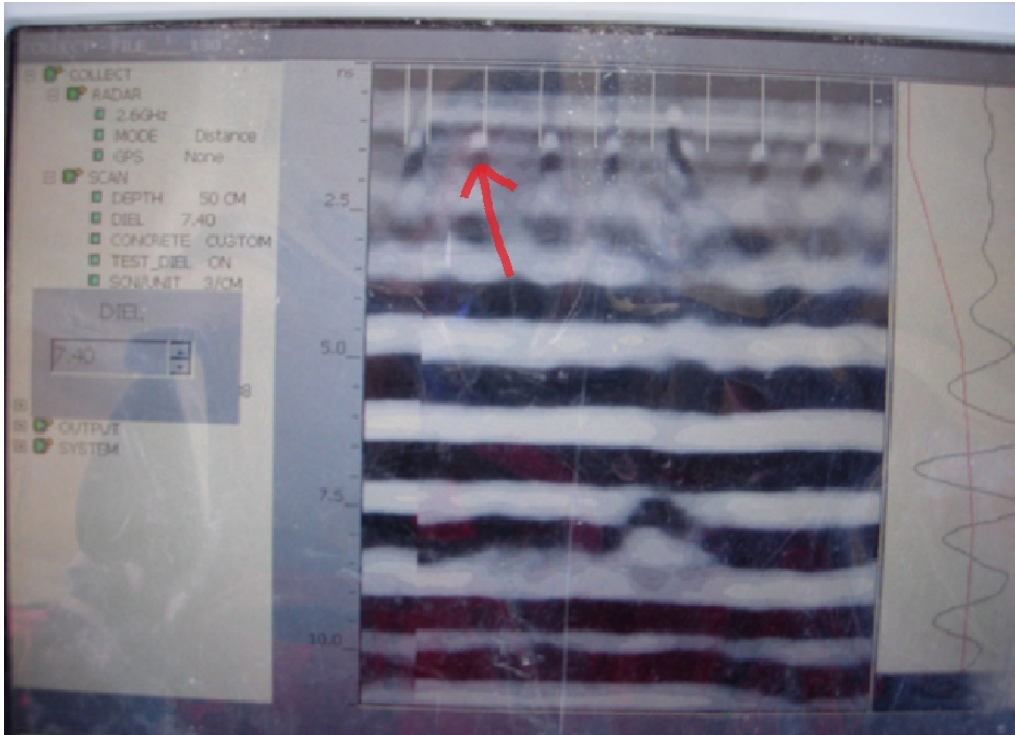


KUVA 7. Terästen sijainnin määrittäminen

Betoniterästen sijainnin syvyyskalibrointiin vaikuttaa tutkaan syötetty betonin arvioitu dielektrisyysarvo. Dielektrisyysarvoa kasvattamalla betonipeitepaksuus tutkan näytöllä pienenee ja dielektrisyysarvoa pienentämällä betonipeitepaksuus vastaavasti kasvaa. Mitä tarkemmin dielektrisyysarvo on arvioitu tai määritetty, sitä paremmin heijasteiden syvyys vastaa raudoitteiden todellista syvyyttä eli tutkimusten tarkkuus paranee.

Ensimmäiseksi laatoille suoritettiin betonipeitepaksuuden määritykset käyttäen SIR-3000-laitteistossa valmiina olevia asetuksia, joissa dielektrisyysarvo määrittyy arvioidun betonin kosteusluokan mukaan. Testilaatat olivat noin kaksi vuotta vanhoja ja niitä oli säilytetty sisätiloissa, joten laitteen valikosta ”Set Concrete” valittiin betonivaihtoehto ”Very Dry” laattaan 2, jolloin laite oletti betonin dielektrisyysarvoksi 4,59, ja ”Mod. Dry” laattaan 1, jolloin dielektrisyysarvo oli 6,25.

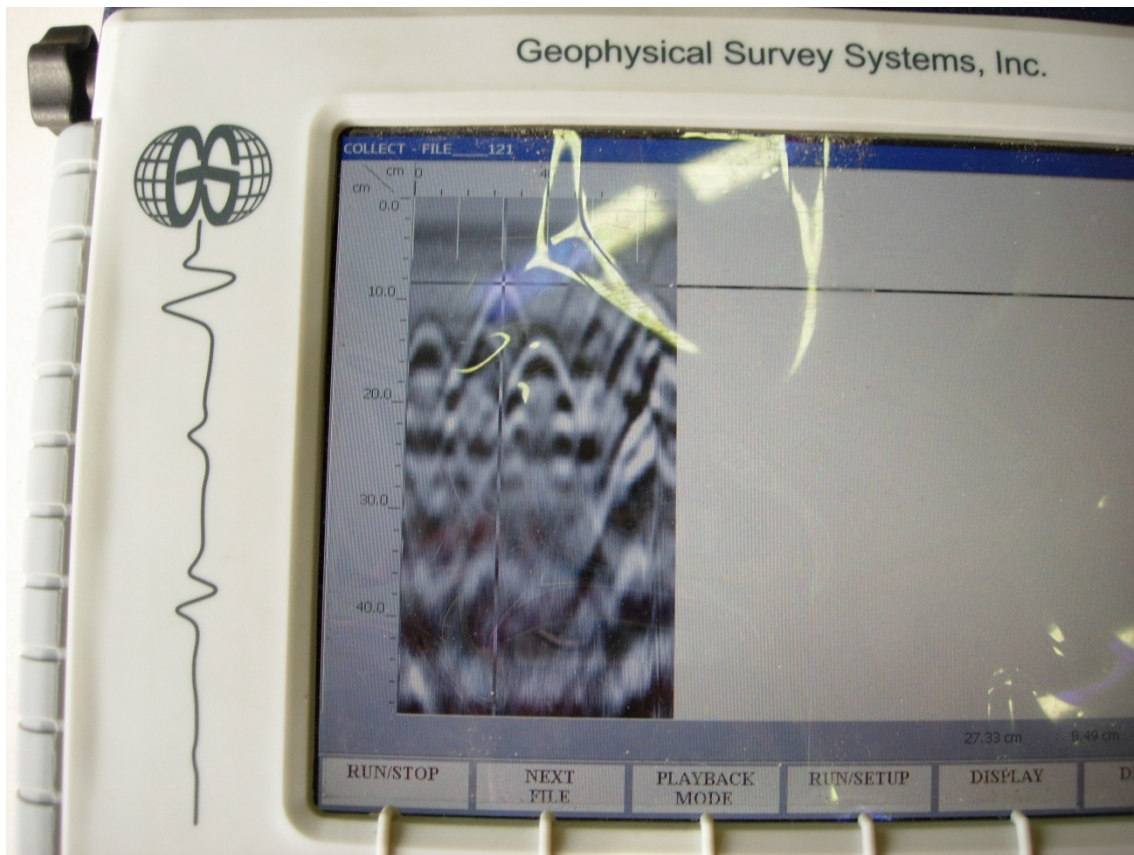
Toinen menetelmä, jota testattiin, oli SIR-3000-laitteessa oleva dielektrisyiden testaus. Laitteella tutkataan aluksi vähintään 60 cm:n mittainen kaistale tutkittavasta kohteesta, minkä jälkeen laitteen ”Test Diel.” -valikosta säädetään dielektrisyysarvoa näytöllä pienemmäksi tai suuremmaksi, kunnes raudoitteiden aiheuttaman paraabelin muotoiset heijasteet taittuvat näytöllä pisteiksi. (Kuva 8.)



