SUOMEN KALASTUSYHDISTYS n:o 50

KAIKULUOTAUSOPAS

KALAVESITUTKIMUS III

RYHÄNEN – OVASKAINEN

MK
-82

MIKKO KERÄNEN

SUOMEN KALASTUSYHDISTYS n:o 50

KAIKULUOTAUSOPAS

KALAVESITUTKIMUS III

REINO RYHÄNEN — RISTO OVASKAINEN

ALKUSANAT

Kaikuluotain on jo pitkään tunnettu merenkulun turvalaitteena. Sillä saadaan suoraan tiedot syvyydestä, nykyisin käytössä olevilla luotaimilla miltei millaisessa säässä tahansa. Laitteisto on vähitellen kehittynyt niin herkäksi, että myös kalaparvet, jopa yksittäiset kalatkin voidaan paikallistaa sangen suurella tarkkuudella. Kalaparvien sijaintisyvyyden määrittäminen kaikuluotaimella on ollut yksi troolikalastuksen yleistymisen ja tehostumisen tärkeimmistä edellytyksistä. Laitteiston kehittyessä myös järvien olosuhteisiin soveltuvaksi, on se otettu viime aikoina eri puolilla maailmaa myös sisävesikalastuksen käyttöön. Meillä Suomessakin on jonkin verran kokeiltu kaikuluotaimen käyttöä muikun kalastuksessa. Kaikuluotaimen käyttömahdollisuudet kalataloudellisessa- ja muussa vesistötutkimuksessa ovat laajentuneet viime aikoina huomattavasti laitteen teknisten ominaisuuksien parantumisen ansiosta.

Laitteistojen kehittyessä niiden tekninen rakenne yleensä monimutkaistuu. Varsinkin tehokkaat kalastukseen käytettävät kaikuluotaimet vaativat käyttäjältään jo melkoista asiantuntemusta ja kokemusta. Esimerkiksi tehon säätö kuhunkin tapaukseen parhaiten sopivaksi edellyttää paitsi laitteiston toiminnan, myös luotauksen teknisten perusteiden hallintaa. Kaikudiagrammien tulkitseminen (esimerkiksi kalaparvien ja yksittäisten kalojen havaitseminen ja niiden erottaminen pohjalla olevista kivistä tai muista pyydyksiä vahingoittavista kohteista) edellyttää kaikuluotauksen ja laitteen toiminnan periaatteiden tuntemista.

Puutteellinen kaikuluotaimen käytön tunteminen on monin paikoin varmaankin ollut esteenä sen tehokkaalle käytölle nimenomaan kalastuksessa. Tämän kirjasen tarkoituksena on osaltaan poistaa puutetta, joka johtuu siitä, että käytettävissä ei ole ollut suomenkielistä, kaikuluotauksen periaatetta, luotaimen käyttöä, rakennetta ja toimintaa sekä kaikudiagrammien tulkintaa käsittelevää kansantajuista opasta. Esitys on yksinkertaistettua ja perustuu suureksi osaksi tunnetun saksalaisen toiminimen julkaisemaan kirjaseen. Tämä ja eräät muut toiminimet ovat ystävällisesti antaneet luvan havainnollisten piirrosten, kuvien ja esimerkkidiagrammien julkaisemiseen. Niiden alkuperä sekä julkaisuoikeuteen liittyvät maininnat ovat koottuna oppaan loppuun liitteeksi.

Esityksessä on jouduttu käyttämään sellaisia alaan liittyviä käsitteitä, jotka ovat osittain suomen kielelle uusia. Näitä käsitteitä ei haluta esittää suinkaan ainoina mahdollisina, eikä edes oikeinakaan; niitä on jouduttu käyttämään parempien puuttuessa.

Oppaan toimittajat haluavat esittää parhaat kiitoksensa yhteistyöstä alan toiminimille sekä erityisesti maisteri Gösta Bergmanille, jonka asiantuntemus on ollut suureksi avuksi oppaan toimitustyössä.

