

**Maatutkaluotaukset Naantalin kirkon  
ympäristössä**

**Reijo Pitkäranta  
Timo Salmi**

**Turun yliopisto  
Geologian laitos  
Maaperägeologian osasto  
1999**

## **Maatutkaluotauksen toteutus**

Turun yliopiston maaperägeologian osasto teki Naantalın kaupungin tilauksesta maatutkaluotauksia Naantalın kirkon etelä- ja länsiseinustoilla 26. 11. 1998. Luotausten tarkoituksena oli paikallistaa vanhoja luostarin muurin jäänteitä kirkon välittömässä läheisyydessä. Seinustojen vierellä tehdyt luotaukset tehtiin varsin tiheänä (1 x 2 m) verkostona. Linjoja tehtiin 32 kappaletta ja niiden yhteispituudeksi tuli noin 550 m. Sen lisäksi tehtiin kaksi pidempää (35 ja 58 m) koeluontoista linjaa kirkon pohjoispuolella.

Luotaukset tehtiin RAMAC/GPR -maatutkalla käyttäen 500 MHz:n antennia. Kyseinen antenni on sopiva suhteellisen lähellä maanpintaa olevien kohteiden tutkimiseen (syvyysulottuvuus materiaalista riippuen 1 - 5 m). Luotauslinjojen tarkat paikat mitattiin mittanauhalla ja käsisuuntakehällä. Tutkaan liitetty lankamittari mittasi linjojen kulkumatkan. Tulokset tallentuivat tutkaan liitettyyn tietokoneeseen, jonka kuvaruudulta tehtiin varsinainen tulkinta. Ristikkäin ajettujen linjojen tulkinnat siirrettiin pintamalliohjelmaan (Vertical Mapper), jonka avulla tulkitut pinnat tulevat havainnollisemmin esille.

Tässä raportissa on esitetty luotausten tulkinnat muutamien pintamallikuvin. Mukana on jokunen esimerkkikuva maatutkaprofiileista. Tulosten tulkinnassa on tärkeää ottaa huomioon maatutkaluotaukseen liittyvät epävarmuustekijät.

## **Maatutkaluotauksen periaatteesta**

Maatutkaluotaus on geofysikaalinen tutkimusmenetelmä, joka perustuu tutkittavan väliaineen (maa- ja kallioperä, ihmisten tekemät rakenteet) sähköisiin ominaisuuksiin. Luotauksessa tutkalaitteen lähetinantennilla lähetetään maankamaraan sähkömagneettisia siniaaltomuotoisia lyhytkestoisia pulsseja radiotaajuudella. Aallot heijastuvat väliaineen rajapinnoilta tai yksittäisestä kohteesta, ja heijastuneen aallon kulku-aika ja amplitudi mitataan vastaanotinantennilla. Mittaustulos siirtyy tutkalaitteen keskusyksikön kautta tietokoneelle, jossa tulos tulee näyttöön näkyville. Tutkan liikkuessa mittaus toistuu niin tiheästi, että saadaan jatkuva profiili tutkittavasta väliaineesta. Tulkinta tehdään suoraan näytöltä tai erillisestä paperitulosteesta.

Aaltojen etenemisnopeus, taittuminen, heijastuminen ja vaimeneminen riippuvat väliaineen dielektrisyydestä, susceptibiliteetista ja sähkönjohtavuudesta. Nämä sähköiset ominaisuudet ovat paljolti riippuvaisia maaperän huokoisuuden ja huokosissa olevan veden määrästä, koska vesi on sähköä johtavaa. Huokoisuus vaihtelee eri maalajeissa ja materiaaleissa, joten

tutkalla voidaan saada aikaan erilaisia rajapintoja, joiden perusteella näitä materiaaleja voidaan erotella toisistaan.

Tutka-aallon vaimeneminen on voimakkainta runsaasti hienoinesta sisältävissä lajitteissa (hyvä sähkönjohtavuus). Kivennäismaalajeista tutka soveltuu parhaiten karkeisiin maalajeihin (keskikarkea hiekka ja sitä karkeammat). Kivisessä ja lohkaraisessa maaperässä tutkakuvaan tulee runsaasti hajaheijastuksia, mikä vähentää syvyysulottuvuutta ja vaikeuttaa tulkintaa. Savessa tunkeutuvuus on useimmiten alle kaksi metriä. Maatutka antaa tietoa myös kallioperän rikkonaisuudesta. Tutkalla voidaan havaita myös ihmisten tekemiä rakenteita, kuten kaapeleita, tierakenteita, perustuksia ja yleensä materiaalia, joka poikkeaa sähköisiltä ominaisuuksiltaan ympäristöstä.

Tällä hetkellä Turun yliopiston geologian laitoksen tutkikalustoon kuuluu vain yksi antennivaihtoehto, 500 MHz (tässä mallissa lähetin- ja vastaanotinantenni on rakennettu samoihin kuoriin). Tämä antenni soveltuu hyvin maankamaran pintaosien tutkimuksiin (alle 6 metrin syvyyteen karkeassa aineksessa, kosteassa savessa ja siltissä vain noin puoli metriä). Puutteena siis on suhteellisen pieni syvyysulottuvuus, mutta etuna taas on sen hyvä erotuskyky (jopa 5 cm:n yksityiskohdat voivat näkyä). Ihmisten tekemiin rakenteisiin ja arkeologisiin tutkimuksiin 500 MHz:n antenni sopii siis hyvin.

Koska maatutkaluotaus perustuu ensisijaisesti tutkittavan materiaalin sähköisiin ominaisuuksiin (ja nimenomaan niiden muutoksiin), saadaan rajapintoja tai kohteita näkyviin vain, jos eri sähköisen ominaisuuden omaavat kohteet ovat tarpeeksi isoja, pinnoiltaan yhtenäisiä ja erot sähköisissä ominaisuuksissa ympäröivään materiaaleihin verrattuna ovat tarpeeksi suuria. Jos tutkittava kohde on pinnaltaan epäyhtenäinen ja ympäröivä materiaali epähomogeenista, kohteen havaitseminen voi olla vaikeaa. Näin voi esimerkiksi rikkonaisen muurin erottaminen tiilen kappaleita ja kiviä sisältävästä maa-aineksesta tuottaa vaikeuksia. Tekemällä useita vierekkäisiä ja ristikkäisiä linjoja voidaan yhtenäiset kohteet helpommin saada esiin.