KUVA 8. Pisteiksi taittuneet paraabelit tutkakuvassa

Dielektrisyden testaus on laitevalmistajan ilmoituksen mukaan tarkempi kohteiden syvyyden määrittäksessä kuin valmiiden betonilaatujen valinta laitteen valikosta. Näin määrittäen tässä tapauksessa testattu dielektrisyysarvo laatasta 2 oli 9,03.

Kolmannessa testatussa menetelmässä betonista tutkataan yksi pituusprofiili ja merkitään profiilista yhden teräksen sijainti betoniin. Tämän jälkeen porataan betoniin reikä poravasaraa käyttäen 5 mm poralla teräkseen saakka ja mitataan teräksen syvyys betonin pinnasta. Tämän jälkeen SIR-3000-laitteella mennään ”set depth” –tilaan, jossa nuolinäppäimillä voidaan asettaa kyseisen teräksen heijasteen syvyys käsin ja laite muuttaa dielektrisyysarvon syvyyden mukaisesti. (Kuva 9.)



KUVA 9. Heijasteen syvyyden asettaminen

Näillä kolmella menetelmällä mitattiin betonipeitepaksuudesta neljä mittaustulosta molemmista laatoista ja havaittiin, että samalla menetelmällä mitatuissa tuloksissa ei ollut eroa mittauskertojen välillä. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty eri menetelmillä saadut tulokset.

TAULUKKO 1. Testilaatta 1, betonipeitepaksuudet

Teräs nro	Menetelmä	Mittaustulos (mm)	Todellinen syvyys (mm)	ero (mm)
1	Concrete type	84,9	40	44,9
	Test Diel	42,4		2,4
	Set Depth	40		0
2	Concrete type	142,9	85	57,9
	Test Diel	85,7		0,7
	Set Depth	83,7		1,3
3	Concrete type	52,7	17	35,7
	Test Diel	15,8		1,2
	Set Depth	14,9		2,1
4	Concrete type	70,9	30	40,9
	Test Diel	31,5		1,5
	Set Depth	30,7		0,7
5	Concrete type	98,9	55	43,9
	Test Diel	54,6		0,4
	Set Depth	54,9		0,1

TAULUKKO 2. Testilaatta 2, betonipeitepaksuudet

Teräs nro	Menetelmä	Mittaustulos (mm)	Todellinen syvyys (mm)	ero (mm)
1	Concrete type	81,1	45	36,1
	Test Diel	41,6		3,4
	Set Depth	43,2		1,8
2	Concrete type	64,2	30	34,2
	Test Diel	31,2		1,2
	Set Depth	30		0
3	Concrete type	48,4	15	33,4
	Test Diel	22,8		7,8
	Set Depth	13,2		1,8
4	Concrete type	118,9	82	38,9
	Test Diel	60		22
	Set Depth	69,7		12,3
5	Concrete type	69,5	35	34,5
	Test Diel	36,3		1,3
	Set Depth	36		1

Tutkimuksissa tehtyjen havaintojen mukaan SIR-3000-laitteella voidaan määrittää betoniterästen horisontaalinen sijainti erittäin tarkasti riippumatta siitä, mitä menetelmää dielektrisyden arviointiin käytetään. Betonipeitepaksuuden osalta voidaan todeta, että laitteessa valmiina olevien betonityyppiasetusten, ”concrete type”, käyttäminen ei tuota kovin tarkkaa lopputulosta betonipeitepaksuuden määrittämisessä. Sen sijaan dielektrisyden säätäminen visuaalisesti ”Test. Diel” -menetelmällä ja manuaalinen syvyyden asetus ”Set depth” -menetelmällä tuottavat riittävän tarkkoja tuloksia varsinkin pienemmissä betonipeitepaksuuksissa.

