

# SEISMISTEN LUOTAUSMENETELMIEN SOVELTUVUUS METSÄ-AUTOTEIDEN POHJATUTKIMUKSIIN

MARTTI SAARILAHTI

## SUMMARY:

### SEISMIC SURVEY METHODS IN FOREST ROAD CONSTRUCTION

Saapunut toimitukselle 1978-03-20

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää seismisten luotainten teknistä ja taloudellista soveltuvuutta metsäautoteiden pohjatutkimuksiin. Tätä varten kokeiltiin kahta seismografiaa, SOIL-TEST MD-1 ja BISON 1570, 31 leikkauksen ja kolmen sora-alueen maaperätutkimuksissa.

Laitteet ovat maastokelpoisia ja niillä voidaan useimmiten riittävän tarkasti selvittää irto- maakerrosten tiiviys ja paksuudet. Laitteista tarkempi on summaavalla kuvaputkinäytöllä varustettu malli. Tällä laitteella, jonka hankintahinta on 17 000,— mk, voidaan päivässä luodata n. 10 kohdetta. Yhden pisteen luotaus maksaa n. 75,— mk. Laitteen tuoma hyöty on suurin alueilla, joissa kallio satunnaisesti nousee leikkaussyvyYTEEN.

Laite kannattaa hankkia jos keskimäärin vuodessa on sattunut odottamattomia kallioonosuuksia, joiden aiheuttamat lisäkustannukset ovat oheisen asetelman mukaisia arvoja korkeammat:

Keskimääräinen lisäkustannus, mk	1 000	2 000	3 000	4 000
Odottamaton kallio, kertaa	7	3	2	1

## 1. JOHDANTO

Pohjatutkimukset eivät kustannustekijöinä ole avainasemassa metsäautoteiden rakentamisessa. Kustannusten nopea nousu pakottaa kuitenkin etsimään uusia menetelmiä, joilla suunnittelua voidaan tehostaa. Ennakkoinformaation laatu ja määrä vaikuttavat merkittävästi tiehankkeen toteuttamisen kustannuksiin. Muussa maanrakennustoiminnassa suunnittelun apuna on käytössä menetelmiä, jotka näyttäisivät käyttökelpoisilta myös metsäautotiesuunnittelussa. Tämän tutkimuksen tehtäväksi asetettiin

selvittää seismisten luotausmenetelmien tekninen ja taloudellinen soveltuvuus metsäautotierakennuksen pohjatutkimuksiin.

Tarvittavat pohjatutkimukset voidaan jakaa kolmeen ryhmään tuloksille asetettavien vaatimusten mukaan (Metsäteiden ... 1970):

1. leikkaukset
2. rakennusmateriaalin ottopaikat
3. siltapaikkatutkimukset

Leikkauksissa on tavoitteena selvittää leikkauksen kaivu vaikeusluokka sekä onko

suunnitellun leikkaussyvyyden yläpuolella kalliota. Tämä tutkitaan koekuopin tai kairauksin.

Metsäautotie pyritään yleensä linjaamaan siten, että vältytään suurilta leikkauksilta. Leikkaussyvytydet ovat yleensä matalia 1...2 m ja käytännön maksimisyvyys on 3...4 m. Kallion paljastuminen leikkauksessa tietää kustannusten nousua. Suunnittelussa tapahtunut virhe voidaan korjata joko louhimalla kallio tai nostamalla tasausviivaa.

Mikäli leikkauksesta saatavaa materiaalia aiotaan käyttää tien päällysrakenteeseen, on leikkaus tutkittava kohdan 2 mukaan.

**Rakennusmateriaalin ottopaikat.** Massojen siirtokustannusten minimoimiseksi olisi suoritettava rakennusmateriaalin inventointi tiealueen läheisyydessä. Rakennusmateriaaliksi kelpaavista kerroksista on riittävän koekuoppaverkoston avulla selvittävä materiaalikerrosten laatu ja syvyys.

Rakennusmateriaalin ottopaikkojen etsintä tulisi suorittaa tehokkaasti, jotta pysyttäisiin taloudellisten kuljetusmatkojen puitteissa. Mikäli ottopaikkojen etsintään ei kiinnitetä riittävästi huomiota, saattaa pieni, lähellä oleva materiaalikerrostuma jäädä

käyttöön ottamatta. Mikäli taas löydetty massamäärä arvioidaan todellista suuremmaksi, saatetaan joutua ajattamaan lisämateriaalia muualta, jolloin kustannukset kohoavat arvioiduista.

**Siltapaikkatutkimuksissa** selvitetään pohjamaan laadun ja tiiviyyden perusteella pohjamaan kantavuus sopivan perustamistavan valitsemiseksi. Tällöin pohjatutkimukset tehdään kairauksen avulla.

Siltapaikkatutkimukset on suoritettava huolella, sillä virheelliset kantavuusarviot saattavat johtaa suuriinkin taloudellisiin menetyksiin siltojen korkeiden rakennuskustannusten vuoksi.

Koekuoppien kaivaminen lapiotyönä on työvoimaa vaativa, työläs ja kustannuksia huomattavasti lisäävä menetelmä. Painokairauslaitteet soveltuvat huonosti maastotutkimuksiin niiden raskauden vuoksi. Myös koetintangot koetaan työläisinä. Niinpä käytännössä 1 ja 2 kohtien pohjatutkimus jää usein suunnittelijan silmävaraisen arvion varaan, jolloin tulosten luotettavuus perustuu arvioijan kokemukseen ja onneen. Joskus rakennusmateriaalin tutkimiseksi tarvittavat koekuopat kaivetaan työmaan alkaessa kaivurilla.

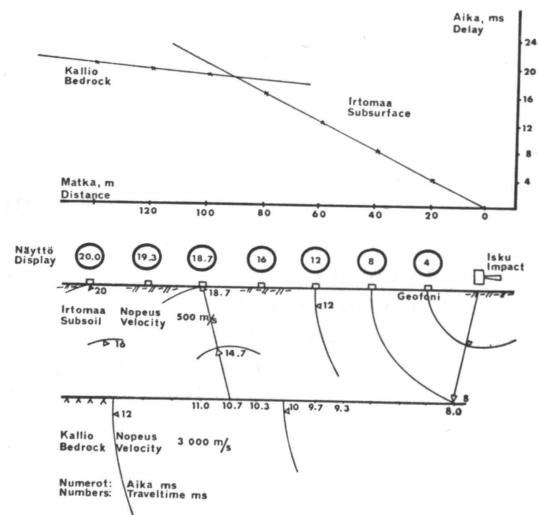
## 2. SEISMISET LUOTAUSMENETELMÄT JA KALUSTO

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa tarkastellaan seismisiä luotausmenetelmiä ja niiden teknistä soveltuvuutta metsäauto-ten suunnitteluun.

Maastomittaukset ja tulosten tulkinnan on suorittanut tekn. yo. Pertti Hassinen. Tutkimuksissa käytetyt laitteet on saatu lainaksi Helsingin yliopiston seismologian laitokselta ja Teknillisen korkeakoulun vuoriteollisuusosastolta. Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet professorit Matti Keltikangas ja Kalle Putkisto. Apulaisprofessori Rihko Haarlaa on suorittanut tarpeelliset käännökset englanniksi. Maastotyöt on suoritettu Suomen luonnonvarain tutkimussäätiön myöntämän apurahan turvin.

### 21. Menetelmän periaate

Pintaseismisen refraktioluotauksen periaate esitetään kuvassa 1.