## **Maatutkaluotausten tulkinta ja tulokset**

Koska tutkittavat muurin jäännökset ovat ilmeisesti osittain epähomogeenisella täyttömaalla peitettyjä, on niiden erottaminen tutkaprofiililta vaikeaa. Profiileissa näkyi paikoin useita epäyhtenäisiä rajapintoja. Yksittäisistä profiileista ei juurikaan voinut erottaa selkeitä ihmisen tekemiä rakenteita (kuvat 2 - 5). Vasta kun tulkittiin vierekkäin ja ristikkäin tehdyt linjat ja siirrettiin tiedot pintamalliohjelmaan interpoloitavaksi, saatiin yhtenäisiä muotoja esiin (kuvat 6 - 9). Tuloksesta on sikäli epävarmuutta, että kaikkia itä-länsisuunnassa mitattujen linjojen rajapintoja ei ollut erotettavissa pohjois-eteläsuuntaisissa linjoissa ja päin

vastoin. Kaikkia epävarmoja rajapintoja ei otettu huomioon interpoloinnissa. Toisaalta pintamallikuvissa näkyvät yksittäiset pienet monttu- ja kohoumakuviot (neliömäisiä) johtuvat eri suuntiin ajettujen linjojen ristiriitaisista tulkinnoista.

Pintamalleissa on tulkittu vain ylimmät havaitut rajapinnat. Joissakin profiileissa oli kuitenkin vaikeuksia valita "oikea" rajapinta. Esimerkiksi kirkon eteläpuolen luotauksissa linjojen alussa (linjaston koillisnurkka) on noin 3,5 metrin matkalla nähtävissä kaksi pintaa, toinen aivan pinnassa 0,2 metrin syvyydellä ja toinen n. 1,2 metrissä (kuvat 6 ja 7). Pintamallissa huomioon on tässä tapauksessa otettu vain alempi pinta, koska se oli pinnoista yhtenäisempi ja näkyvissä kaikissa profiileissa. Ylemmän rajapinnan aiheuttaja on epäselvä, mutta lähellä maanpintaa olevana helposti kaivamalla tarkistettavissa. Vastaavasti kaksi pintaa (0,2 ja 1,3 metrin syvyydellä) on havaittavissa kirkon länsiosan luotausten koillisnurkassa (välillä 0 - 5 m). Joissakin profiileissa korostuneena rajapintana saattaa erottua muurin yläpinta, joissakin alapinta tai jokin muu rakenne. Siksi tulkittuihin tuloksiin täytyy suhtautua pienellä varauksella.

Myös kalliopinnan läheisyys vaikeuttaa tulkintaa, niin että paikoin ylin, selvin rajapinta onkin peräisin mahdollisesti kalliosta eikä ihmisen tekemistä muodoista, jotka ovat paikoin heikosti erotettavissa. Kallion pinta on aivan kirkon vieressä 1 - 1,7 metrin syvyydessä ja kauempana alle metrissä (enimmäkseen 0,2 - 0,6 m). Kallio on myös paljastuneena kirkon etelä- ja länsipuolella.

Kuvissa 2 - 5 esitetyissä profiileissa syvyysmittakaava ei välttämättä ole aivan oikea. Syvyysmittakaava määräytyy siitä, miten nopeasti sähkömagneettinen aalto etenee ko. aineessa. Sähkömagneettisen aallon kulkuajat eri väliaineissa saadaan kirjallisuudesta tai ne voidaan mitata, jos tunnetulla syvyydellä on jokin profiilissa näkyvä rajapinta. Tässä tapauksessa väliaineen laatua ei tarkoin tunnettu, eikä selkeästi tunnetulla syvyydellä olevaa rajapintaakaan havaittu. Niinpä tutka-aallon nopeutena on käytetty keskimääräistä arvoa 100 m/ $\mu$ s. Arvo ei ilmeisesti paljoakaan poikkea todellisesta, mutta saattaa olla jonkin verran liian pieni. Profiileissa näkyvät syvyydet voivat olla 10 - 30 % ilmoitettua suuremmat. Metrin syvyydellä virhe olisi siis enimmillään noin 30 cm, ja pintaosassa (20 - 30 cm:n syvyydellä) näkyvät rajapinnat olisivat siten noin 6 - 9 cm kuvissa ilmoitettuja syvemmällä. Hyvin monet muureiksi tulkitut pinnat ovat vain muutaman kymmenen senttimetrin syvyydellä.

Kahdessa pidemmässä, koeluontoisessa linjassa kirkon pohjoispuolella ei juurikaan voi erottaa mitään selkeitä muotoja (kuva 5). Rajapintoja on kyllä näkyvissä, mutta yksittäisten linjojen perusteella ei tulkinta ole mahdollinen. Jotta muotoja saataisiin esiin, pitäisi ajaa useita vierekkäisiä linjoja ja siirtää tulkitut pinnat interpoloitavaksi pintamalliohjelmaan, kuten edellä on esitetty (ks. kuvat 6 - 9).

## LIITEKUVAT

**Kuva 1.** Naantalin kirkon ympäristössä tehdyt maatulkualueet.

**Kuva 2.** Esimerkki itä-länsisuuntaan tehdystä maatulkualueen profiilista kirkon eteläseinän tutka-alueen koillisnurkasta.

**Kuva 3.** Maatulkualueen pohjois-eteläsuuntaan tehdystä luotauksesta myös kirkon eteläseinän tutka-alueen koillisnurkasta.