Helsingissä joulukuussa 1968

Reino Ryhänen *Risto Ovaskainen*

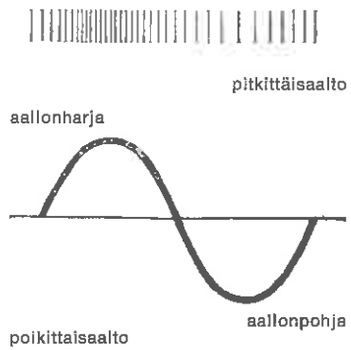
1. KAIKULUOTAUKSEN PERIAATE

Ääniaallot kaikuluotauksen perustana

Kaikuluotaimet lähettävät äänimerkkejä, ääniaaltoja, ja ilmoittavat niiden etenemiseen kuluneen ajan perusteella pohjan tai vedessä olevan muun ääntä heijastavan kappaleen etäisyyden. Ne eroavat periaatteessa tutkasta, jossa käytetään hyväksi radioaaltoja ja niiden heijastumia. Radioaaltojen suuren etenemisnopeuden vuoksi (300 000 km sekunnissa) palaa radioaaltojen kaiku takaisin paljon nopeammin kuin kaikuluotainten lähettämien ääniaaltojen kaiku. Ääniaallot kulkevat radioaaltoihin verrattuna sangen hitaasti, ilmassa n. 330 m sekunnissa. Vedessä ääni etenee tähän verrattuna lähes viisinkertaisella nopeudella, n. 1 500 m sekunnissa.

Ääni ei etene lainkaan tyhjiössä, sillä sen kulun perustana on äänen aikaansaama ainehiukkasten »tiivistyminen ja harventuminen» (pitkittäisaallot eli longitudinaaliaallot). Tämä aaltoliike voidaan havainnollistaa vertaamalla sitä poikittaiseen aaltoliikkeeseen (transversaaliaallot). »Tiivistymä» vastaa aallon harjaa ja »harventuma» aallon pohjaa (kuva 1).

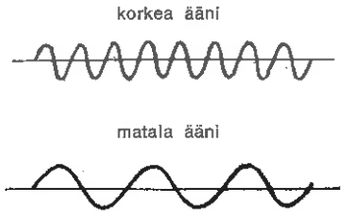
Kahden aallon harjan välinen etäisyys (aallonpituus) pysyy saman äänenkorkeuden vallitessa muuttumattomana koko äänen kulkeman matkan. Kun kivi heitetään veteen, aiheutuu siitä joka suuntaan etenevä aaltoliike harjoineen ja pohjineen. Tätä aaltoliikettä ei sellaisenaan voida kuitenkaan rinnastaa ääniaaltojen liikkeeseen, jossa vesihiukkasten (vesimolekyylien) aaltoliike on paljon nopeampaa.



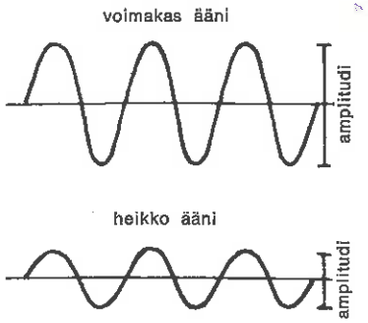
Kuva 1.

Värähdysluku eli frekvenssi

Äänellä tarkoitetaan jokapäiväisessä puheessa vain sellaista ääniaaltojen liikettä, jonka ihmiskorva voi kuulla. Ääniaalloilla täytyy olla tietty taajuus, tietty *värähdysluku* eli *frekvenssi*, ennenkuin ne voidaan ihmisen korvalla kuulla. Värähdysluvulla tarkoitetaan sekunnin aikana syntyneiden aaltojen lukumäärää. Saksalaisen fyysikon mukaan värähdysluvun yksiköksi on sovittu hertsi ja se lyhennetään kirjaimin Hz. Yksi Hz tarkoittaa yhtä värähdystä sekunnissa. Tuhat hertsiä on kilohertsi (kHz). Ihminen kuulee vain sellaisen äänen, jonka värähdysluku on yli 16 Hz. Jos värähdysluku kohoaa yli 20 000 Hz (20 kHz), ei ihmiskorva enää kykene sitä kuulemaan. Yli 20 000 Hz värähdysluvun ääniä kutsutaan *ultraääniksi*. Mitä pienempi värähdysluku on, sitä *matalampi* on ääni (kuva 2).



Kuva 2.



Kuva 3.

Äänen *voimakkuus* riippuu taas ääniaaltojen aallonpohjan ja aallonharjan välisestä erosta, ns. amplitudista (kuva 3). Ääni on siis sitä voimakkaampi, mitä tiheämpiä ovat edellämainitut »tihentymät» ja mitä harvempia »harventumat». Sekä korkea että matala ääni voi siis olla joko voimakas tai heikko (äänen korkeus riippuu värähdysluvusta, sen voimakkuus aallon korkeudesta).