Kuva 1. Seismisen refraktioluotauksen periaate  
Fig 1. The principle of seismic survey

Homogeenisen irtomaakerroksen alla on kallio. Irtomaassa seismisen aallon nopeudeksi oletetaan 500 m/s ja pohjakalliossa 3 000 m/s. Seisminen aalto synnytetään pisteessä A, ja sen saapumisaikoja rekisteröidään luotauslinjalle 20 m välein asetettujen geofonien avulla. Ensimmäiseen geofoniin saapuu ensimmäisenä pintakerroksessa suoraan kulkenut aalto 4:ssä millisekunnissa. 40 m etäisyydellä olevaan geofoniin saapuu niinkään ensimmäisenä irtomaassa kulkenut aalto 8 ms:n kuluttua. Samassa ajassa aaltorintama on ehtinyt myös kallioon. Siinä se kulkee 6 kertaa nopeammin, ja on 10,7 ms:n kuluttua 100 m:n geofonin kohdalla. Aallon eteneminen ylöspäin geofoniin kestää 8 ms, joten ensimmäisen aallon saapumisajaksi 100 m:n geofoniin saadaan 18,7 ms. Vain pintamaassa edennyt aaltorintama saapuu geofoniin vasta 20 ms:n kuluttua, eli 1,3 ms myöhemmin. Samoin tästä eteenpäin oleviin geofoneihin saapuisi aina ensimmäisenä kalliota kautta kulkenut aalto.

Jos koordinaatistoon, jonka vaaka-akselina on geofonin etäisyys ja pystyakselina aallon kulku-aika, sijoitetaan saapumisajat saadaan kuvan 1 yläosassa esitetty aikamatkakuvaaaja. Sen perusteella voidaan määrittää aaltojen etenemisnopeudet, kerrosnopeudet, sekä irtomaassa että kalliossa suorien kulmakertoimien perusteella. Myös irtomaakerroksen paksuus voidaan laskea. Koska kerrosnopeus on kullekin maalajille tyypillinen vakio ja kasvaa yleensä kerroksen tiiviyyden kasvaessa, saadaan sen avulla viitteitä myös maalajista ja sen tiiviyydestä.

Seisminen luotaus perustuu siis seismisten aaltojen hyväksikäyttöön. Aaltoja on kolmea tyyppiä (MOONEY 1973):

- P (puristus) -aalto,
  - S (poikittais) -aalto ja
  - Rayleighin pinta-aalto,
- joiden etenemistapa ja -nopeudet ovat erilaiset. Nopein on P-aalto. S-aallon nopeus on n. puolet P-aallosta ja Rayleighin aallon nopeus on n. 0.9 kertaa S-aallon nopeus. Mittaus perustuu yleensä P-aallon kulku-aikojen seuraamiseen, ja aika mitataan ensimmäisen aallon saapumiseen. Koska P-aalto voi kulkea eri reittejä, ja lisäksi geofoniin saapuu hitaammin kulkevia S- ja R-aaltoja, voidaan saada useita saapumisaikoja. Mikäli laitteiden herkkyys ei ole

riittävä rekisteröimään ensimmäistä aaltoa, vaan jotain myöhemmin saapuvaa voimakkaampaa aaltoa, saattaa tuloksiin syntyä huomattavaa mittausvirhettä.

Tulosten tulkinta perustuu seuraaviin aaltojen ominaisuuksiin:

- aallon etenemisnopeus on kullekin maakerrokselle ominainen vakio ja
  - aallot kulkeutuvat aineiden rajapinnoissa noudattaen optiikan lakeja joko taittuen tai heijastuen.
- Lisäksi tulkinnassa oletetaan yleisesti, että
- maakerrokset ovat homogeenisia,
  - kerrosnopeudet kasvavat alaspäin mentäessä ja
  - kerrosten väliset rajapinnat ovat tasoja.

Käytännössä ei näin useinkaan ole, ja tästä aiheutuu tuloksiin erilaatuisia virheitä.

Mittaustyö voidaan suorittaa joko piste- tai linjaluotauksena. Mittaus voidaan järjestää käyttämällä yhtä täräyspistettä, jolloin aalto synnytetään räjäyttämällä tai iskulla, ja vastaanottoon käytetään useita linjaan sijoitettuja geofoneja. Toisena vaihtoehdona on käyttää yhtä kiinteästi asetettua geofonia ja synnyttää aalto eri pisteissä luotauslinjaa. Tällöin aalto aiheutetaan yleensä iskemällä.

Koska aaltojen nopeus ylöspäin nousevissa maakerroksissa (up-nopeus) on suurempi kuin alaspäin laskevissa (down-nopeus), mittaus suoritetaan yleensä kaksisuuntaisena, siis aiheuttamalla impulssi tai sijoittamalla geofoni luotauslinjan molempiin päihin.

Tulosten tulkinta suoritetaan yleensä käsilaskentana. Aikamatkakuvaaajasta määritellään kerrosnopeudet, ja niiden perusteella lasketaan kerrospaksuudet. Laskentatyö mutkistuu silloin kun

- maakerroksia on enemmän kuin yksi, ja kun
- kerrosten rajapinnat eivät ole vaakasuoria, vaan kaltevia.

Laskentaa varten on kehitetty erityinen laskutikku, sekä aputaulukkoja (vrt. TAANNILA 1962 ja Pistetutkintaohjeita... 1970). Myös tietokonekäsittelyyn soveltuvia laskentamalleja on saatavissa käsikirjoista (esim. MOONEY 1973, LEHTIMÄKI 1976). Markkinoille hiljakkoin tulleet ohjelmoitavat taskulaskimet helpottavat laskutoimi-

tuksia, sillä niihin voidaan ohjelmoida riittävät laskentaohjelmat maastossa suoritettavaa tulkintaa varten.

## 22. Luotaukskalusto

Luotaukskalusto voidaan karkeasti jaotella kahteen luokkaan:

- kevyet 1...2-kanavaiset mallit. Aalto synnytetään yleensä iskulla ja
- raskaat monikanavaiset mallit. Aalto synnytetään yleensä räjäyttämällä.

Metsäautotiesuunnitteluun riittänee kevyt kalusto, jonka maksimiluotaussyvyys 10...15 m kattaa hyvin vaadittavan syvyysalueen. Lisäksi luotaus voidaan suorittaa piste-luotauksena tai lyhyin linjoin, sillä koko tien pituudelta pohjatutkimusta ei tarvita.

Tunnetuimmat kevyiden seismometrien valmistajat näyttävät olevan amerikkalaiset Bison instruments inc.<sup>1)</sup> ja Soiltest inc.<sup>2)</sup>, joiden esitteistä on koottu seuraavat tiedot.

Laitteiden mittauseriaate on seuraava: lekaan (tai syyttimeen) kytketty katkaisin antaa lähtöimpulssin ja laite mittaa sen ja geofoniin saapuneen täryaalton aikaeroa. Tulostustavan perusteella laitteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- digitaalinäyttöiset,
- kuvaputkinäyttöiset ja
- paperille rekisteröivät laitteet.

Digitaalinäyttöisissä laitteissa aika saadaan millisekunneina suoraan näyttölaitteesta. Laitteen herkkyyttä voidaan säätää, jolloin taustakohinan vaikutus voidaan eliminoida. Kuitenkin, jos ensimmäinen aalto on heikko, se saattaa jäädä rekisteröimättä, ja laite mittaa jonkin myöhemmin saapuvan voimakkaamman aallon tuloajan.

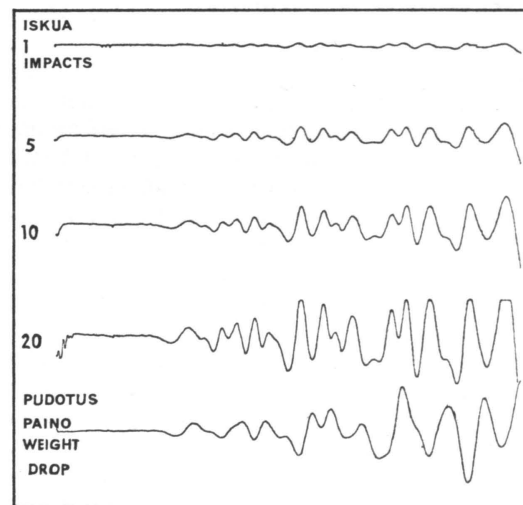
Kuvaputkinäyttöisissä laitteissa geofoniin saapuvat aallot näkyvät kuvaputken pinnalla, ja käyttäjä siirtää kohdistusmerkin ensimmäisen aallon kohdalle, jolloin aika voidaan lukea niin ikään millisekunneina suoraan näyttölaitteesta.