3.2 Talorakenteet

3.2.1 Pilari

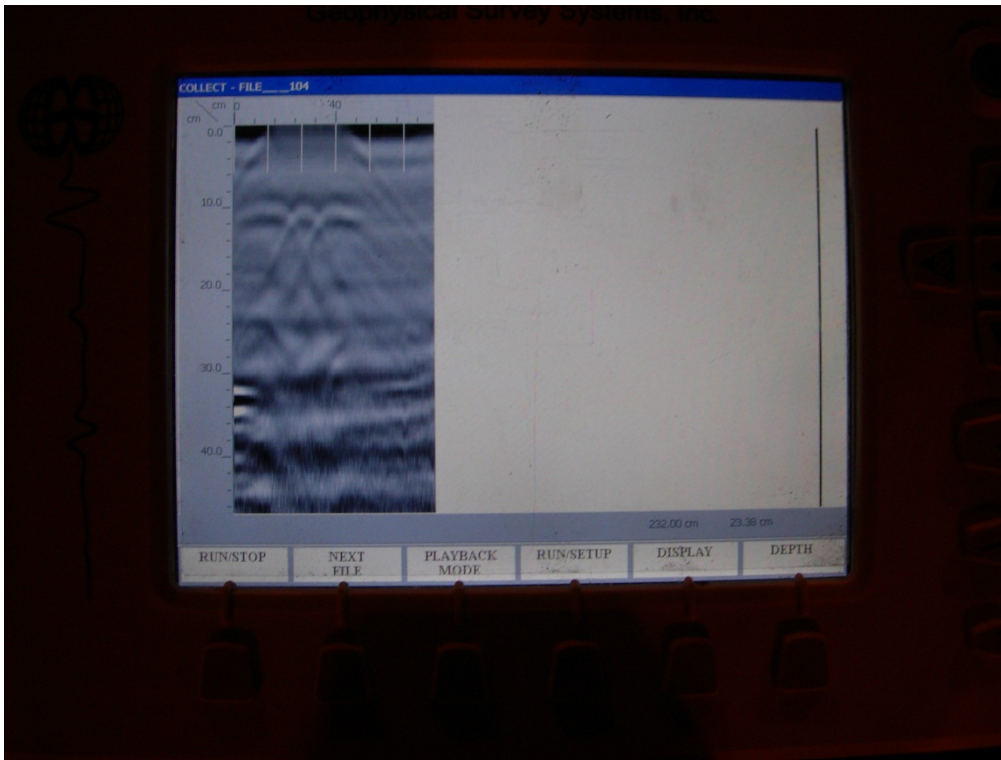
Tutkimuskohteeksi valittiin parkkihallissa sijaitseva elementtivalmisteinen teräs-betonipilari (kuva 10), jonka mitat olivat 350 x 400 mm. Tavoitteena oli testata maatumkalaitteen soveltuvuus pilarin terästen paikantamiseen ja tarkastella mahdollisten heijasteiden voimakkuutta ja selkeyttä. Pilariin ei ollut mahdollista porata reikää, joten syvyyden kalibrointi tapahtui visuaalisella dielektrisyiden testauksella.



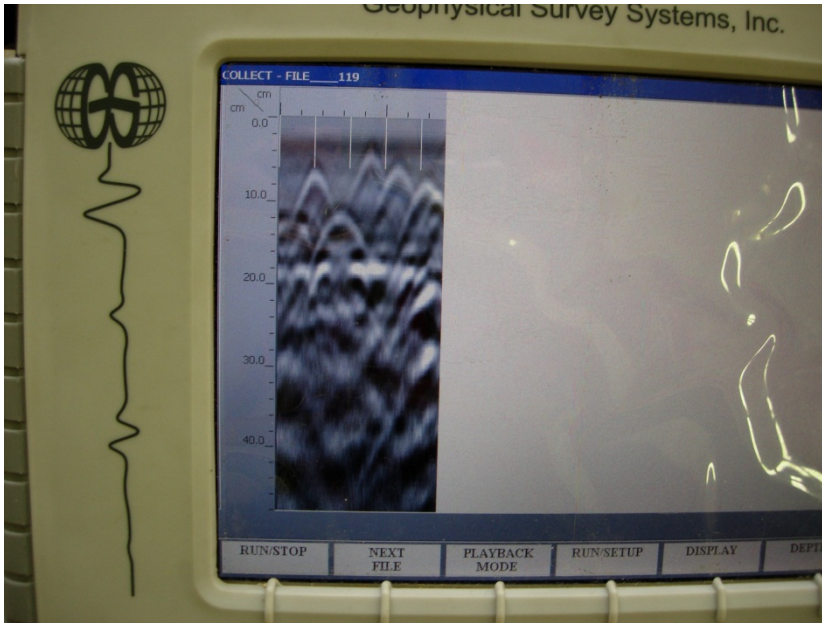
KUVA 10. Parkkihallin pilari

Koska tutka lähettää tietyn asetuksissa määritellyn määrän sähkömagneettisia pulsseja kelkan kulkemaa senttimetriä kohden ja kelkan takarenkaat mittaavat kuljetun matkan, täytyi pilariin asettaa 12 mm:n paksuinen vanerilevy, jotta reu-nimmaisestkin teräkset saatiin tutkattua. Pyöreiden pilareiden tutkimiseen SIR-

3000 ei tällä tavalla toteutettuna sovellu lainkaan ja vanerilevy täytyy huomioida määritettäessä terästen syvyyksiä. Levy antennin ja betonin välissä heikentää selvästi tutkakuvan heijasteiden voimakkuutta (kuva 11), verrattuna suoraan betonilta tutkatessa saatuihin heijasteisiin (kuva 12).