Äänen etenemisnopeus ja aallonpituus

Ilmassa ääniaallot etenevät n. 330 metrin sekuntinopeudella, mutta vedessä siihen verrattuna lähes viisinkertaisella nopeudella, n. 1 500 m/sek, niinkuin edellä mainittiin. Äänen etenemisnopeuteen vaikuttavat jonkin verran veden lämpötila ja suolapitoisuus. Kun kaikuluotauksen perustana on äänen etenemisnopeus (luotain merkitsee itse asiassa sen ajan, mikä kuluu äänen kulkemaan matkaan luotaimesta luodattavaan ja takaisin), saattavat lämpötilan ja suolapitoisuuden vaihtelut aiheuttaa luotauksissa virheitä, jotka voivat olla korkeintaan 4 % luotaussyvyydestä.

Ääniaaltojen aallonpituus on sangen merkittävä tekijä kaikuluotaimen valinnassa eri tarkoituksiin. Laitteita esittelevissä esitteissä ilmoitetaan yleensä vain jaksoluku. Siitä voidaan kuitenkin helposti laskea aallonpituus ja saada siten hieman »kouriintuntuvampi» kuva tästä tärkeästä suureesta. Aallonpituus saadaan jakamalla äänen etenemisnopeus (vedessä) jaksoluvulla. Jos esimerkiksi kaikuluotaimen jaksoluku on 30 kHz (30 000 Hz), saadaan aallonpituudeksi

$$\frac{1\,500}{30\,000} = 0{,}05 \text{ metriä}$$

eli 5 cm. Ääniaallon kahden »harjan» välinen etäisyys on siis tässä esimerkkitapauksessa 5 cm. Monissa kalakaikuluotaimissa on jaksoluku juuri 30 kHz. Eräissä luotaimissa käytetään kuitenkin 50 kHz tai vieläkin suurempaa jaksolukua, jolloin aallonpituus on vastaavasti pienempi. Voidaan kuvitella, että mitä lyhyempi aallonpituus on, sitä pienemmistä esineistä kaiku palaa, eikä esine jää aallonharjojen »väliin». Kalakaikuluotaimet toimivatkin poikkeuksetta ultraäänien alueella (yli 20 kHz).

Ääniaaltojen heijastuminen ja kaiku

Ääniaaltojen kohdatessa sellaisen kappaleen, jossa niiden etenemisnopeus muuttuu, jatkaa vain osa etenemistään kohdatussa kappaleessa, toinen osa heijastuu. Heijastuvan ja toiseen väliaineeseen tunkeutuvan osan suhde riippuu kummankin aineen ominaisuuksista, lähinnä niiden tiheyserosta. Mitä enemmän nämä ominaisuudet poikkeavat toisistaan, sitä tehokkaammin ääni heijastuu ja sitä selvempi merkki kaikudiagrammiin yleensä saadaan.

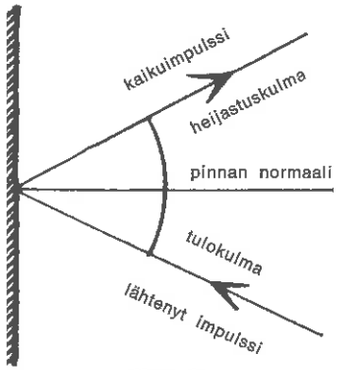
(Tiheydellä tarkoitetaan tasa-aineisen aineen massaa tilavuusyksikköä kohti. Puhtaan veden tiheys on 4° C:ssa 1 kg/dm³, suolapitoisuuden kasvaessa veden tiheyskin kasvaa, lämpötilan noustessa veden tiheys taas pienenee jne.)