Eräissä kuvaputkinäyttöisissä laitteissa on aallon summaamismahdollisuus. Mou-

karilla voidaan lyödä samaan kohtaan useampia kertoja, ja laite summaa eri iskujen aallot. Laitteen hyöty selviää kuvasta 2 (MOONEY 1973). Siinä esitetään kuvaputkella näkyvä täryaalto 1, 5, 10 ja 20 iskun jälkeen, sekä pudotuspainolla synnytetty aalto 60 m etäisyydellä geofonista. (Näin pitkää linjaa ei tarvita metsätietutkimuksissa.) Yhden iskun jälkeen ensimmäinen saapuva aalto ei ole riittävän selvästi näkyvässä. Vasta viiden iskun jälkeen se alkaisi olla oikein tulkittavissa. Summaavan laitteen etuna on, että tarvittaessa sillä voidaan tehostaa aaltoa, ja satunnaiset häiriöt eliminoidut.

Paperille rekisteröivät laitteet: Edellä mainittujen valmistajien mallivalikoimaan ei sisälly paperille rekisteröiviä laitteita, joissa täryaallot tulostuvat piirtämällä. Aika voidaan mitata lähtö- ja tuloimpulssin välisestä matkasta, kun piirtonopeus tunnetaan. Etuna on, että täryaalto rekisteröityy, ja myöhemmin laskentavaiheessa sen koko informaatioarvo on käytettävissä.

Taulukkoon 1 on kerätty tietoja eräistä metsätietutkimuksiin mahdollisesti soveltuvista malleista. Taulukossa ilmoitettu paino on mittaososan paino. Tähän on lisättävä lekan (n. 5 kg) sekä geofonien ja johtimien



Kuva 2. Täryaalto summaavassa kuvaputkinäytössä (MOONEY 1973)

Fig. 2. Waveforms in signal enhancement (MOONEY 1973)

Taulukko 1. Seismisten luotauslaitteiden ominaisuudet.

Table 1. Technical data of seismographs.

	BISON	SOILTEST
<b>DIGITAALINÄYTTÖ — DIGITAL DISPLAY</b>		
Mallimerkintä, Model .....	1510	MD 5
Paino, Weight, kg .....	?	4.5
Mitat, Dimensions, cm .....	10 × 20 × 3	27 × 25 × 13
Hintaluokka, Price, mk .....	4 000,—	
<b>SUMMAAVA KUVAPUTKINÄYTTÖ SIGNAL ENHANCEMENT, WAVEFORM DISPLAY</b>		
Mallimerkintä, Model .....	1550	
Paino, Weight, kg .....	5.5	
Mitat, Dimensions, cm .....	25 × 25 × 9	
Hintaluokka, Price, mk .....	17 000,—	
Mallimerkintä, Model .....	1570 C	MD 9
Paino, Weight, kg .....	7.5	6.5
Mitat, Dimensions, cm .....	30 × 25 × 15	31 × 35 × 13
Hintaluokka, Price, mk .....	25 000,—	..

paino joten kokonaispaino käyttökunnossa on 10...15 kg. Laitteet on suunniteltu maastokäyttöä varten. Hinta on maahan-tuojan ilmoittama myyntihinta Suomessa v. 1977 alkupuolella.

Lähes taskukokoinen on Bisonin yksinkertaisin malli 1510. Myös hinnaltaan se vastaisi parhaiten metsäautotienrakentajan toiveita. Laitteen haittapuolena on yleensä digitaalisiin laitteisiin liittyvät epävarmuus laitteen mittaamasta aallosta. Laite vaatii kokeneen käyttäjän, joka pystyy paikalla päättämään onko mittaustulos luotettava. Tästä laitteesta ei Suomessa ole käyttökokemusta, ja meillä yleensä käyttäjät näyttävät suhtautuvan epäilevästi digitaalinäytöllä varustettujen laitteiden kelpoisuuteen. Tätä laitetta ei ollut saatavissa. Kenttäkokeisiin otettiin Soiltestin MD-1 edustamaan digitaalinäyttöisiä laitteita, vaikka sitä voidaan pitää jo vanhentuneena.

Summaavien kuvaputkinäyttöisten laitteiden luotettavuus on parempi, sillä kuvaputkelta nähdään milloin aalto on niin selvä, että mittaus voidaan suorittaa virheettömästi. Metsätiesuunnitteluun riittänee ilmeisesti yksinkertaisemmat mallit, joiden hintaluokka on 15 000...20 000,— mk. Tämän ryhmän laitteita on Suomessa käytössä jo useita, ja niiden tarkkuutta pidetään riittävänä. Käyttäjien suositus metsätiesuun-

nitteluun sopivaksi malliksi oli Bison 1550. Tämän tutkimuksen maastotöihin saatiin kuitenkin jonkin verran täydellisemmin varustettu malli Bison 1570.

**Raskas kalusto.** Pääosa Suomessa suoritettavista refraktioseisemisistä luotauksista suoritetaan raskaalla kalustolla. Yleisesti käytössä on ruotsalainen Abem trio, joka on 6-kanavainen paperille rekisteröivä laite. Impulssi synnytetään räjäyttämällä. Monikanavaisen rekisteröivän laitteen etuina ovat:

- aaltojen saapuminen geofoneihin on näkyvässä yht'aikaisesti, jolloin mittauksen tekninen onnistuminen on helposti todettavissa, ja
- jälkitulkintamahdollisuus.

Koska Helsingin yliopiston Seismologian laitoksella on kehitetty piirtävä 6-kanavainen laite, joka hinnaltaan ja maastokelpoisuudeltaan vastaa edullisia kuvaputkinäyttöisiä laitteita otettiin myös se mukaan maastokokeisiin.

## 23. Seismisten luotausten käyttö Suomessa

Ensimmäinen seismografi hankittiin Suomeen v. 1952 (KANGAS 1961). Tällä hetkellä laitteita lienee käytössä parisenkymmentä.

<sup>1)</sup> Maahantuoja ja edustaja Suomessa: Oy Julius Tallberg.

<sup>2)</sup> Maahantuoja ja edustaja Suomessa: ei tällä hetkellä.



Laitteiden pääkäyttäjää näyttävät olevan eri insinööritoimistot (mm. Geotek Oy, Maa ja Vesi Oy), jotka suorittavat asiakkaille rakennuspaikkatutkimuksia, pohjavesitutkimuksia, materiaali-inventointeja ja kallio-perätutkimuksia. Seisminen luotaus liittyy tällöin tavallisesti osana perusteellisempiin selvityksiin. Omia laitteita on mm. Valtion Rautateillä, TVL:llä ja Outokumpu Oy:llä. Tämän lisäksi laitteistoja on korkeakouluilla. Koska metsätiesuunnittelun pohjatutkimuksilla on eräitä erikoispiirteitä, jotka poikkeavat muista käyttötavoista, muiden käyttäjryhmien kokemukset eivät sellaisinaan voi antaa riittävästi taustatietoa, jotta olisi suoraan voitu todeta menetelmä tiesuunnitteluun soveltuvaksi tai soveltumaton.