KUVA 11. Tutkakuvan teräsheijasteet vanerin kanssa mitattuna



KUVA 12. Tutkakuvan teräsheijasteet suoraan betonin pinnalta mitattuna

Pilarin eri sivuilla huomattiin olevan erilaiset peitepaksuudet. Pääterästen peitepaksuudet on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Pilarin betonipeitepaksuudet

Sivu	Betonipeitepaksuudet			Ka
Pidempi	48,2	45,7	43,8	45,9
Lyhyempi	26,5	27,3	23,4	25,7

Maatutka soveltuu hyvin työn suorittamisen kannalta terästen sijainnin ja betonipeitepaksuuden määrittämiseen pilarissa. Tutkakuvan heijasteiden perusteella työmaalla pystytään nopeasti piirtämään pääterästen sijainti betonin pintaan esimerkiksi porauksia varten, jolloin teräksiä ei vahingoiteta porattaessa. Mitattujen betonipeitepaksuuksien oikeellisuutta ei pystytty tarkistamaan rakennetta avaamalla.

3.2.2 Palkki

Tutkimuskohteina käytettiin kahta erilaista palkkia, parkkihallin katon elementti-valmisteista teräsbetonipalkkia sekä teollisuusalueella sijainnutta, 1960-luvulla

valmistettua paikalla valettua laattapalkkia. Tavoitteena oli selvittää laitteen soveltuvuutta palkkien alapinnan terästen paikantamiseen sekä betonipeitepaksuuden määrittämiseen.

Parkkihallin elementtipalkista (kuva 13) alapinnan pää- ja hakaterästen sijainnin ja betonipeitepaksuuden tutkimus suoritettiin käyttämällä apuna vanerilevyä, jotta reunimmaisetskin teräkset saatiin tutkattua. Tässä tapauksessa tutkimusta suorittamaan tarvittiin kaksi henkilöä, joista toinen piteli vaneria palkin alapintaa vasten ja toinen suoritti itse tutkimuksen.



KUVA 13. Parkkihallin elementtipalkki

Alapinnalta saatiin mitattua sekä terästen sijainnit että betonipeitepaksuudet pääterästen kohdalla. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Parkkihallin elementtipalkin betonipeitepaksuudet

Betonipeitepaksuudet						Ka
36,1	31,2	29,7	28,3	24	21,6	28,5

Pää- ja hakaterästen sijainnin määrittäminen palkista maatumalla käy nopeasti ja maatumalla soveltuu myös betonipeitepaksumien määrittämiseen. Työtä hankaloittivat ylöspäin tapahtuva mittaus sekä vanerin piteleminen palkin alapintaa vasten. Tutkimushetkellä oli pakkasta noin 5 °C, eikä pakkasen todettu vaikuttavan tutkimustuloksiin. Määritettyjä betonipeitepaksumia ei voitu tarkistaa avaamalla rakennetta.

Paikalla valetusta laattapalkista (kuva 14) oli tarkoitus selvittää tuen läheisyydessä ne kohdat, joissa palkin keskiaukon alapinnassa kulkevat teräkset nousevat palkin yläpintaan. Suunnittelijat tarvitsevat tietoa rakennukseen saneerauksen yhteydessä asennettavien ilmanvaihtoputkien läpivientejä varten tehtävien reikien takia. Palkin kantavuus heikkenee huomattavasti, mikäli porattaessa reikiä läpivientejä varten vahingoitettaisiin pääteräksiä. (10.)



KUVA 14. Paikalla valettu laattapalkki

Alkuperäisten rakennepiirustusten mukaan palkin pääterästen tulisi nousta yläpintaan kahdessa kohdassa 45 asteen kulmassa noin 500 – 1500 mm palkin päädystä.

Tutkimuksia varten palkin kylkeen kiinnitettiin puristimia apuna käyttäen vanerilevy, jonka päältä mittaukset tulitisiin suorittamaan. Mitattava alue palkin kyljestä oli vain 270 mm korkea. Mittaukset olisi tullut tehdä useassa linjassa kohtisuoraan alhaalta ylöspäin palkin kylkeä pitkin. Kelkka, jossa antenni oli kiinni, on kuitenkin noin 30 cm pitkä ja itse mittaus tapahtuu kelkan keskeltä, joten palkin ja välipohjalaatan välissä oli liian vähän tilaa, jotta tutkaus olisi ollut mahdollista suorittaa. Näin ollen maatutkaluotaus tällä tavalla toteutettuna ei sovellu teräsbetonirakenteiden tutkimiseen näin ahtaissa olosuhteissa.