**Kuva 4.** Maatulkualueen kirkon länsipäädyt itä-länsisuuntaisesta luotauksesta.

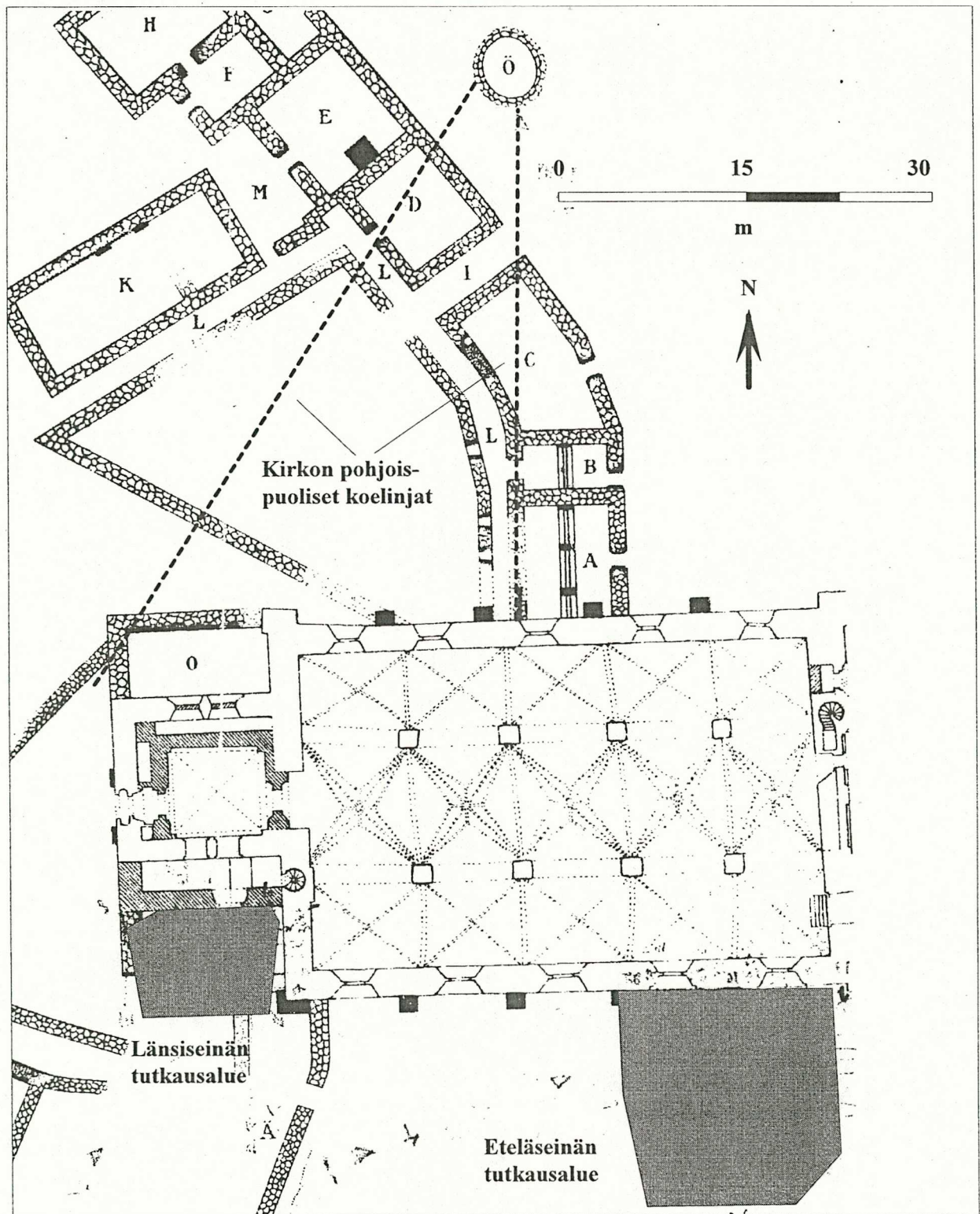
**Kuva 5.** Maatulkualueen kirkon pohjoispuolella tehdystä luotauksesta.

**Kuva 6.** Vertical Mapperilla tehty viistovarjostettu pintamallikuva tulkituista luotauksista kirkon eteläseinältä.

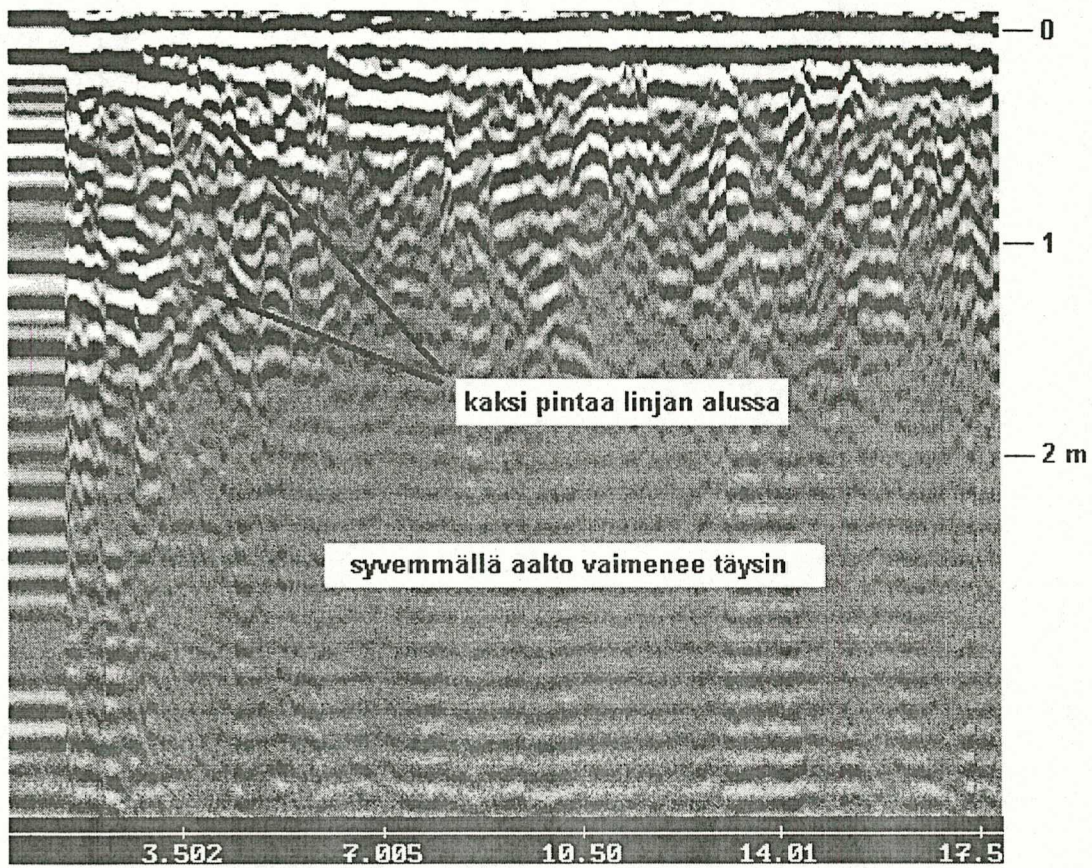
**Kuva 7.** Tulkituista luotauksista perusteella interpoloitu (kolmiointimenetelmä) syvyyskäyrä kirkon eteläseinältä.