### 3. OMAT TUTKIMUKSET

Tutkimuksen maastotyöt suoritettiin Metsähallituksen ja Tehdaspuu Oy:n tietyömailla 1977-05-31 . . . 06-10. Tehdaspuu Oy:n teillä laitteita kokeiltiin leikkausten luotauksessa. Metsähallituksen työmailla tutkimuksen pääpaino oli rakennusmateriaalin inventoinnissa. Koetiet sijaitsivat Itä-Suomessa Varkauden ympäristössä.

Teille oli tehty yleisen käytännön mukainen tiesuunnitelma. Koska Metsähallituksen tiet olivat lyhyitä alue- ja leimikkoteitä tielinjat olivat vaatsematta. Tehdaspuussa ei tielinjoja yleensä vaaita. Tien taustausviivaa ei siis oltu millään tiellä kiinteästi määrätty. Matalia (n. 0,5 m) koekuoppia lukuunottamatta pohjatutkimuksia ei oltu tehty. Suunnittelu edustaa nykyistä käytäntöä. Suunnittelun yhteydessä oli silmävaraisesti pyritty varmistumaan siitä, ettei kallio nouse leikkaussyvyteen.

Seisminen luotaus suoritettiin normaalin käytännön mukaisesti. Varsinaisen työryhmän muodostivat luotaja ja 2 apumiestä. Luotaja oli laitteen käyttöön ja tulosten tulkintaan perehtynyt, apumiehet ensikertalaisia. Luotaus tapahtui pisteluotauksena.

*MD-1.* Luotaus suoritettiin yksisuuntaisena. Geofoni sijoitettiin mittauspisteeseen, yleensä leikkauksen keskivaiheille, ja täryaalto synnytetään  $\pm 2,5$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 7,5$ ,  $\pm 10$ ,  $\pm 12,5$ ,  $\pm 15$ ,  $\pm 17,5$ ,  $\pm 20$ ,  $\pm 25$  ja  $\pm 30$  m etäisyydellä geofonista.

tomaksi. Vasaraseisminen luotaus, joka on liian »heikkotehoinen» yleisesti tarvittaviin pohjatutkimuksiin, näyttäisi sopivimmalta juuri metsätietutkimusten syvyysalueilla (vrt. esim. KORPELA 1975). Toisaalta 1 . . . 2 m syvyysalueilla koetintankoa, nimenomaan löyhemmissä maalajeissa, pidetään edullisempänä (esim. THURNER 1971). Seismisen luotauksen tarkkuus kalliosyvyuden määrittelyssä on 1 m luokkaa 2 . . . 10 m irtomaakerroksissa (esim. JOHANSSON 1964). Paikoin kivisillä alueilla seismisesti voidaan saada kalliopinta tarkemmin määräytyksi seismisesti luotaamalla kuin kairaamalla. Paikoin rapautuneilla alueilla ei selvää rajaa kallon ja moreenin välillä voida erottaa (LAHERMO ja RAINIO 1972).

*Bison 1570.* Pääosa luotauksista tehtiin tällä laitteella kaksisuuntaisena luotauksena. Geofoniväli oli 30 m ja täryaalto synnytetään 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5, 20, 25 ja 30 m etäisyydellä geofonista. Joskus luotauksista jatkettiin 35 ja 40 (–5 ja –10 m) etäisyyksille.

Täryaalto synnytetään aluksi MD-1:llä lyömällä lekalla aluslevyyn. Myöhemmin se korvattiin kätevämällä muovinuijalla, jollainen oli alunperin käytössä BISON 1570:ssä. Tällöin ei aluslevyä tarvittu.

*Seismologian* laitoksen laitteessa geofonit sijoitettiin 2,5, 5, 10, 15, 20 ja 25 m:n päähän räjähdyspisteestä. Tärähdysaalto aiheutettiin räjäyttämällä pieni dynamiittipanos mittauspisteessä.

Ajat kirjattiin ja työpäivän päätyttyä suoritettiin tulosten käsittely. Nopeudet määrättiin aika-matkakuvaajasta. Kerros-paksuudet määriteltiin käsinlaskennalla 2- tai 3-kerrosmallikaavalla BISON-käsikirjan nomogrammien perusteella. Kerros-paksuudet arvioitiin 1 m:n luokissa yleensä alenevaa luokitusta käyttäen.

Kultakin mittauskohdalta laadittiin lyhyt kuvaus, joka käsitti

- reliefikuvauksen,
- maalajikuvauksen ja
- tarvittavat maansiirtotyöt sekä arvioidun leikkaussyvyden.

Koska ei ollut mahdollista tutkia maa-

perää kairauksin ei tarkkaa vertailuaineistoa menetelmän luotettavuudesta saatu. Suurin osa teistä rakennettiin kuitenkin syksyn

kuluessa, joten ainakin kallon esiintyminen leikkaussyvytydessä voitiin todeta.

### 4. HAVAINTOJA LAITTEIDEN TEKNISESTÄ SOVELTUVUUDESTA

Luotauksia tehtiin viidellä tiellä yhteensä 31 kpl. Rakennusmateriaalin inventointia kokeiltiin kolmessa kohteessa yhteensä 16 linjalla.

Tämän lisäksi kokeiltiin demonstratioluontoisesti Seismologian laitoksen piirturilla varustettua laitetta kahdella mittauskohdalla.

Päätulokset kokeilusta ovat seuraavat:

*Laitteiden soveltuvuus maastokäyttöön.* Sekä MD-1 että BISON 1570 ovat helposti maastossa liikuteltavia, varsinkin jos laitteiden kohdalla suoritetaan eräitä parannuksia, kuten esim.

- laitteisto sijoitetaan kantotelineeseen, rinkaankin,
- kelat ja kaapelit mitoitetaan 30 m luotauspituudelle 5 m merkein ja
- kehitetään muovileka nykyistä kätevämmäksi

Seismologian laitoksen laite oli edellisiä huomattavasti painavampi, mutta laitteisto oli sijoitettu kätevään kantotelineeseen. Suurin hankaluus sen käytölle oli paperin kehitys. Oikein kehittyäkseen paperi näet vaatii keltaista valoa, mikä taas edellyttää lisälaitteita. Toinen haitta on laitteen vaatimasta paksummasta kaapelista johtuva suuri kela. Nykyisessä muodossaan laite on kömpelö metsätiesuunnitteluun käytettäväksi. Tästä syystä seuraavassa tarkastellaan vain MD-1 ja Bison 1570 laitteilla saatuja kokemuksia.

Laitteissa oli kokeilun aikana useita teknisiä häiriöitä, mutta viat olivat geofonien ja lekan liitosjohdoissa. Johtimia on usean eri käyttäjän toimesta korjailtu tai muunneltu. Normaalkäytössä laitteet toiminevat häiriöttä ja kestävästi hyvin maastossa.

Laitteet olivat herkkiä kosteudelle, joten luotaus ei ole mahdollista sadesäällä.

30 metrin luotaisetaisyydellä oli iskun teho vielä riittävä, yleensä tarvittiin kuitenkin 2 . . . 3 iskuja varmistamaan oikea aalto. Vain yhdessä kohteessa oli vaikeuksia saada aalto näkyviin. Koska linja-

pituuden tulee olla 3 . . . 5 kertaa luotaus-syvyys, 30 m linjapituudella voidaan kalliosyvyys varmistaa n. 6 . . . 10 m asti. KORPELAN (1975) mukaan vasaraseismissen laitteiden luotausyvyys on n. 8 m.

Kuntan pakkaus haittaa jonkin verran mittausta, ja se saattaa aiheuttaa myös tuloksiin virhettä. Paksukunttaisilla osuuk-silla ja n. 30 cm turvekerroksen päällä impulssi jouduttiin lähettämään useamman kerran, 5 . . . 10 iskuja, ennen kuin saatiin varmuus ensimmäisestä aallosta. Näissä olosuhteissa MD-1 ei kokeiltu. Varsinaisia turvemaita lukuunottamatta laitteet siis ovat käyttökelpoisia.