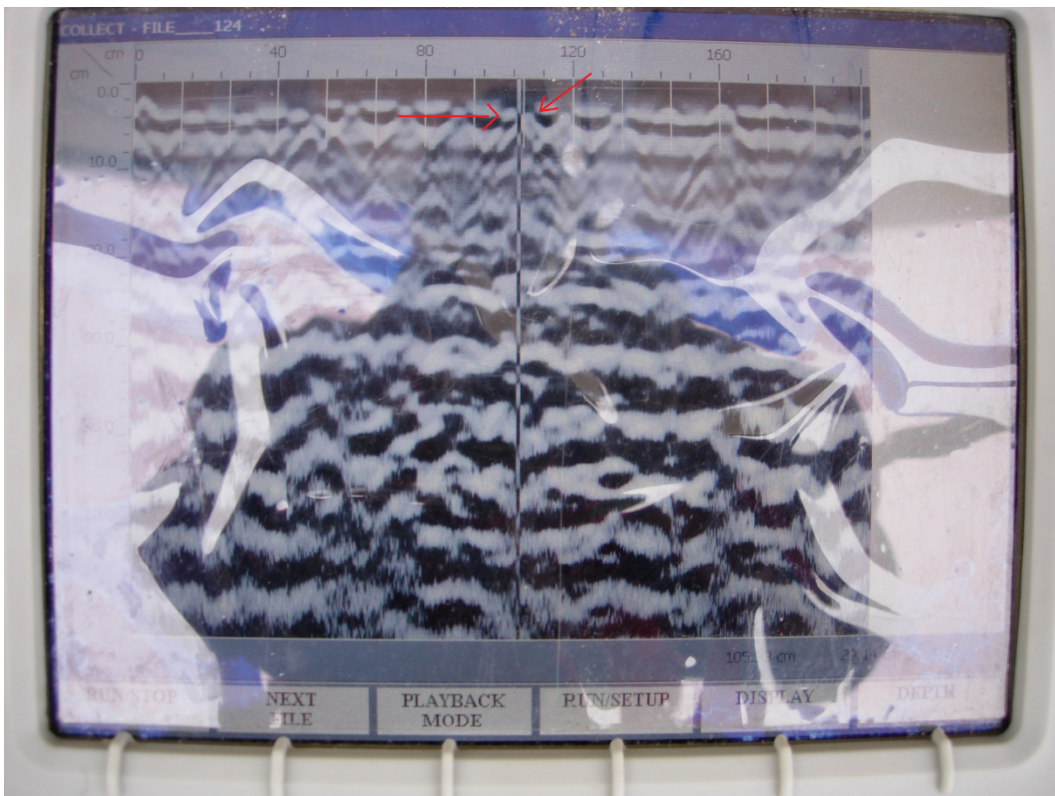
3.2.3 Sandwich-elementti

Sandwich-elementtien kuntotutkimuksissa on tarve paikantaa elementin ulko-kuorta kannattelevien ansaiden sijainti, jotta niistä saadaan näytteet mahdollisimman vähäisellä rakenteiden purkamisella. Tutkimuskohteeksi valittuun 1970-luvulla rakennettuun taloon (kuva 15) suunnitellaan lisälämmöneristystä, jolloin ansaiden sijainti ja kunto tulee selvittää, jotta voidaan arvioida lisäkannakoinnin tarve. (10.)



KUVA 15. 1970-luvulla rakennettu kerrostalo

Ansaiden sijainti pyrittiin määrittämään tutkaamalla elementtiä useassa tasossa vaakasuunnassa ja merkitsemällä tutkakuvan perusteella epäilyttävät alueet ja tutkaamalla näitä kohtia tarkemmin uudestaan. Verkkoraudoitteen pystyteräksistä johtuvat heijasteet tulivat tasaisin välein, joten kaikki heijasteet, jotka poikkesivat tästä toistuvuudesta, olivat todennäköisesti ansaita. Näin toimimalla löydettiin nopeasti kohta, jossa tutkakuvassa oli kaksi heijastetta todella lähellä (kuva 16) ja paikka merkittiin tussilla näytteenottoa varten. Tämän jälkeen elementin ulkokuoresta leikattiin näytepala (kuva 17).



KUVA 16. Kaksi peräkkäistä heijastetta



KUVA 17. Näytteenotto sandwich-elementistä

Näyttepalan irroituksen jälkeen voitiin todeta ansaan olleen täsmälleen maatut-
kan avulla merkityssä kohdassa (kuva 18).



KUVA 18. Näytteenotto sandwich-elementistä

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta maatutkan soveltuvan todella hyvin nopeaan ansaiden paikantamiseen sandwich-elementeistä.

3.2.4 TT-laatta

TT-laattojen rivoissa sijaitsevien teräksisten jännepunosten koon ja määrän selvittäminen vanhoista rakenteista on vaikeaa, mikäli punokset eivät ole näkyvillä laatan päädysssä. Mikäli rivasta halutaan leikata näytekappale, joudutaan rakentamaan erilliset tukirakenteet laatalle. (10.) Tutkimuskohteena oli betonielementitehtaalla ulkosäilytyksessä oleva TT-laatta (kuva 19), jossa punoksien sijainti oli nähtävissä laatan päässä.



KUVA 19. TT-laatta tehtaan pihalla

Punosten sijainnin määrittäminen rivan kyljestä ei onnistunut maatutkalla. Punoksia laatoissa oli viisi kappaletta ja ne sijaitsivat kolmessa eri tasossa, joiden välinen etäisyys oli noin 50 mm. Punokset todennäköisesti ovat niin suuria (12,5 mm) ja lähellä toisiaan, että ne näkyivät tutkakuvassa ainoastaan yhtenä todella suurena heijasteena. Rivan vinous saattoi vielä omalta osaltaan pahentaa asiaa, jolloin alimmaisat punokset tulivat näkyviin päällimmäisten takaa sekoittaen heijasteita edelleen.

3.2.5 Seinä

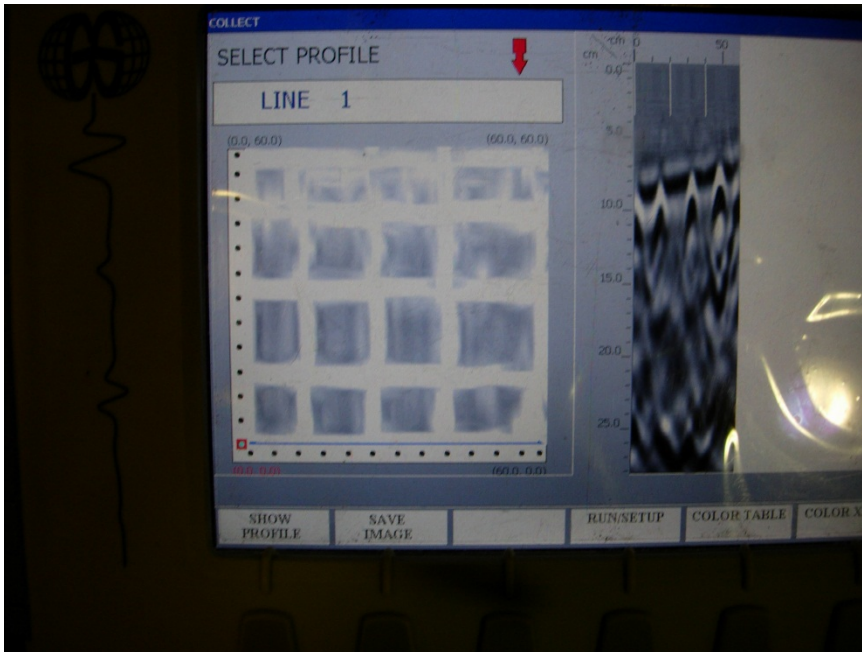
Opinnäytetyössä kohteiksi valittiin kahden eri väestönsuojan seinä niiden tiheän raudoiteverkon vuoksi. Tavoitteena oli selvittää, aiheuttaako tiheä hitsattu raudoitusverkko ongelmia maatutkalle ja pystytäänkö terästen sijainti ja betonipeitepaksuus selvittämään.