**Kuva 8.** Viistovarjostettu pintamallikuva tulkituista luotauksista kirkon länsiseinältä.

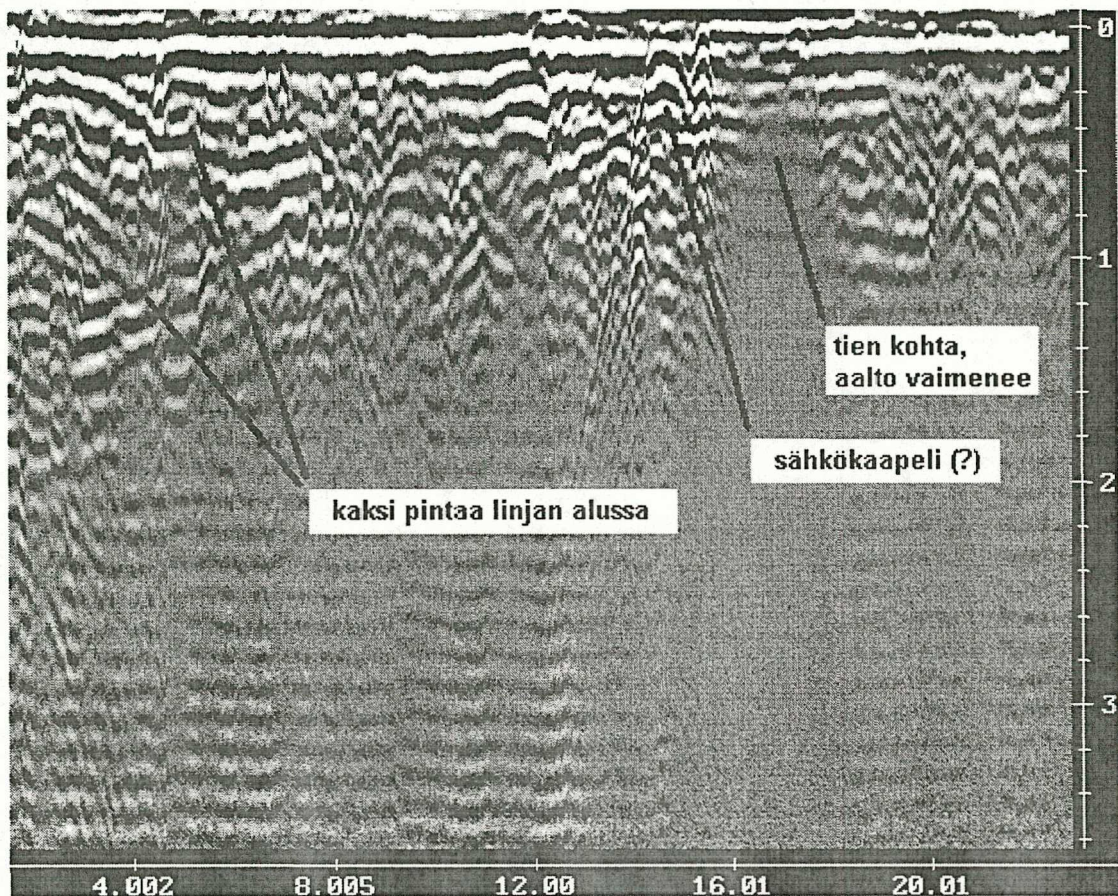
**Kuva 9.** Vertical Mapperilla tehty käyrä kirkon länsiseinän luotauksista.



**Kuva 1.** Naantalin kirkon ympäristössä tehdyt maatulvaluotaukset. Kirkon etelä- ja länsiseinustoilla tehdyt tiheät linjastot (yhteensä 30 linjaa) on merkitty harmaalla varjostuksella.