Jokainen on havainnut ilmassa etenevän äänen heijastuvan kaikuna sopivan etäisyyden päässä olevista esineistä, esimerkiksi kallionseinämistä tai muista laajoista pinnoista. Vaikka kaikuna heijastuva ääni aina on heikompi kuin lähtenyt ääni, sen aallonpituus pysyy muuttumattomana. Äänen heikkeneminen johtuu paitsi siitä, että osa äänestä »imeytyy» ääniaaltojen kohtaamaan kappaleeseen, myös ja ennen kaikkea siitä, että sekä lähtevä että heijastuva ääni etenevät lähtöpisteestään kaikkiin suuntiin. Ääni siis ikäänkuin »laimenee» matkallaan. »Laimentuminen» on luonnollisesti sitä suurempi, mitä kauempana ääni on lähtökohdastaan. Jos äänensynnyttäjä on esim. veden pinnan alapuolella, etenevät ääniaallot veden sisässä kaikkiin suuntiin 1 500 m sekunnissa kasvavan pallon tapaan. Kun pallon pinta-ala kasvaa suhteellisesti nopeammin kuin säde (pallon pinta-ala $4\pi\ r^2$), laskee äänen teho neljäsosaan alkuperäisestä etäisyyden kohotessa kaksinkertaiseksi. Kolminkertaisella etäisyydellä on äänen voimakkuus vain yhdeksäsosa alkuperäisestä, neljän metrin etäisyydellä kuudestoistaosa jne. Kaikuluontainten äänimerkki lähtee laivan tai veneen pohjassa olevasta lähettimestä ja saapuu pohjasta, kaloista yms. heijastuneena takaisin lähtökohtaansa aina huomattavasti heikentyneenä. Heikentyminen on sitä suurempi, mitä suurempi on heijastavan kappaleen tai pinnan etäisyys lähettimestä ja mitä pienempi osa äänestä heijastavan kappaleen pinnalta on kaikuna heijastunut (mitä pienempi on veden ja heijastavan kappaleen tiheyksien ero). Takaisin lähtökohtaansa palannutta osaa heijastuneesta äänestä kutsutaan kaiuksi. Kaiku muuttuu vastaanottimessa sähköimpulssiksi, niinkuin myöhemmin esitetään, ja vahvistuu elektronivahvistimessa piirtyen kaikuluotauspaperiliuskalle tummaksi merkiksi.

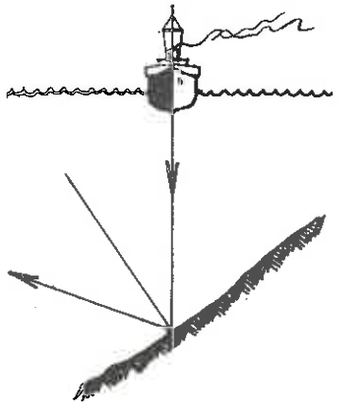
Äänen heijastumisen lait

Kaikuluotaimen tehokkaan ja oikean käytön edellytyksenä on tieto siitä, mitä ja kuinka kaukana kalastusaluksesta olevia kohteita luotain merkitsee. On myös pystyttävä arvioimaan, kuinka suuressa kulmassa alukseen nähden havaittava kohde voi olla. Kun nämä seikat riippuvat osaltaan ääniaaltojen heijastumisen yleisistä laeista, edellyttää luotausdiagrammien tarkoituksenmukainen tulkinta vielä eräiden ääniopin perusteiden tuntemista.

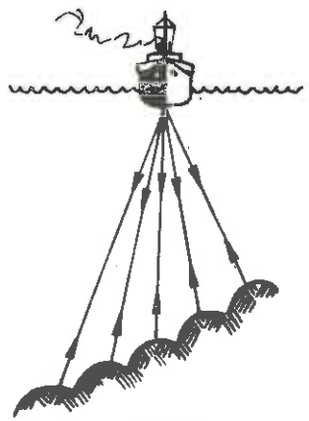
Ääniaallot heijastuvat valon tavoin. Jos esimerkiksi peili on suunnattu kohtisuoraan aurinkoon, ei se sokaise ketään, mutta jos



Kuva 4.



Kuva 5.



Kuva 6.

muutetaan auringosta tulevien valonsäteiden ja peilipinnan välistä kulmaa, saadaan valo heijastumaan peilistä »auringon ohi». Mitä viistompaan valonsäde peiliin tulee, sitä viistompaan se peilistä heijastuu. Tulevan valonsäteen ja peilin välinen kulma on yhtä suuri kuin heijastuvan valonsäteen ja peilin välinen kulma. Kohtisuoraan tiettyyn pintaan tuleva valonsäde — ja myös ääni — heijastuu takaisin samaa tietä. Jos ääniaalto kohtaa heijastavan pinnan tietyssä kulmassa pinnan normaaliin, eli pintaa vastaan kohtisuorassa olevaan suoraan nähden, se heijastuu samassa kulmassa (kuva 4). *Tulokulma on siis aina yhtä suuri kuin heijastuskulma.*