Taustamelu ei juuri häirinnyt Bisionia käytettäessä. Sen sijaan MD-1 käyttö oli vaikeampaa silloin kun taustamelu oli voimakasta tuulisina päivinä.

Koska jäätyneessä maassa aallon nopeus on suurempi kuin alla olevassa sulassa kerroksessa, soveltuu menetelmä vain sulan maan aikaiseen luotaukseen.

Yhteenvetona voidaan siis todeta laitteiden olevan ominaisuuksiltaan hyvin maastokelpoisia.

*Luotaustyön tuotos.* Tutkimuksessa saavutettu n. 10 luotauksia päivää kohti lienee lähellä käytännössä saavutettavaa keskiarvoa. Tuotos on suuresti riippuvainen luotauspisteiden välisestä kulkuajasta. Päivässä voidaan luodata n. 1 . . . 3 km pituisen tien »ongelmakohdat». JOHANSONIN (1964) mukaan tuotos oli 12 . . . 15 piste-luotauksia tai 20 . . . 25 linjaluotauksia 8 tunnin työpäivän aikana. Kolmenkymmen metrin linjapituudella siis luodattaisiin 600 . . . 750 m tielinjaa.

Kuten jo mainittu työryhmän oli vahvuus 1 + 2. Koska yhtä havaintoa varten joudutaan lyömään 2 . . . 5 kertaa, yhteen luotaukseen tarvitaan ainakin 50 lekan heilautusta. Miehet pitivät moukarointia raskaana, joten on mahdotonta arvioida päästäisiinkö samaan tuotokseen 1 + 1 ryhmällä.



**Luotettavuus.** Teitä rakennettaessa ei yhdessäkään kohdassa törmätty kallioon, eikä tämä luotuksen perusteella ollut odotettavissaakaan. Tältä osin siis menetelmä täyttää luotettavuusvaatimuksen. Yhdessä kohdassa, jossa kallio luotuksen mukaan nousi leikkaussyvyteen, tiesuunnitelma muutettiin, joten täydellistä varmuutta tästä kalliosta ei saatu.

Kuten edellä mainittiin, ei luotuskohdilla suoritettu kairauksia, joten kerrospaksuusten arviointivirheen suuruutta ei voida määrätä. Tutkimuksen aikana vahvistui kuitenkin käsitys, että virhe muodostuu pieneksi. Näin nimenomaan olosuhteissa, joissa pisteistö sijoittui aika-matkakuvaajalle hajaantumatta. Paikoissa, joissa pisteistö hajosi voimakkaasti voi tulkinta olla absoluuttiselta mitta-arvoltaan virheellinen. Kuitenkin tällaisissa luotuskohdissa saadaan yleensä varmuus kallion lähellä olost. Myös maalajimäärityksiin ja pohjaveden pinnan arviointiin näyttää menetelmä tuovan apua.

Vaikka erät tutkijat (esim. JOHANSSON 1964) katsovatkin, ettei menetelmä sovellu lainkaan alle 2 m irtomaakerrosten luotukseen, voitaneen luotuksella todeta kallio-pinnan läheisyys riittävän luotettavasti myös ohuiden irtomaakerrosten alta. Eräänä virhelähteenä ovat suuret seismisen nopeuden vaihtelut maan ilma-humus-pitoisessa pintakerroksessa.

Aaltojen saapumisaikojen silmävaraisen tarkastelun perusteella voidaan jo luotuspaikalla päätellä onko kallio mahdollisesti lähellä ja onko maaperä hyvin epähomogeeninen.

## 5. LAITTEIDEN KÄYTÖN TALOUDELLISUUS

### 51. Luotuskustannukset

Investoinnin edullisuutta arvioitaessa on selvitettävä seuraavat komponentit (esim. HONKO 1969, s. 42):

1. Juoksevasti syntyvät tulot (tuotot)
2. Juoksevasti syntyvät menot (kustannukset)
3. Hankintameno ja jäännösarvo
4. Investointiajanjakso
5. Laskentakorkokanta

Tällöin tuloksia voidaan parantaa suorittamalla lisää luotauksia, käyttäen ristiluotausta jne. Niinpä kokeneen luotustajan käyttämänä virheiden määrä jäänee vähäiseksi ja menetelmää voidaan pitää luotettavana. Ilmeisesti esim. metsätietutkimuksessa, missä rakentaminen seuraa nopeasti tutkimusta usean vuoden seuranta lisää oleellisesti suunnittelijan kokemusta ja näin parantaa myös tulosten luotettavuutta ja menetelmän käyttöarvoa.

Verrattaessa Bison 1570 ja MD-1 Soiltet malleja on todettava, että summaavalla kuvaputkinäytöllä on niin huomattavat edut, että ainakin menetelmän käyttäjien koulutusvaiheessa se on välttämätön. MD-1:llä saatiin useimmissa tapauksissa myös oikea saapumisaika rekisteröidyksi. Tämä edellytti, että samasta kohdasta tehtiin useita havaintoja, joista valittiin »oikea». Monesta yrityksestä huolimatta saattoi jollain mittauskohdalla aika jäädä huomattavasti alle »odotetun» eikä toistoista huolimatta saatu nopeampaa aikaa. Tällöin on epävarmaa, jäikö heikkona saapuva P-aalto rekisteröimättä, jolloin mitatuksi tuli joku myöhempi voimakas aalto vai oliko kohdalla hitaammin aaltoja johtavia maakerroksia. Kuvaputkinäytöissä summaavassa laitteessa ei epäilylle yleensä jäänyt sijaa. Muutoin laitteiden käytössä ei ollut suurtakaan eroa, esim. tarvittava moukarointen määrä oli kummallakin laitteella samaa luokkaa. Imatran Voima Oy on myös tutkimuksissaan todennut parhaiksi mallit, jotka rekisteröivät tai piirtävät synnytyt tärjimpulssit. (Seismiset luotuslaitteet ... 1973).

Kutakin komponenttia tarkastellaan seuraavassa erikseen lähemmin. Tavoitteena on pyrkiä arvioimaan komponentti mahdollisimman oikeana, mutta myös tutkia, mitä poikkeama vaikuttaa laskelmiin.

Juoksevasti syntyvät menot koostuvat laite- ja käyttömenoista.

Käyttömenot lasketaan päivittäisinä käyttökustannuksina seuraavien oletusten pohjalta:

- työryhmän suuruus 1 + 1 henkilöä
- palkkakustannus 2 500,- mk/kk/henkilö,
- sivukustannukset 43 %,
- 22 työpäivää/kk,
- matkakustannukset 100 km/päivä à 0,60 mk ja
- päiväraha 54,- mk/pv/henkilö,

Tällöin saadaan päivittäisiksi käyttökustannusten henkilökustannuksiksi seuraavan asetelman luvut:

palkkakustannus	227,- mk/päivä
sivukustannus	98,-
matkakustannukset	60,-
päiväraha	108,- 493,- mk/päivä

eli päivää kohti n. 500,- markkaa. Tämä kustannuserä on täysin muuttuva.

Muuttuviin kustannuksiin tulee lisäksi laitteiden korjaus- ja käyttökustannukset. Koska laitteet ovat akkukäyttöisiä energia-kustannukset jäävät vähäisiksi palkkakustannuksiin verrattuna. Samoin korjauskustannukset voidaan jättää huomioon ottamatta.

Laitteen muuttuvat käyttökustannukset ovat siis korkeintaan 500,- mk/päivä ja koostuvat henkilökunnan palkka- ja matkakustannuksista. Mikäli keskimääräinen tuotos on 10 luotausta/päivä olisivat yhden luotuksen käyttökustannukset 50,- mk.