Oppilaitoksen väestönsuojan seinästä (kuva 20) pyrittiin selvittämään teräksen sijainti ja betonipeitepaksuus. Kohteessa ei voitu porata teräksen syvyyden selvittämiseksi, joten syvyyskalibrointi tehtiin visuaalisella dielektrisyiden testauksella. Seinässä oli rakennepiirustusten mukaan 150 x 150 mm:inen hitsattu teräsverkko, jonka tankovahvuus oli 12 mm.



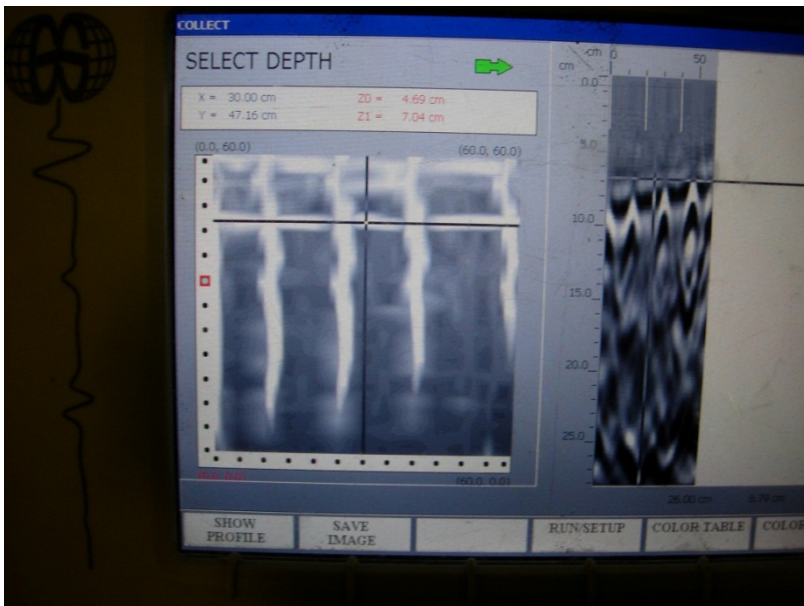
KUVA 20. Oppilaitoksen väestönsuojan seinä

Tiheä raudoiteverkko oli sopiva kohde SIR-3000-laitteiston "Structure scan" -toiminnon kokeilemiseen ja hyödyntämiseen. Laitteella tutkattiin laitteen mukana tullut 600 x 600 mm:n ruudukko, minkä jälkeen tutkitusta alueesta muodostui näytölle rakennekuva (kuva 21).



KUVA 21. Structure scan -kuva

Structure scan –profilissa voitiin liikkua syvyys suunnassa ylös ja alas, jolloin havaittiin, että alaspäin mentäessä vaakasuuntaisten terästen heijasteet alkoivat kadota ennen pystyteräksiä (kuva 22). Tämä tarkoittaa sitä, että vaakasuuntaiset teräkset olivat verkossa päällimmäisenä.



KUVA 21. Structure scan -kuva

Betonipeitepaksuus määritettiin Structure scan –kuvasta (kuva 21), josta havaitaan että verkko ei ole rakenteen sisässä aivan suorassa. Vasemmassa reunassa betonipeitepaksuus oli noin 100 mm ja oikeassa noin 80 mm. Structure scan -kuvan mukaan raudoiteverkon koko on suunnitelmissa ilmoitettu 150 x 150 mm.

Toimistorakennuksen väestönsuojan seinästä (kuva 23) pyrittiin selvittämään terästen sijainti ja betonipeitepaksuus. Kohteessa ei voitu porata teräksen syvyyden selvittämiseksi, joten tässäkin kohteessa syvyyskalibrointi tehtiin visuaalisella dielektrisyiden testauksella.



KUVA 23. Toimistorakennuksen väestönsuojan seinä

Tiheä raudoite ei häirinyt tutkan toimintaa ja pystyterästen heijasteet näkyvät todella selkeästi (kuva 24).



KUVA 24. Raudoiteverkon pystyterästen heijasteet

Toimistorakennuksen väestönsuojan betonipeitepaksuudet on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Toimistorakennuksen väestönsuojan seinän betonipeitepaksuudet

Betonipeitepaksuudet						ka
51,3	51,1	51,2	51,4	51,2	51,3	51,25

Maatutkalla voidaan määrittää helposti tutkittujen seinien kaltaisten tiheiden verkkoraudoitteiden betonipeitepaksuus sekä "Structure scan" –toiminnolla raudoiteverkon silmäkoko.

3.3 Siltarakenteet

3.3.1 Kehäjalka

Tutkimuskohteeksi valittiin **vinojalkainen kehäsilta** (kuva 25), josta oli tavoitteena määrittää reunapalkin ja kehäjalan terästen sijainti ja betonipeitepaksuus. Syvyyskalibrointi kohteessa tehtiin visuaalisella dielektrisyiden testauksella.