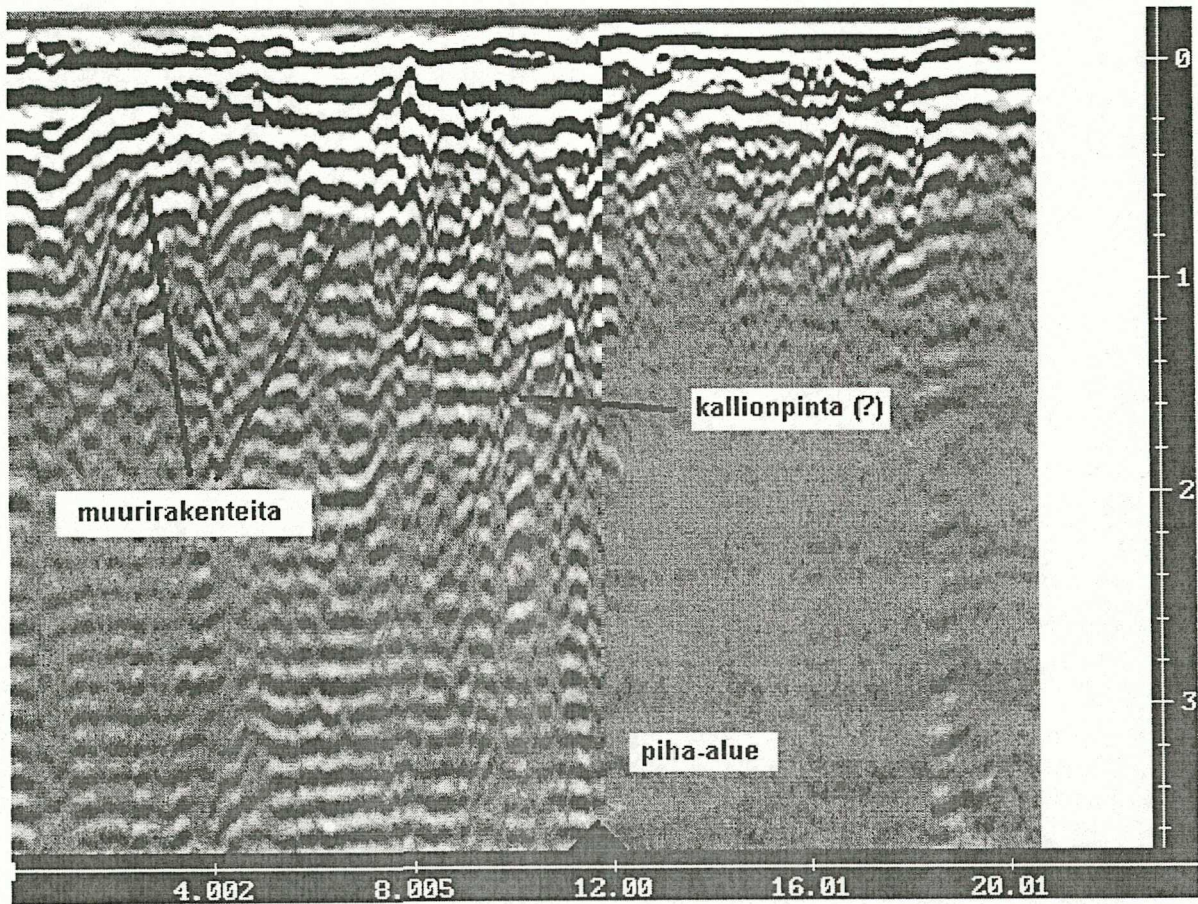


**Kuva 2.** Esimerkkikuva itä-länsisuuntaan tehdyn maatutkaluotauksen profiilista kirkon eteläseinän tutka-alueen koillisnurkasta (ks. kuva 1). Profiililla näkyvät rajapinnat ovat varsin hajanaisia ja epäjatkuvia. Linjan alussa on nähtävissä kaksi selvää rajapintaa, joista pintamalliin on huomioitu alempi pinta. Syvemmällä aalto vaimenee kalliioon (1 - 1,5 metrin syvyydellä).

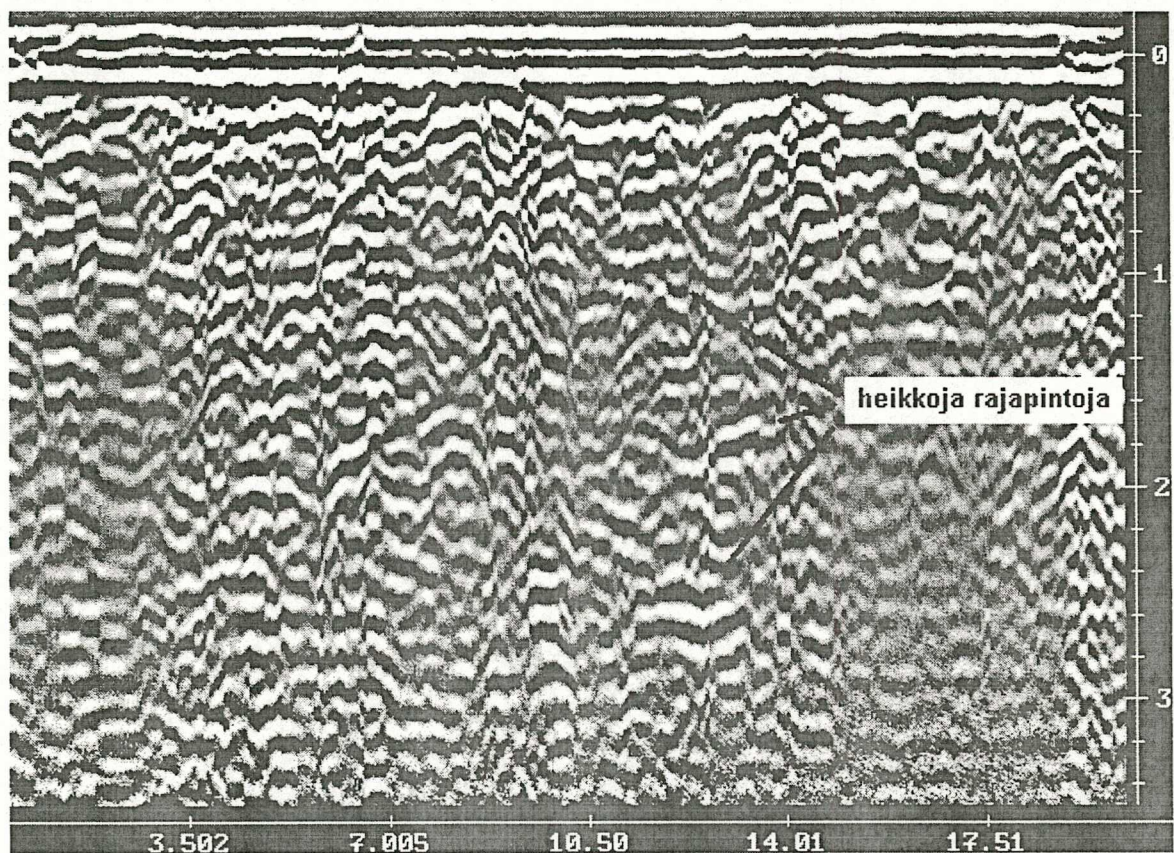


**Kuva 3.** Esimerkkikuva pohjois-eteläsuuntaisesta maatulka- ja maanrakennusprofiilista kirkon eteläseinän tutka-alueen koillisnurkasta. Myös tässä näkyy linjan alussa kaksi rajapintaa. On huomattava, että maan pinta laskee linjalla 1,4 metriä, joten profiililla näkyvät rajapintojen kaltevuudet eivät vastaa todellisia kaltevuuksia. Alempi rajapinta on todellisuudessa suurin piirtein vaakatasossa, joten se voisi olla ihmisen tekemä rakenne. Tien kohdalla on ilmeisesti käytetty liukkauden torjuntaan suolaa, mikä vaimentaa tutka-aallon täysin.