**Hankintameno.** Laskelmassa verrataan kahden laitetyypin hankintaa. Hankittaviksi laitteiksi oletetaan

Bison 1510 hankintahinta 4 100,- mk  
Bison 1550 hankintahinta 17 100,- mk

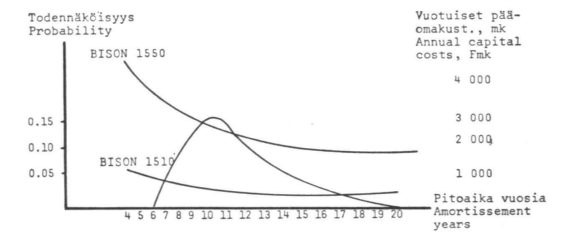
Jäännösarvoa ei laitteille lasketa, sillä laitteisto ajatellaan käytettäväksi loppuun.

**Investointiajanjakso.** Koska ajanjakson pituus riippuu laitteen kestävydestä, joka

on tuntematon, tarkastelu suoritetaan eripituisin ajanjaksoin. Investointiajanjakso voi vaihdella 0...∞, jotka edustavat kustannusten maksimi- ja minimiarvoja. Näistä ensimmäinen edustaa lähinnä tapausta, jossa laite hankitaan yhtä mittausta vasten, jälkimmäisen edustaessa saavuttamatonta minimiä.

Laitteen kestoajan mukainen pitoaika lienee 10...15 v. Laskelma suoritetaan olettamalla pitoaika 6...21 vuodeksi jakautuneeksi kuvan 3 mukaisesti.

**Korkokanta.** Laskelmissa korkokannaksi edellytetään 10 %.



Kuva 3. Pitoajan todennäköisyysjakauma-arvio  
Fig. 3. Density function of amortissement periods

Vuosittaiset hankintamenoista aiheutuneet pääomakustannukset lasketaan likimääräisellä annuiteettimenetelmällä (HONKO 1969, s. 102) oheisen kaavan mukaisesti.

$$\text{annuiteettitekijä} = \frac{1}{n} + \frac{i}{2} \cdot \frac{n+1}{n} \quad \text{jossa}$$

n = aika vuosia  
i = korkotekijä

Tällöin vuosittaisiksi kustannuksiksi saadaan taulukon 2 mukaiset luvut

Taulukko 2. Vuotuiset pääomakustannukset mk.

Table 2. Annual capital costs mk.

Investointiajanjakso Investment period years	0	5	10	15	20	50	100	∞
Annuiteettitekijä Amortissement factor	1.00	0.26	0.155	0.120	0.102	0.071	0.05	0.05
Investointimeno Investment	17 100	4 446	2 650	2 052	1 753	1 214	1 015	855

Vuosittaiset pääomakustannukset ovat siten seuraavat:

	Min.	Tod. näk. jak.	Max.	Laskelmassa käytetty
BISON 1510 .....	205,— mk	598,— mk	4 100,— mk	600,— mk
BISON 1550 .....	855,— mk	2 435,— mk	17 100,— mk	2 500,— mk

Vuotuinen käyttömäärä vaihtelee. Mikäli vuosittaiseksi tienrakennustavoitteeksi oletetaan 30 km ja luotaustarpeeksi 1 päivä/3 km tulisi laitteelle vuodessa 10 käyttöpäivää. Suuntaa-antavina keskimääräisiksi kustannuksiksi saataisiin tällöin taulukon 3 mukaiset luvut.

Edellä olevat kustannukset perustuvat siis vuotuisen 10 päivän, 100 luotauksen ja 30 kilometrin oletuksiin. Seuraavassa taulukossa 4 tarkastellaan käyttöintensiteetin merkitystä BISON 1550:n kustannuksiin.

Näistä 1/1, eli laitetta käytetään yhden kerran yhtenä päivänä vuodessa, edustaa lähinnä tapausta jolloin rajoitutaan joihinkin erikoisia kustannuksia vaativiin tutkimuksiin, esim. siltapaikkatutkimuksiin. Tällöin kustannukset ovat 1 800...2 700,— mk/v. ja kiinteiden kustannusten osuus on huomattava.

Tapaus 2/5 edellyttää laitteen käyttöä kahtena päivänä vuodessa eli laitetta käytetään joissain epävarmoissa kohteissa harkinnan mukaan. Kustannukset ovat vuodessa 2 200...3 200,— mk, ja edelleen pääosa niistä on kiinteitä.

Vaihtoehto 10/10 edustanee aktiivista

käyttöä, jolloin tutkitaan lähes kaikki epäilyttävät leikkaukset ja sora-alueet. Vuotuiset kustannukset ovat 6 700...7 600,— mk, joista muuttuvien kustannusten osuus n. 3/4. Yksi luotaus maksaa n. 68,—...76,— mk. Koska vuotuisesti suunnittelutarpeeksi oletettiin 30 km, saadaan kilometrikustannukseksi n. 225...255,— mk. Vertailun vuoksi mainittakoon, että Metsähallituksen St-kustannusten (Tienrakennuksen...1977) mukaiset metsäautoteiden suunnittelukustannukset olivat v. 1977

— runkotiet 1 700,— mk/km  
— aluetiet 1 000,— mk/km

joten laitteiden käyttöönotto nostaisi suunnittelukustannuksia 10...20 %.

Edellä olevassa laskelmassa on luotaus edellytetty muista työvaiheista riippumattomaksi. Yhdistämällä luotaus muuhun suunnitteluun voitaneen kustannuksia alen-  
taa. Mikäli ajanmenekki kasvaisi vain 50 %, luotauksen vuotuisiksi kustannuksiksi saadaan 4 200...5 100,— mk, eli kilometriä kohti n. 142...170,— mk.

Juoksevasti syntyvien tulojen voidaan ajatella syntyvän kun ehkäistään väärän ratkaisun tuoma kustannusvuoto. Tällöin

Taulukko 3. Keskimääräiset luotauskustannukset.

Table 3. Average sounding costs.

Kust. laji Costs	mk/vuosi mk/year		mk/km		mk/päivä mk/day		mk/luotaus mk/sounding	
	1510	1550	1510	1550	1510	1550	1510	1550
Laite BISON								
Pääomakust. Capital costs	600	2 500	20	83	60	250	6	25
Käyttökust. Oper. costs	5 000	5 000	167	167	500	500	50	50
Kok. kust. Total	5 600	7 500	187	250	650	750	56	75

Taulukko 4. Luotauskustannukset Bison 1550 laitteella.

Table 4. Sounding costs Bison 1550.

Kuoletusaika v. Time of amortis. year	10			15			20		
	Päivä/luot. .... Days/sound.	1/1	2/5	10/10	1/1	2/5	10/10	1/1	2/5
Luotauksia/v. .... Soundings/year	1	10	100	1	10	100	1	10	100
Kiint. kust. mk/v ..... Fixed costs	2 650	2 650	2 650	2 052	2 052	2 052	1 753	1 753	1 753
Muuttuv. kust. mk/v ..... Varying costs	50	500	5 000	50	500	5 000	50	500	5 000
Yht. mk/v ..... Total mk/year	2 700	3 150	7 650	2 150	2 552	7 052	1 803	2 253	6 753
Kiint. mk/luotaus ..... Fixed costs	2 650	265	26	2 052	205	20	1 753	175	18
Muuttuv. mk/luot. .... Varying costs	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Yht. mk/luot. .... Total Fmk/sound.	2 700	315	76	2 102	255	70	1 803	225	68

lähtöolettamuksena on, että oikeaan arvioon perustuva rakennustapa on optimaalinen, ja virheen (kallion) paljastuminen nostaa kustannuksia.

Tarkastelu suoritetaan teoreettisesti, sillä laajempaa aineistoa kallion sattumistiheydestä ja kalliosattuman aiheuttaman kustannusvuodon suuruudesta ei ole.