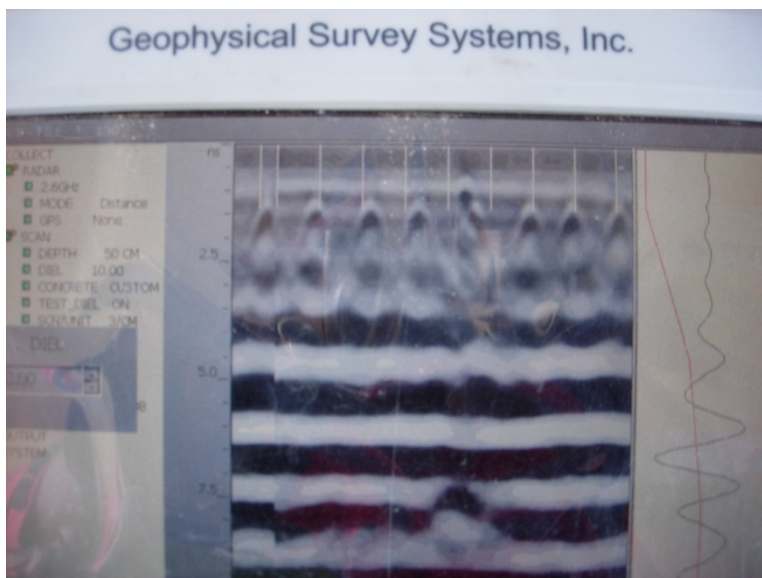
KUVA 25. Vinojalkainen kehäsilta

Sillan alta kehäjalasta (kuva 26) pyrittiin selvittämään pystysuuntaisten terästen sijainti sekä betonipeitepaksuus.



KUVA 26. Kehäjalka

Teräkset löytyivät tutkalla helposti ja huolimatta betonipeitepaksuuden suuruudesta heijasteet olivat voimakkaat ja selkeät (kuva 27).



KUVA 27. Kehäjalan pystyterästen heijasteet

Kehäjalan pystyterästen betonipeitepaksuudet on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Kehäjalan pystyterästen betonipeitepaksuudet

Betonipeitepaksuudet						Ka
88,7	89,4	90,2	89,8	92,1	94,3	90,75

Betonipeitepaksuuden tuloksia ei voitu tarkistaa avaamalla rakennetta.

3.3.2 Reunapalkki

Vinojalkaisen kehäsillan reunapalkista (kuva 28) pyrittiin selvittämään hakaterästen sijainti sekä betonipeitepaksuus hakaterästen kohdalla. Betonipeitepaksuuden tulisi olla hakaterästen kohdalla vähintään 45 mm.



KUVA 28. Reunapalkki

Tutkaus suoritettiin palkin suuntaisesti, jolloin rakenteesta heijastuivat ainoastaan kohtisuorassa tutkaus suuntaa vastaan olevien hakaterästen aiheuttamat

heijasteet, joten pitkittäisteräksset eivät häirinneet betonipeitepaksuuden tulkin-
taa. Hakaterästen betonipeitepaksuudet on esitetty taulukossa 7. Tuloksia ei
voitu tarkistaa avaamalla rakennetta.

TAULUKKO 7. Hakaterästen betonipeitepaksuus

Betonipeitepaksuudet						Ka
61,2	59,3	57,2	51,2	48,4	46,1	53,9

3.3.3 Kansilaatta

Toisena siltakohteena oli iäkkäämpi **laattasilta** (kuva 29), josta pyrittiin määrit-
tämään maatuen etumuurin, sillan kannen sekä siltapilarin pääterästen sijainnit.
Syvyyskalibrointi tehtiin visuaalisella dielektrisyiden testauksella.



KUVA 29. Laattasilta

Maatuen etumuurin (kuva 30) terästen sijainnin ja betonipeitepaksuuden määrittäminen ei onnistunut maatutkalla. Tutkausta yritettäessä tutka otti kohinamaisia häiriötä jostain ja tutkakuvasta ei saanut selvää. Koska tukijalan vieressä kansilaatassa ja siltapilarissa häiriötä ei esiintynyt, epäiltiin häiriölähteeksi jostain, mikä on tukijalan ruiskubetonoinnin alla.



KUVA 30. Maatuen etumuuri

Sillan kannen alapinnasta (kuva 31) määritettiin pituussuuntaisten terästen sijainnit ja betonipeitepaksuudet.



KUVA 31. Kannen alapinta

Kannen alapinnan sillan pituussuunnassa olevien terästen betonipeitepaksuudet on esitetty taulukossa 8. Saatuja tuloksia ei voitu tarkistaa rakennetta avaamalla.

TAULUKKO 8. Kannen alapinnan betonipeitepaksuudet

Betonipeitepaksuudet						ka
83,2	82,7	84,1	83,9	82,4	82,8	83,2

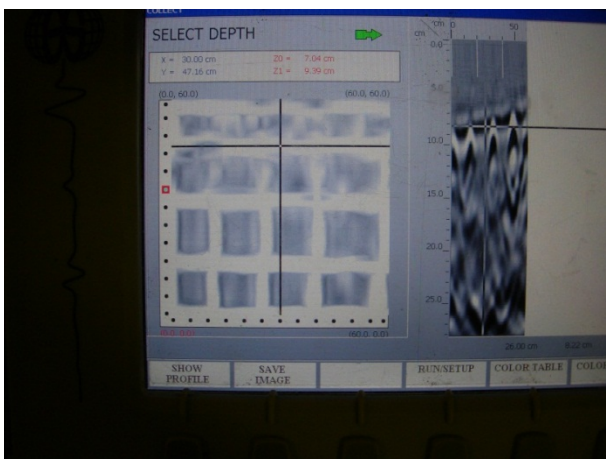
3.3.4 Pilari

Laattasillan pilarin (kuva 32) pääteräkset pyrittiin paikantamaan SIR-3000 -laitteen "Structure scan" -toiminnolla. Jotta reunimmaisekin teräkset saatiin tutkattua, kiinnitettiin pilariin puristimien avulla 12 mm:n vanerilevy. Pilarin koko oli 600 x 250 mm ja syvyyskalibrointi suoritettiin visuaalisella dielektrisyiden testauksella, koska kohteessa ei ollut mahdollista porata.