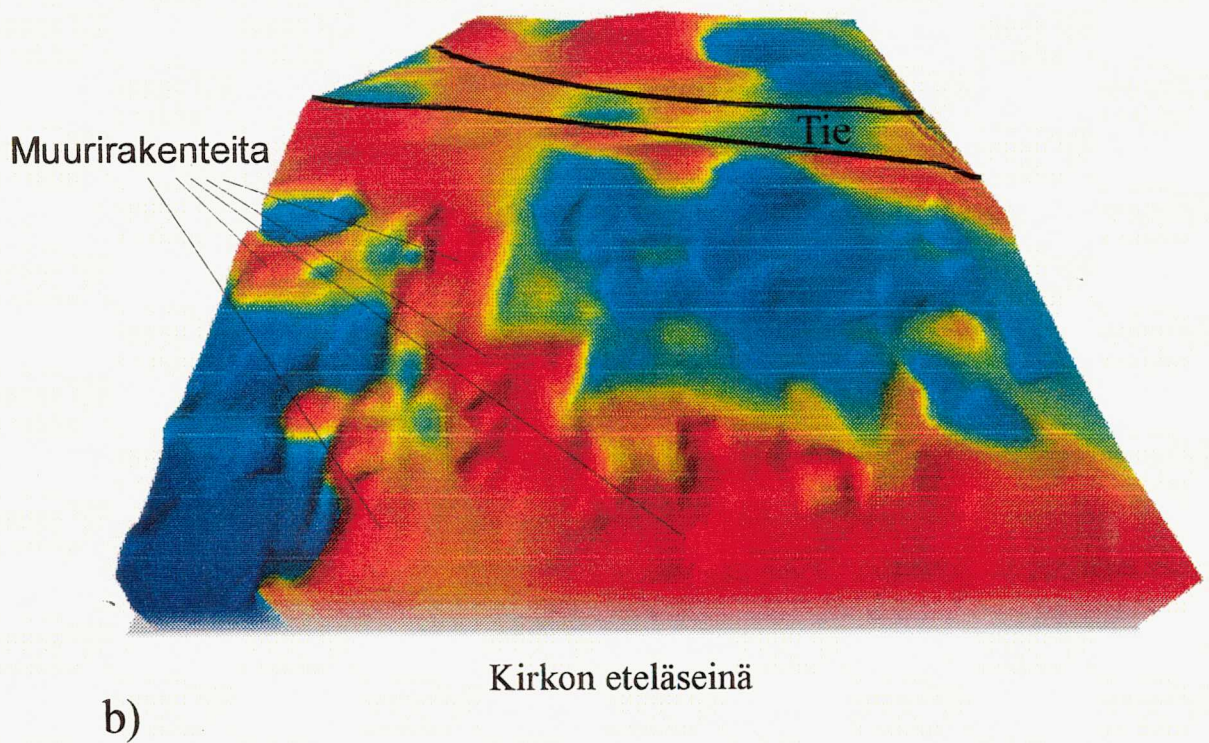
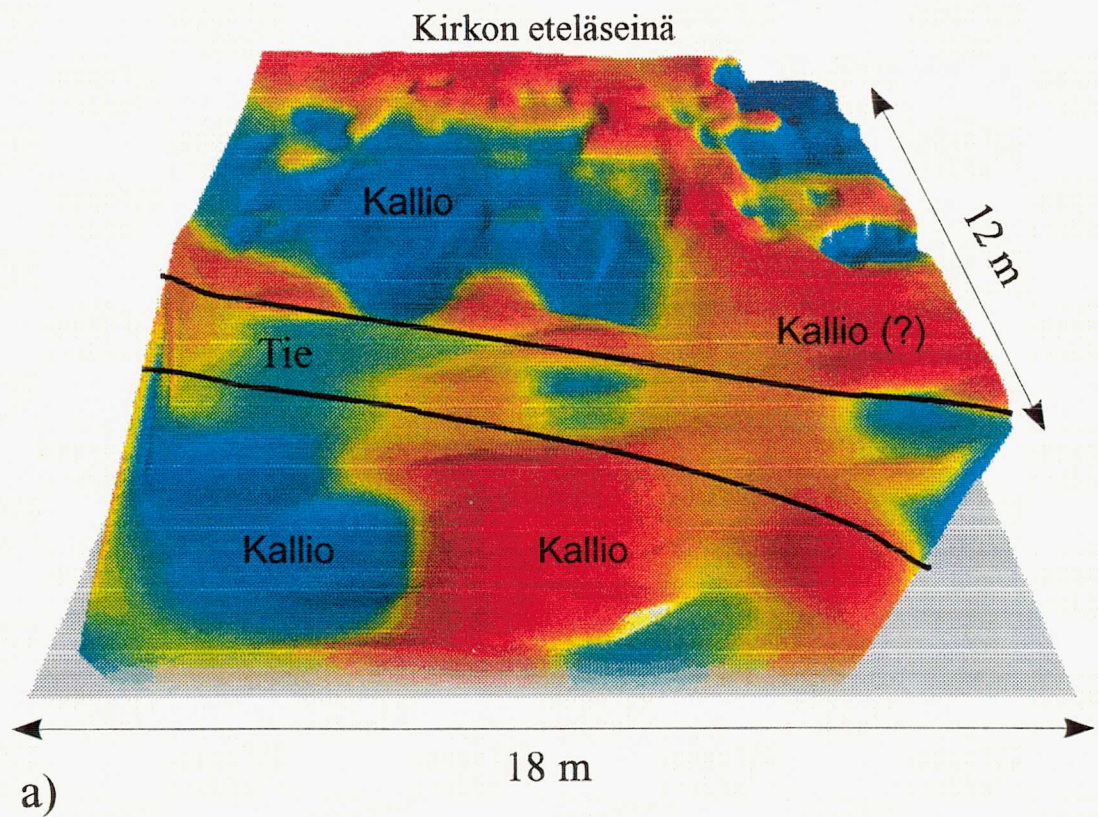