Tässä tuotoksi luettava kustannusvuoto on riippuvainen lähinnä kolmesta osateki-  
jästä:

1. Muutostalustannuksista,
2. Kallion todennäköisyydestä leikkauksessa sekä
3. Leikkausten lukumäärästä.

Näistä käytännössä tiedetään esim. tiekohtaisesti vain leikkausten lukumäärä (leikkauspituus). Kokemuksen perusteella voidaan 1. ja 2. kohta arvioida enemmän tai vähemmän luotettavasti ja ne ovat yleensä riippuvia alueen yleisgeologiasta.

Muutostalustannukset ovat riippuvaisia tarvittavista lisätöistä, esim.:

- pysytäänko alkuperäisessä tasausviivassa, jolloin louhinta on välttämätön tai
- nostetaan tasausviivaa ajamalla täytemaata.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa suoritetaan louhinta, jolloin kustannukset arvioidaan seuraavasti:

- louhintapituus 20 m,
- louhintaleveys 5 m ja
- louhintakustannus 40,— mk/m<sup>2</sup>

Näiden olettamusten ollessa voimassa kustannuksiksi tulisi 4 000,— mk/virhe.

Toisessa vaihtoehdossa tietä korotetaan ja tällöin kustannus muodostuu seuraavaksi:

- pituus 20 + 20 m
- korotus keskellä 1 m
- leveys 5 m
- täytemaan hinta 6 mk/m<sup>3</sup>

Näiden olettamusten ollessa voimassa korotuskustannus olisi 600,— mk/virhe.

Käytännössä suunnittelu-»virheestä» johtuva lisäkustannus voi olla huomattavan suurikin, joskus taas käytännössä lähes olematon. Joka tapauksessa kallion odottamaton paljastuminen tietää lisäkustannuksia. Seuraavissa laskelmissa keskimääräiseksi kustannusten määräksi oletetaan

2 000,— mk eli juokseviksi tuloiksi arvioidaan 2 000,— mk/korjattu virhe.

Toisena epävarmuustekijänä on kallion esiintymisen todennäköisyys leikkauksessa. Tämä on tietenkin riippuvainen alueen geologiasta. Paikoin irtomaakerros on niin ohut, että kallio ulottuu leikkaussyvyyteen lähes joka leikkauksessa. Tällöin laitteen tuoma hyöty jää pienemmäksi kuin alueelle, missä kallion todennäköisyys on pienempi, ja tie voitaisiin suunnitella kalliota välttämällä. Seuraavassa luvussa suoritettavissa laskelmissa tutkitaan kallion todennäköisyyden vaikutusta laitteen kannattavuuteen.

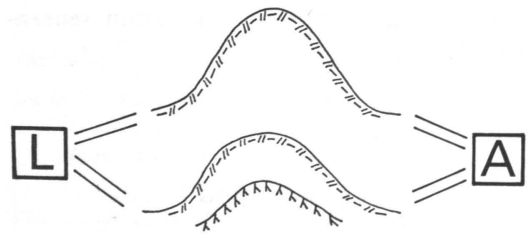
## 52. Laitteiden käytön kannattavuus

Ensimmäisessä vaiheessa verrataan laitteen tuottoja ja kustannuksia tutkimusolosuhteissa, jolloin luotauksia suoritettiin 31 kpl ja yhdessä kohdassa tielinjaa muutettiin kallion vuoksi. Edellisessä luvussa olevien keskimääräisten tuottojen ja kustannusten (Bison 1550) mukainen laskelma on seuraava:

Tuotot		2 000,—	mk
Kustannukset — laite	750,—		
— henkilö	1 500,—	2 250,—	»
Tappio		250,—	mk

eli siis laitteen kannattavuus olisi kyseenalainen.

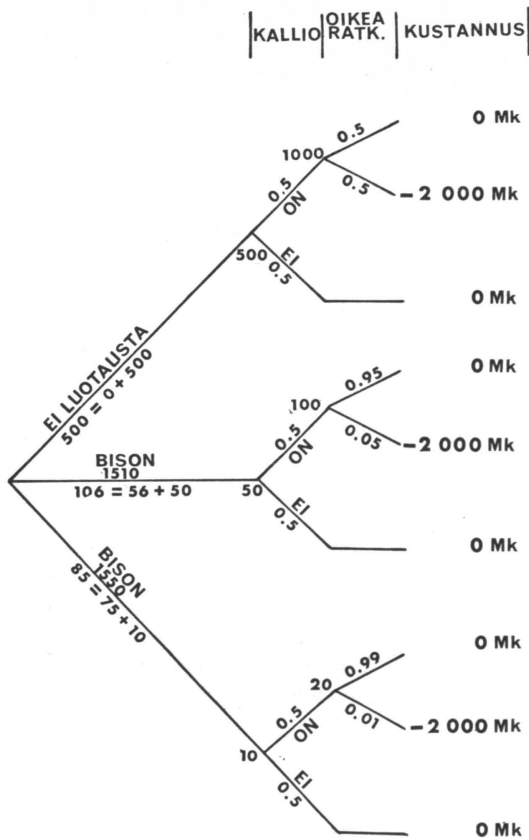
Seuraavassa laskelmassa vertaillaan eri laitteiden käytön kannattavuutta seuraavanlaisessa kuvitellussa tilanteessa:



Lähtö- ja tulopisteen välillä on muutoin samanarvoiset linjausvaihtoehdot, joiden kautta tie voidaan rakentaa, kuitenkin siten, että toisessa vaihtoehdossa törmättäisiin

Ei luotausta	500,—	mk + 0	mk = 500,—	mk
95 % luotettavuus	50,—	mk + 56,—	mk = 106,—	mk
99 % luotettavuus	10,—	mk + 75,—	mk = 85,—	mk

kallioon. Olettaen, että kallion »arvaaminen» onnistuu ilman seismografia puolesta tapauksista oikein ja puolesta väärin on oikean ratkaisun todennäköisyys 0,5. Bison 1510:lle oikean ratkaisun todennäköisyydeksi oletetaan 0,95 ja Bison 1550:lle 0,99. Mikäli korjaavan toimenpiteen hinnaksi arvioidaan 2 000,— mk, voidaan em. tapauksessa laatia kustannusestimaattivaihtoehdot todennäköisyyspuuta hyväksi käyttäen (kuva 4).



Kuva 4. Kustannusten todennäköisyyspuu

Fig. 4. Probability tree of costs

Em. todennäköisyyspuun avulla saamme törmäämisestä aiheutuvien korjausten kustannusten odotusarvot ja luotaukskustannukset summaamalla:

Taulukko 5. Tutkittavan maastopisteen kokonaiskustannukset (= korjauskustannusten odotusarvo + luotaukskustannukset) eri korjauskustannuksilla.

Table 5. Total costs (expected correction costs + survey costs) based on different correction costs.

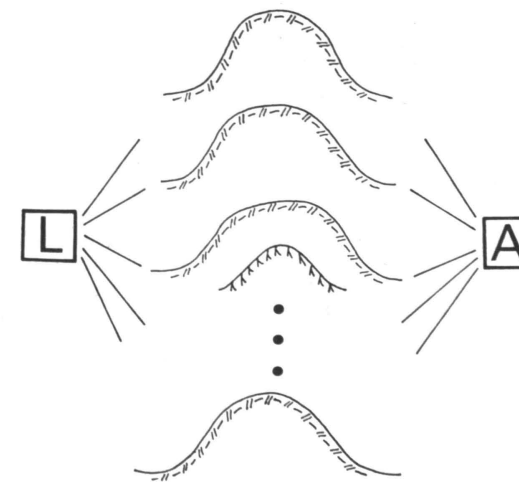
Luotausmenetelmä Survey method	Korjauskustannukset, mk — Correction costs, Fmk							
	0	100	250	500	950	1 000	1 500	2 000
	Kokonaiskustannus, mk — Total costs, Fmk							
Ei luodata No survey	0	25	62	125	238	250	375	500
Bison 1515	56	59	62	69	80	88	94	106
Bison 1550	75	76	76	78	80	80	83	85

joten luotettavin menetelmä olisi taloudellisin.