Tämä tosiasia on yksi kaikuluotaustekniikan tärkeimmistä. Se merkitsee mm. sitä, että johonkin pintaan viistoon sattuneet ääniaallot eivät koskaan palaa kaikuna takaisin lähtökohtaansa, vaan heijastuvat sen ohi (kuva 5). Kun otetaan huomioon aluksen kallistelu ja pohjan muoto, voidaan ihmetellä, että ylimalkaan saadaan takaisin lähtökohtaansa palaavia kaikuja. Selitys on lähinnä se, että pohja on harvoin sileä. Se koostuu tavallisesti lukemattomista pienemmistä tai suuremmista kappaleista ja hiukkasista. Niistä löytyy aina myös tulevaan ääniaaltoon nähden kohtisuorassa olevia pintoja, joista kaiku palaa takaisin lähtökohtaansa (kuva 6). Myös kalan pinnan jokin kohta on aina kohtisuorassa saapuvaan ääneen nähden ja heijastaa sen suoraan takaisin aluksen luotauslaitteisiin.

Jokainen kaikuluotauksia suorittanut on todennut, että kohtuullisella etäisyydellä olevan pohjan heijastama kaiku on aina selvästi voimakkaampi kuin tiheänkään kalaparven. Tämä johtuu osittain siitä, että tiheimmässäkin kalaparvessa on aina aukkoja, joista ääni pääsee jatkamaan matkaansa pohjalle. Kalaparvi ei siis koskaan estä pohjan piirtymistä kaikuluotauspaperille. Ääniaallot heijastuvat kalaparvesta huonommin kuin pohjalta myös siitä syystä, että kalan koostumus on tässä suhteessa »ääniteknillisesti» epäedullisempi kuin pohjan. Ääni »imeytyy» kalaan paremmin kuin pohjaan, sillä kalan ja veden tiheyksien väliset erot ovat yleensä pienemmät kuin pohjan ja veden.

Voidaan siis lopuksi todeta, että pohja antaa yleensä paremman kaiun kuin kalaparvi, joka puolestaan näkyy sitä selvemmin, mitä tiheämpi se on. Kalaparvi taas antaa voimakkaamman kaiun kuin parven yksittäinen kala ja iso kala paremman kuin pieni (kuva 7).

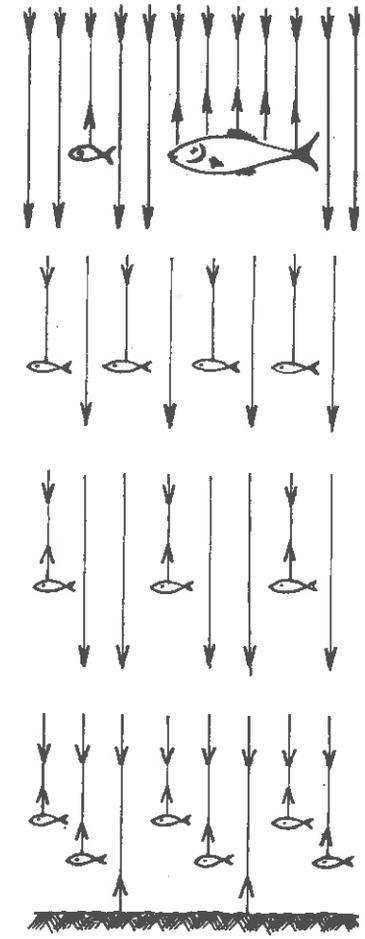
Ultraääni ja sen käytön edut

Edellä mainittiin, että ultraäänien (yli 20 kHz) käyttö kalastukseen tarkoitetuissa luotaimissa on välttämätöntä, ja että äänen aallonpituus voidaan laskea jaksoluvusta. Aallonpituuden merkityksestä kaikuluotainten »erotuskyvyn» mittana antaa havainnollisen kuvan veden pinnan aaltoliike. Kovalla tuulella, jolloin aallot ovat korkeita ja aallonharjojen etäisyys suuri (aallonpituus suuri), ei vähäinen este, esimerkiksi vedessä pystyssä oleva keppi, kykene aiheuttamaan sanottavasti aaltojen heijastumista takaisin. Ristiaallokon syntymiseen tarvitaan silloin suurempi este, esimerkiksi kallionseinämä. Jos aallokko sensijaan on vähäistä »liplatusta» ja aaltojen harjan väli lyhyt, voidaan aaltojen todeta heijastuvan varsin pienistäkin esteistä, vaajoista, kasveista jne.