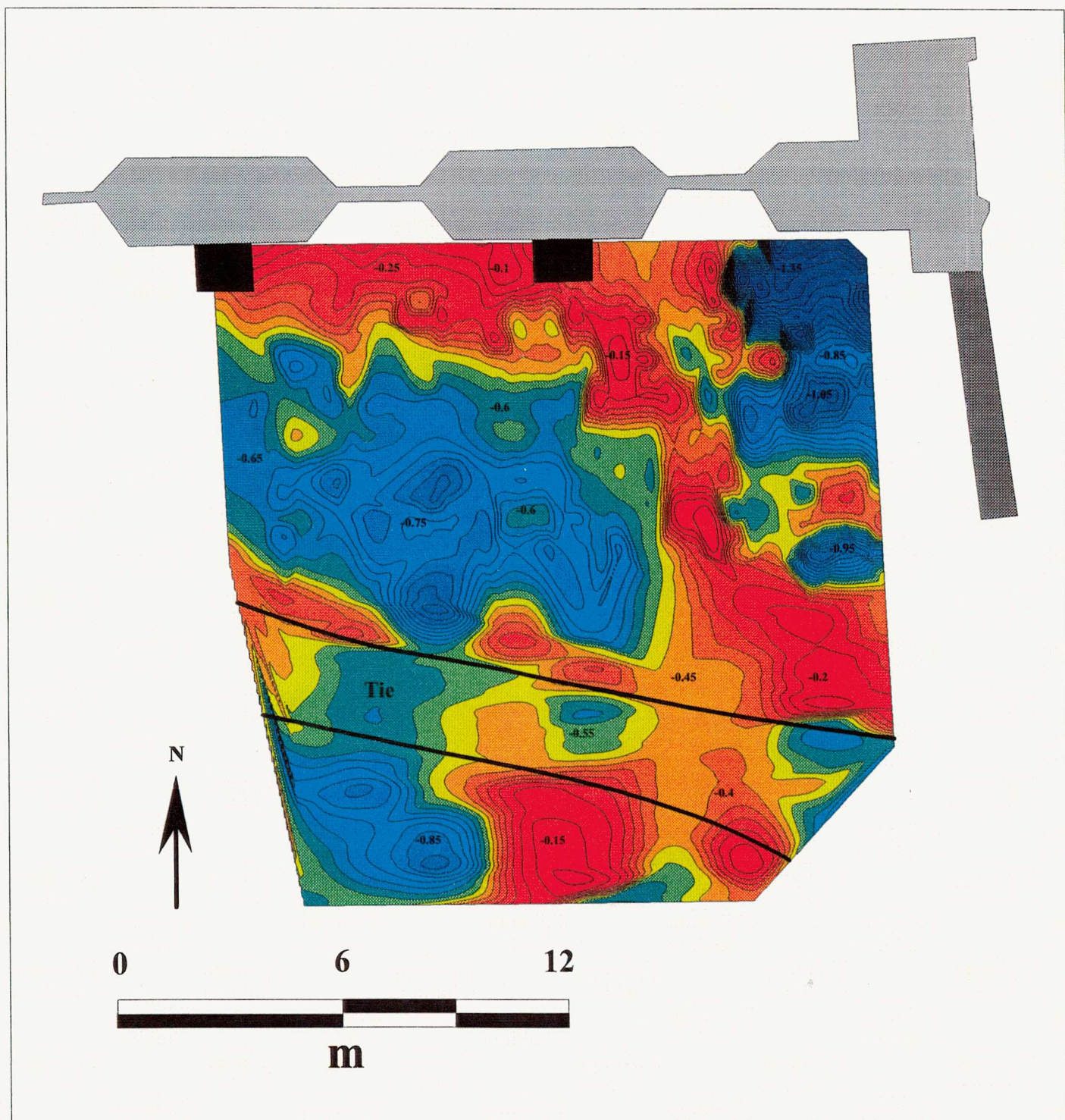
**Kuva 4.** Maatutkaprofiili kirkon länsipäädyn itä-länsisuuntaisesta luotauksesta. Länsiseinän tutka-alueen profiileista "oikean" rajapinnan havaitseminen tuotti vaikeuksia. Piha-alueella liukkauden torjuntaan käytetty suola vaimentaa tutka-aallon.



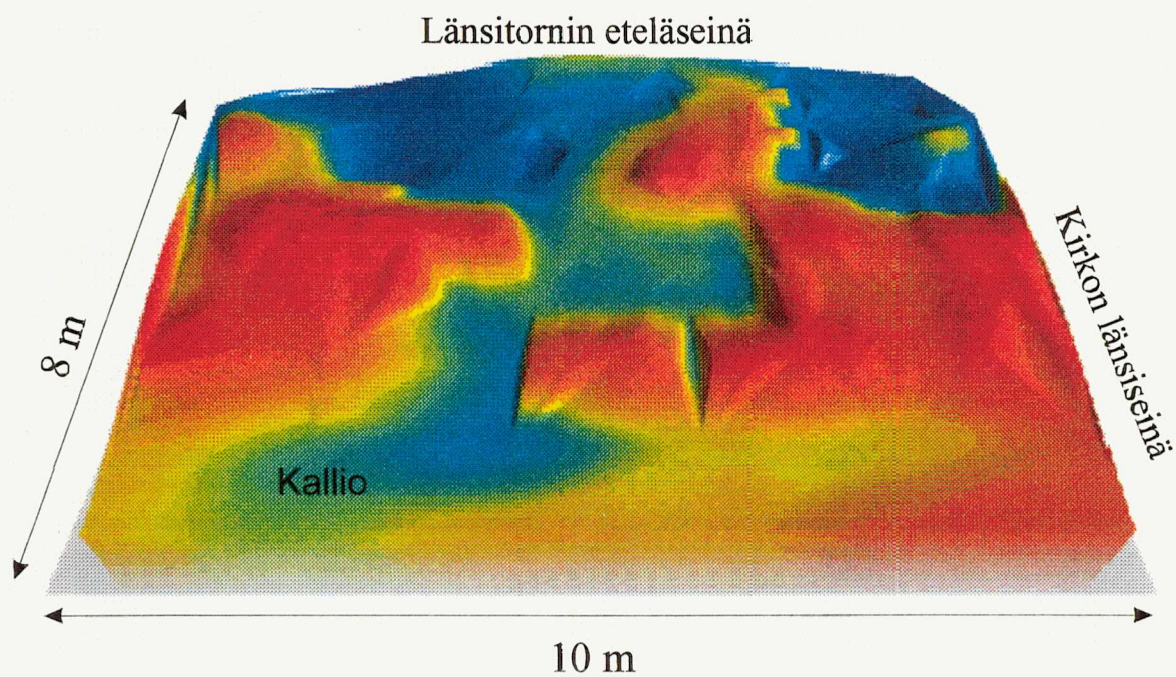
**Kuva 5.** Maatutkaprofiili kirkon pohjoispuolella tehdystä luotauksesta. Yhtenäisiä muotoja ei ole erotettavissa. Kallio on mahdollisesti yli 3 metrin syvyydellä.