KUVA 32. Laattasillan pilari

”Structure scan” –kuvasta (kuva 33) huomataan, että teräkset eivät ole betonin sisällä suorassa linjassa. Pystyteräkset ovat vasemmassa reunassa lähempänä pintaa kuin oikeassa reunassa pilaria ja betonipeitepaksuus pilarissa on noin 100 – 80 mm.



KUVA 33. Pilarin Structure scan -kuva

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää maatumkateknologian soveltuvuutta ainetta rikkomattomiin rakennetutkimuksiin. Tutkimuksissa keskityttiin arvioimaan GSSI:n valmistaman SIR-3000-maatumkalaitteiston soveltuvuutta betoniterästen paikantamiseen rakenteista. Ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin laitteen tarkkuus betoniterästen paikantamisessa laboratorioissa sekä pyrittiin kehittämään työtapaa, jolla päästään mahdollisimman tarkkoihin tuloksiin betonipeitepaksuuden määrittämisessä. Tämän jälkeen laitetta testattiin todellisissa olosuhteissa teräsbetonisiin talo- ja siltarakenteisiin.

Tulosten perusteella maatumka soveltuu erittäin hyvin terästen sijainnin ja betonipeitepaksuuksien määrittämiseen erilaisissa betonirakenteissa. Varsinkin tutkittaessa laajojen alueiden betonipeitepaksuutta maatumka on todella nopea ja kohtuullisen tarkka menetelmä. Laitteen todettiin soveltuvan erinomaisesti seinien, pilareiden, elementtien, palkkien sekä erilaisten siltarakenteiden tutkimiseen. Ainoastaan ahtaimmissa paikoissa ja pienimmissä rakenneosissa kelkan vaatima tila saattaa estää tutkimukset. Laitteen oletusasetuksilla tehtyjen mittausten tulokset eivät olleet riittävän tarkkoja teräksien syvyyden määrittämisessä, mutta kahdella muulla syvyyden kalibroitimenetelmällä päästiin hyviin tuloksiin. Näiden kahden menetelmän tarkkuus syvyyden määrittämisessä oli tutkimuksissa lähellä toisiaan. Visuaaliseen havainnointiin perustuvalla ”Test Die1.” –menetelmällä tutkittaessa virheen mahdollisuus oli kuitenkin suurempi kuin heijasteen syvyyden manuaalisessa asettamisessa. Laitteen tarkkuutta olisi voitu arvioida vielä tarkemmin, mikäli useammassa kohteessa olisi päästy avaamaan rakenne ja tarkistamaan todellinen tilanne.

Maatumkan käyttöä olisi mielenkiintoista tutkia myös muissa kuin betonirakenteissa, esimerkiksi muuratuissa kohteissa. Taajuusanalyysin avulla maatumkalla voidaan teoriassa tutkia ja paikantaa betonirakenteissa olevien terästen korroosiota. Tulevaisuudessa maatumkan käyttö toivottavasti yleistyy Suomessa myös talonrakentamisen toimialalla ja sen hyödyntämiseksi tehdään jatkotutki-

muksia. Näin voidaan mahdollisesti välttää turhan laajoja purku- ja korjaustoi-
menpiteitä.

LÄHTEET

1. Pajakkala, Pekka 2010. Korjausrakentamisen näkymät ja rooli – miten Suomi sijoittuu kansainvälisessä vertailussa. Seminaari VTT. Saatavissa: http://www.vtt.fi/files/news/2010/korjausrakentamisen_sem/pajakkala_korjausrakentamisen_nakymat_vtt2010.pdf. Hakupäivä 5.5.2011.
2. Betonirakenteita suunniteltu jopa 1000 vuoden käyttöiälle. 2011. Betonteollisuus ry. Saatavissa: <http://www.betoni.com/fi/Tietoa+betonista/Betoni+ja+kestävä+kehitys/Betonin+käyttöikä/>. Hakupäivä 5.5.2011.
3. Saarenketo, Timo 2006. Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of Ground Penetrating Radar in traffic infrastructure surveys. Oulu: Oulun Yliopisto, Geotieteiden laitos. Väitöskirja.
4. Maijala, Pekka – Saarenketo, Timo 2004. Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatumkatutkimukset ja tulosten esitystapa. Helsinki: Tiehallinto.
5. Kerkelä, Simo 1992. Dielektrisyysarvo ja teiden rakennekerrosten mittaaminen maatumkalla. Oulu: Oulun Yliopisto, Geotieteiden laitos. Laboratorion julkaisu.
6. Maijala, Pekka – Saarenketo, Timo 2000. Johdanto maatumkamenetelmän historiaan, fysikaalisiin perusteisiin ja sovelluksiin. Kuopio: Maatumkarengas ry. 10 v. seminaarijulkaisu.
7. Passi, Tuomo 2007. Maatumkan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnon arvioinnissa. Helsinki: Ratahallintokeskus.
8. Saarenketo, Timo 2010. T532003 Ympäristöfysiikka 3 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

9. Tutkakuva betonilattiasta. 2012. Saatavissa:
<http://subsurfaceimaging.net/wp-content/uploads/2010/04/floor-slab.jpg>.
Hakupäivä 10.4.2012.
10. Petäjäjärvi, Petri 2011. Korjaus- ja tutkimusyksikön päällikkö, WSP Finland Oy. Keskustelu 3.5.2011.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.