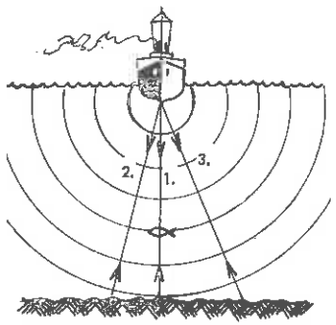
Myös ääniaallot heijastuvat sitä pienemmistä esteistä, mitä lyhyempi niiden aallonpituus on. Juuri tästä syystä kalakaikuluotaimissa käytetään yksinomaan ultraääniä. Koneiden käynnistä, veden loiskinnasta yms. johtuva ääni ei myöskään häiritse lyhytaaltoista kaikuluotausta läheskään niin paljon kuin pitkäaaltoista. Häiriöäänet ovat nimittäin yleensä suurimmaksi osaksi ihmiskorvalla kuultavien äänien alueella (alle 20 000 Hz).

Äänen heikkenemisen erääksi syyksi mainittiin edellä sen hajaantuminen vedessä kaikkiin suuntiin. Ääni voidaan kumminkin »koota» ja osittain estää tästä syystä tapahtuva heikkeneminen. Vaikutus on sama kuin megafonin avulla aikaansaatu kuuluvuuden parantuminen (kuva 8). Äänen suuntaus voidaan kaikuluotaimissa saada aikaan ultraääniä käytettäessä teknillisesti helpommin kuin pitempiaaltoisia käytettäessä. Lähemmin puuttumatta tämän tosiasian perusteluihin, mainittakoon, että suuntausvaikutus riippuu sekä aallonpituudesta että ääntä lähettävän kappaleen pinnan läpimitasta. Jos halutaan saada aikaan äänen suuntautumista sellaisella luotaimella, jonka jaksoluku on esim. 1 000 Hz (aallon pituus siis 1,5 m), täytyisi ääntä lähettävän pinnan läpimitan olla yli 1,5 m. Esimerkiksi 30 000 Hz luotaimissa (joissa ääniaallon pituus on 5 cm) saadaan suuntautuminen aikaan jo yli 5 cm:n läpimittaisilla lähetinkappaleilla. Tällaisissa luotaimissa käytetäänkin yleisesti laitteita, joiden koko on esim. 8,5 × 14,0 cm, jolloin pienempi läpimitta on siis n. 1,7 ja suurempi 2,8 kertaa aallonpituus. Jos jaksoluku on vielä suurempi, saadaan suuntautuminen aikaan vastaavasti vielä pienemmillä lähetinkappaleilla. Äänen suuntaus on sangen tärkeä tekijä nimenomaan kalojen paikallistamisessa niinkuin myöhemmin esitetään.

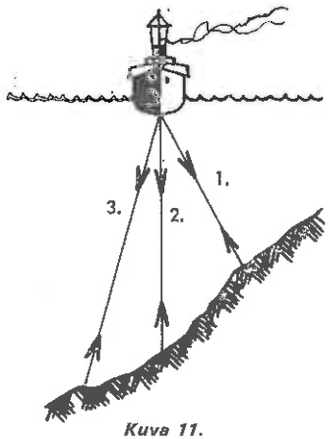
Miksei sitten käytetä vieläkin pienempiä aallonpituuksia (= korkeampaa jaksolukua)? Ultraäänien käytöstä koituu myös tiettyjä hankaluuksia. Tärkein rajoitus hyvin suurien jaksolukujen käytölle on lyhytaaltoisen äänen taipumus »imeytyä» kohtaamaansa esineeseen pitempiaaltoista ääntä tehokkaammin. Tietyn rajan yli jaksolukua ei siis voida kohottaa, vaikka siten saataisiinkin aikaan tarkkuuden lisääntyminen ja häiriöiden vähentyminen, sillä sa-



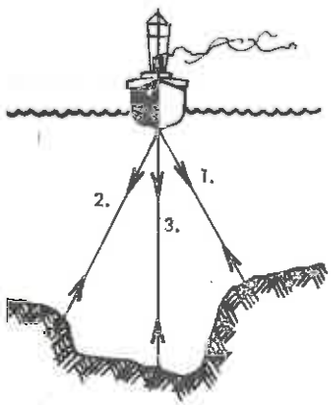
Kuva 7.