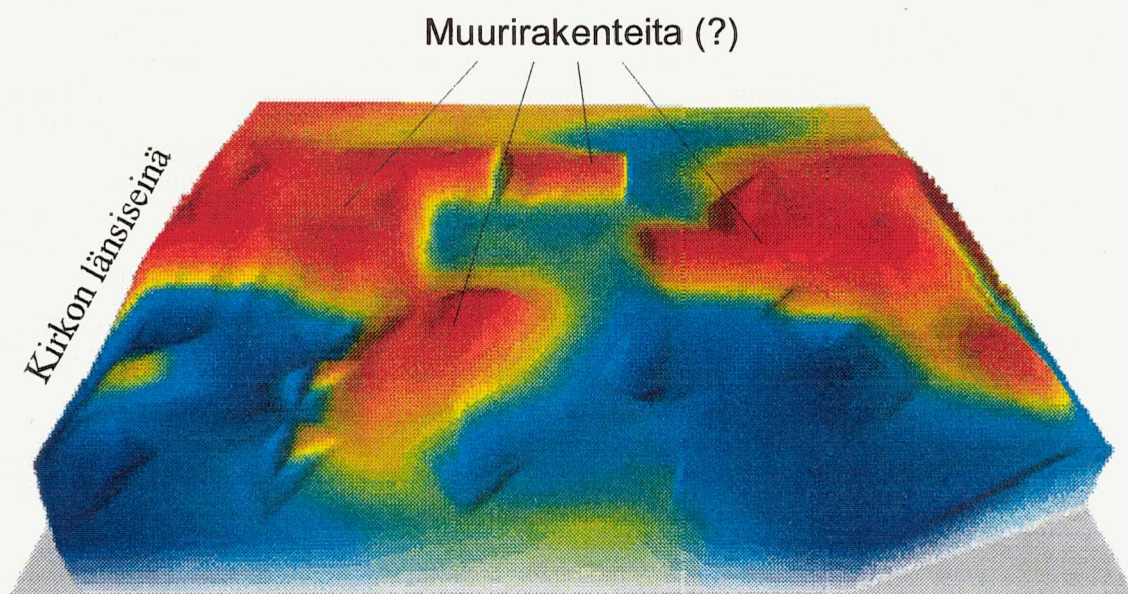
**Kuva 6.** Vertical Mapperilla tehty viistovarjostettu pintamallikuva tulkituista luotausprofiileista kirkon eteläseinältä. a) Näkymä pohjoisen suuntaan. Symmetriset kuviot (suoria linjoja, suorat kulmat) viittaavat ihmisten tekemiin rakenteisiin. Alueen länsiosassa ja tien eteläpuolella ei näyttäisi olevan muurinjäänteitä, vaan tulkitut pinnat ovat ilmeisesti kallionpintaa. b) Sama kuva kuin a-kohdassa katsottuna etelän suuntaan.



**Kuva 7.** Vertical Mapperilla interpoloitu käyrästä kirkon eteläseinän luotauksista. Kuvaan on merkitty joitakin havaittujen rajapintojen syvyysarvoja (sinisemmät syvemällä, punaiset lähempänä pintaa). Merkityt syvyysarvot saattavat olla 10 - 30 % todellista pienempiä.



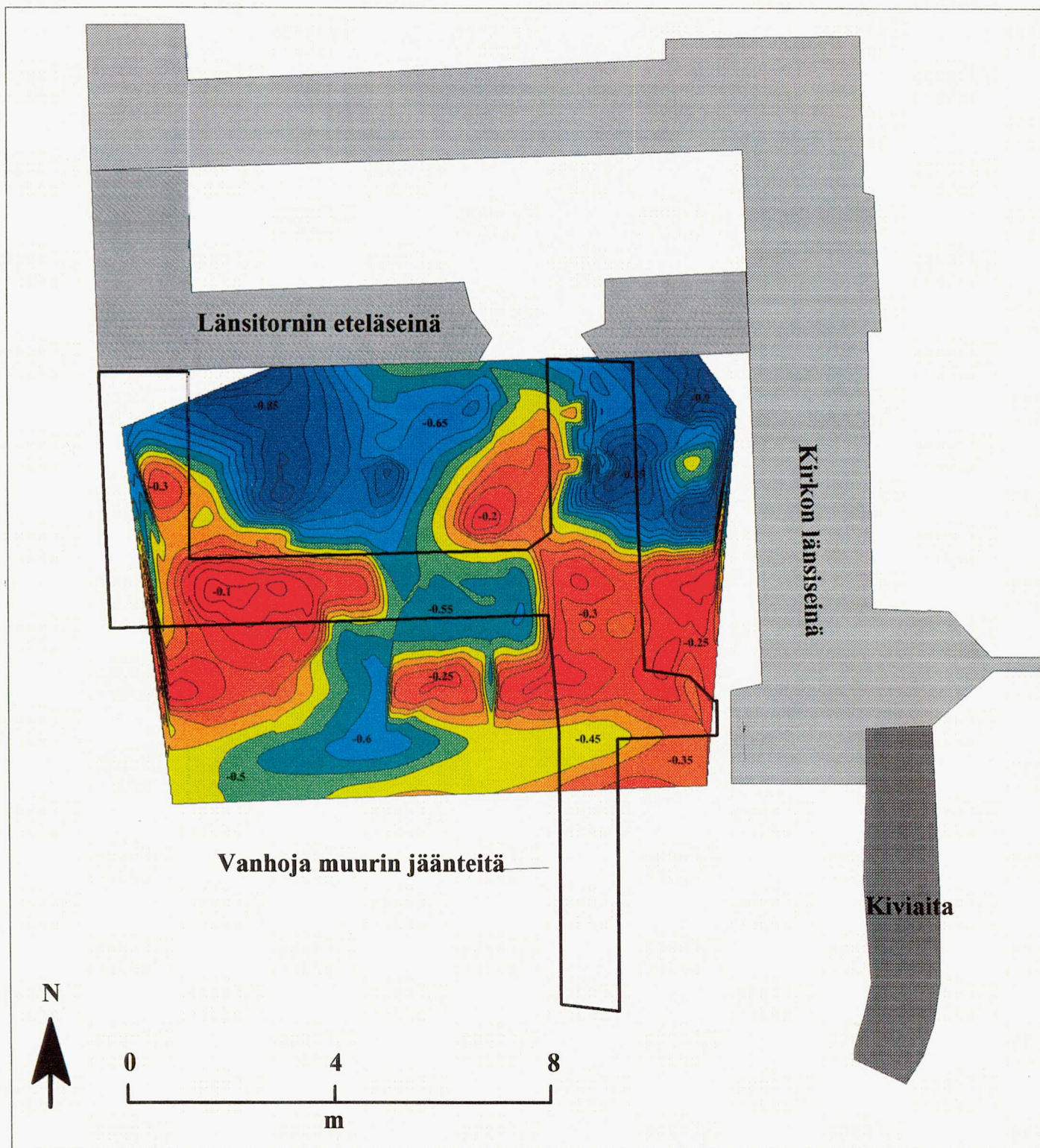
a)



b)

Länsitornin eteläseinä

**Kuva 8.** Viistovarjostettu pintamallikuva tulkituista luotausprofiileista kirkon länsiseinältä. a) Näkymä pohjoisen suuntaan. b) Näkymä etelän suuntaan.



**Kuva 9.** Tulkittujen luotausprofiilien perusteella interpoloitu syvyyskäyrästä kirkon länsiseinaltä. Tulkinta on hieman ristiriitainen kaivannoista tehtyjen havaintojen kanssa. Joissakin kohdissa muurien ylärajapinta ei ole ollut erotettavissa maatulka-  
 profiileissa, vaan tulkinnassa on huomioitu muurin alapinta tai jokin muu rajapinta. Syvyysarvot saattavat poiketa hieman todellisista arvoista, kuten kuvassa 7.