Eri korjauskustannuksia käyttäen lasketut kokonaiskustannukset esitetään taulukossa 5.

Korjauskustannusten noustessa luotauksen tulee kannattavaksi. Epätarkemmaksi oletetun halvemman luotausmenetelmän edullisuusalue jää melko kapeaksi, ja erot tarkempaan vähäisiksi. Näin ollen summaava kuvaputkinäyttöinen laite tulee käytössä edullisimmaksi taloudellisin perustein arviotuna.

Luotauksen kannattavuutta tarkastellaan seuraavan yksinkertaisen oletuksen pohjalta. Tutkittavaksi laitteeksi otetaan Bison 1550, ja laskujen yksinkertaistamiseksi luotettavuus oletetaan 100 %:ksi.



Lähtö ja tulopisteen välillä on N kpl linjausvaihtoehtoja, joista yhdessä törmättäisiin kallioon. Kalliotodennäköisyys (P) on 1/N. Mikäli korjauskustannuksia merkitään K:lla, on korjauskustannusten odotusarvo P · K. Vastaavasti luotaukskustannuksiksi saamme L + P · L, kun luotauksen yksikkökustannus on L, ja mikäli luotattaessa löydetään kallio, uusitaan luotausvaihtoehdoissa paikassa. Luotauksen rajakannattavuus on tällöin

$$K \cdot P = L + L \cdot P, \text{ josta } P = \frac{L}{K - L}$$

Taulukkoon 6 on laskettu rajakannattavuutta vastaavat kalliotodennäköisyydet eri korjauskustannuksille (kun luotaukskustannus on 75,— mk). Kannattava kalliotodennäköisyys ilmoittaa siten »kuinka monennella yrityksellä keskimäärin» kallion on löydyttävä. Havainnollisuuden vuoksi viereiseen sarakkeeseen on laskettu ko. arvo. »Läpimenotodennäköisyys» on taas päinvastainen kannattavuusraja, eli se ilmoittaa, millä todennäköisyydellä on kalliotoman vaihtoehdon löydyttävä, jotta luotaus muodustuisi kannattavaksi. Taulukkoon 6 on laskettu myös läpimenotodennäköisyys, ja vastaava luotaukskertojen luku.

Koska käytännössä on etukäteen vaikea arvioida tulevia todennäköisyyksiä, voidaan laitteen hankintapäätös perustaa seuraavaan laskelmaan: Laitteen aktiivikäyttö (100 luotauksa vuodessa) maksaa 6 700... 7 600,— mk. Tällöin »virheiden» lukumäärä saa olla korkeintaan seuraavan asetelman mukainen.



Keskimääräinen				
korjauskustannus, mk	1 000,—	2 000,—	3 000,—	4 000,—
Maksimivirhemäärä/vuosi	7	3	2	1

Monilla alueilla laitteiden käyttö olisi todennäköisesti kannattavaa.

Koska kirjoittajalta puuttuu luotettavat arviot »virheiden» todennäköisyydestä ja korjaustoimenpiteiden kustannuksista, jää lopullinen kannattavuusharkinta käyttäjäkunnalle.

*Luotaimen käyttö sora-alueiden inventoinnissa.* Luotainta käytettiin kolmessa sora-alueen inventoinnissa. Teknisesti laite soveltuu työhön hyvin, ja ainakin asteittain tiivistyvät moreeniharjut voitiin välittömästi varmuudella erottaa mahdollisista soramuo-  
dostelmista. Koska koekuoppien kaivami-

nen käsin on kallista, luotaimen käyttö lienee taloudellista verraten pientenkin muodostelmien inventoinnissa. Tällöin luotaus sijoittuu ilmakuvilta suoritettujen inventoinnin jälkeen seuraavaksi vaiheeksi, ja tällöin voidaan kustannuksia vaativia kolmannen vaiheen tutkimuksia (kuopat, kairaukset) vähentää.

*Luotainten käyttö sillapaikkatutkimuksissa.* Seisminen luotaus soveltuu erinomaisesti juuri tämän tapaisiin tutkimuksiin, koska tarvittavien kairausten määrää voidaan vähentää. Tässä yhteydessä ei kustannuksia tarkemmin analysoida.

Taulukko 6. Kannattava kalliotodennäköisyys ja läpimenotodennäköisyys eri korjauskustannuksilla.  
Table 6. Rentable hurting and passing probabilities based on different correction costs.

Korjauskustannus, mk <i>Correction cost, Fmk</i>	Kannattava kalliotodennäköisyys <i>Rentable hurting probability</i>		Kannattava läpimenotodennäköisyys <i>Rentable passing probability</i>	
		N		N
150	1,000	1	0,500	2
250	.429	2	.300	3
500	.176	6	.150	7
750	.111	9	.100	10
1 000	.081	12	.075	13
2 000	.039	26	.037	27
3 000	.026	39	.025	40
5 000	.015	66	.015	66

## KIRJALLISUUTTA

- HONKO, J. 1969. Investointien suunnittelu ja tarkkailu. Porvoo—Helsinki.
- JOHANSSON, S. 1964. On the hammer-seismograph model FS-2 and its use in Finland. *Geo-exploration*, Vol. 2, N:o 3.
- KANGAS, T. 1961. Seismissessä refraktioluotauksessa esiintyvistä virhelähteistä. TKK. Diplomityö.
- KORPELA, K. 1975. Hammer seismic sounding as an engineeringgeologic investigation method. *Rakennusgeologisen yhdistyksen julkaisuja*, Vol. 10, kirjoitus n:o 69.
- LAHERMO, P. ja RAINIO, H. 1972. Seismitet refraktioluotaukset maa-ainesarvioinneissa ja pohjavesitutkimuksissa. *Geologi* n:o 4.
- LEHTIMÄKI, J. 1976. Outokumpu Oy, malminetsintä. Seismografin käyttöohjeet.
- Metsäteiden rakentamista koskevat normit ja ohjeet. 1970. Metsähallitus. Helsinki
- MOONEY, H. 1973. *Handbook of Engineering, Geophysics*. Bison Instruments Inc. Minneapolis.
- Seismitet luotauslaitteet. Vertaileva selvitys. 1973 Imatran Voima Oy. Konekirjoite.

Pistetulkintaohjeita aloittelijalle. TVH. Konekirjoite.

TAANILA, P. 1962. A profile calculation method in seismic refraction surveys based on the use of the effective vertical velocity.

TURNER, H. 1971. Rapport om utredning betr.

seismiska undersökningar vid vägprojektering. Utvecklingsprojekt 2.5.1: geofysiska undersökningsmetoder. Seismiska metoder 1970. Statens vägverk. Stockholm.

Tienrakennuksen ohjekustannuksia. 1977. Metsähallitus. Konekirjoite.

## SUMMARY:

### SEISMIC SURVEY METHODS IN FOREST ROAD CONSTRUCTION

The aim of the study was to find out the technical and economical applicability of seismic survey methods for sub-surface earth investigations in forest road planning. Two seismographs, SOIL-TEST MD 1 and BISON 1570, were tested in studying 31 cuts and 3 gravel areas.

The devices proved to be useable in field conditions and in most cases it is possible to map the firmness and the thickness of loose earth layers accurately enough. The signal enhancement model is a more accurate one. By using this device, having a purchase price of Fmk 17 000,—, one is able to study some 10 areas per day. Sounding

a spot costs some 75,— Fmk. It is most beneficial to use the device in areas, where bedrock exists accidentally in the depth to be cut.

It is profitable to purchase a device in case digging out the unexpected bedrock causes higher annual costs than presented below:

Average additional costs, Fmk/case	1 000	2 000	3 000	4 000
Appearance of unexpected bedrock, freq./a	7	3	2	1