Kuva 10.



Kuva 11.

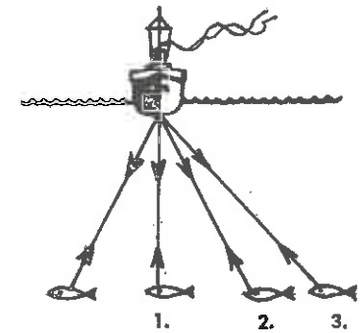


Kuva 12.

ole sama kuin todellinen syvyys. Tarkasteltakoon asiaa hieman lähemmin. Jos alus kulkee tasapohjaisen vesistön pinnalla, ehtii kaiku takaisin ensiksi tietenkin siltä pohjan kohdalta, joka on suoraan aluksen alapuolella (kuva 10). Muualta kaiut palaavat vastaanottolaitteeseen myöhemmin, sitä myöhemmin mitä kauempaa ne tulevat. Vesistön pohjalla on kauempanakin pintoja, jotka ovat ääniaaltojen tulosuuntaan nähden kohtisuorassa, ja joista ääniallot heijastuvat niinkuin aikaisemmin on esitetty. Kun kauempaa tulevat kaiut rekisteröityvät paperille saapumisjärjestyksessään, koostuu pohjan kuvaaja monista perättäisistä merkeistä. Pohjaa tarkoittava merkki on siten aina paljon paksumpi kuin pintaviiva. Jos pohja on tasainen, vastaa luotaussyvyys todellista syvyyttä, koska suoraan alapuolella oleva pohja piirtyy paperille ensin. Asian laita on toisin silloin, jos pohja aluksen sivulla on lähempänä kuin suoraan aluksen alla (kuvat 11 ja 12). Viimeksi mainitussa tapauksessa piirtyy pohjan pinta paperille lyhimmän, sivulta heijastuneen kaiun perusteella ja todellinen, suoraan aluksen alla oleva syvyys on suurempi kuin luodattu syvyys.

Sama tosiasia koskee periaatteessa myös kalojen esiintymissyvyyden paikallistamista. Vain ne kalat, jotka ovat kohtisuoraan aluksen alapuolella, tulevat rekisteröidyiksi oikeaan syvyyteen. Sivulla olevat rekisteröityvät sen sijaan syvemmälle, sitä syvemmälle, mitä sivummalla ne ovat (kuva 13). Kaikudiagrammeista ei siis voida varmuudella sanoa, missä syvyydessä rekisteröitynyt kalaparvi tai kala tosiasiassa on. Tämän epävarmuuden täydellinen poistaminen ei ole ollut toistaiseksi mahdollista. Jos voitaisiin estää lähetetyn äänen leviäminen eri suuntiin, eli siis suunnata lähetetyt ääniaallot mahdollisimman suppeaksi kartioksi, voitaisiin vähentää sivuilta tulevien kaikujen määrää. Liian ahtaaksi suunnatun ääniaaltokeilan käytöstä seuraisi kuitenkin se merkittävä haitta, että aluksen vähäisetkin kallistumat aiheuttaisivat äänikeilan suuntautumisen aluksen heilahtelujen mukaan kauemmaksi tai lähemmäksi. Pohja tai kalaparvi rekisteröityisi näin milloin syvemmälle, milloin matalammalle aluksen heilumisesta riippuen. Toistaiseksi ei ole löydetty käyttökelpoisia keinoja lähetin- ja vastaanotinlaitteiden asentamiseksi laivakompassien tapaan niin, että ne heilumisesta huolimatta lähettäisivät ääni-impulssin kohtisuoraan alaspäin. Kun tämä ongelma ratkaistaan, voidaan ääniaallot »ahtaa» nykyistä kapeampiin keiloihin.

Luotaimissa on siis tietty ns. ulottuvuusalue, jolla tarkoitetaan sitä vesitilaa, josta kaikuja laitteella rekisteröity. Liian kaukaa sivuilta tulevien kaikujen rekisteröityminen on mahdollisuuksien mukaan pyritty estämään suuntaamalla ääniallot mahdollisimman »ahtaaksi» keilaksi, kuitenkin laitteen käyttökelpoisuutta vaarantamatta. Nykyinen ratkaisu on siis eräänlainen kompromissi siihen asti, kunnes on kehitetty laitteistot lähetin- ja vastaanottolaitteiden heilumisesta johtuvien rajoituksien poistamiseksi.



Kuva 13.

Ääni-impulssi ja kaiku

Ultraääntä saadaan aikaan eri tavoin. Kaikuluotaimissa yleisimmin käytetty tapa perustuu nikkelin tai nikkelilejeerinkien ominaisuuteen kutistua magneettikentässä. Jos nikkelisauvan ympärille kierretään sähköjohtokäämi ja johtoon johdetaan sähköimpulssi, niin sauva kutistuu. Tämä kutistuma on pieni, mutta kaikuluotauksenkin tarkoitukseen riittävä. Vaikka virtapiirissä ei impulssin jälkeen enää olekaan virtaa, jatkaa sauva värähtelyään vielä tietyn ajan normaalipituutensa molemmin puolin. Värähdyksen laajuus (amplitudi), mistä äänen voimakkuus määräytyy, on suurin heti impulssin jälkeen ja pienenee vähitellen nollaan. Koko tapahtuma on sangen nopea ja kestää nikkelisauvaa käytettäessä n. tuhannesosasekunnin ajan. Vaikka siis värähdyksen laajuus (äänen voimakkuus) vaihtelee, pysyy värähdysluku (äänen korkeus) muuttumattomana (vrt. s. 6). Käytettäessä sopivaa nikkeliseosta ja sopivanpituista sauvaa voidaan valmistaa laitteita, joilla on tietty värähdysluku. Kun tällainen systeemi pannaan veteen, siirtyy ääni-impulssi nikkelisauvasta siihen ja jatkaa etenemistään aikaisemmin esitettyjen periaatteiden mukaan.

Kaikuluotaimissa käytetty lähetinkappale muistuttaa yleensä enemmän pakettia kuin sauvaa. Käytettäessä suorakaiteen muotoisia pintoja, on helpompi supistaa äänikeilaa, jonka laajuus riippuu lähetinkappaleen pinnan mitoista. Käytetty muoto on erinäisiltä muiltakin teknisiltä ominaisuuksiltaan edullisempi kuin sauva. Lähetinlaite koostuu tavallisesti toisistaan eristetyistä nikkelilevyistä. Käämiin johdettava jännite on monissa luotaimissa 2 000 volttia ja ultraääniaaltojen lähtöteho n. 5 wattia/cm^2.

Jos kaikuluotaimen värähdysluku on esim. 30 kHz (niinkuin monissa kalastukseen käytetyissä luotaimissa), tekee lähettimen nikkelimassa 30 000 värähdystä sekunnissa eli 30 värähdystä sekunnin tuhannesosassa.

Kaiun vastaanottaminen rekisteröityväksi sähköimpulssiksi perustuu taas siihen tosiasiaan, että jos edellä kuvattuun lähetinsysteemiin tulee ääni-impulssi, synnyttää se käämissä puolestaan sähköimpulssin, jonka voimakkuus riippuu äänen voimakkuudesta. Vastaanotin on siis rakenteeltaan lähetinlaitteen kaltainen. Kun lähetinlaitteisto muuttaa sähköimpulssin ääni-impulssiksi, vastaanotinlaitteisto muuttaa ääni-impulssin sähköimpulssiksi ja vahvistaa sen. Vastaanotinlaitteisto on herkin nimenomaan niille ääniaalloille, joiden värähdysluku on sama kuin laitteen lähettämä. Häiritsevien äänien vaikutus voidaan siis välttää käyttä-

mällä häiriöäänien värähdysluvusta poikkeavia värähdyslukuja. Niinkuin edellä mainittiin, ovat sekä lähetin- että vastaanotinkappale kaikuluotaimissa yleensä tekniseltä rakenteeltaan samanlaiset. (Vastaanotinlaitteisto saattaa erota lähetinlaitteistosta korkeintaan siinä suhteessa, että sen nikkelilevystö on tehty etukäteen magneettiseksi.) On myös luotaimia, joissa sama laite toimii sekä lähettimenä että vastaanottimena.

Kun ääniaallot heijastuvat ilman ja veden rajapinnalta lähes kokonaan, saattavat lähetin-vastaanotinsysteemin ja veden rajapinnalle pääsevät ilmakuplat estää ääniaaltojen kulun. Merenkäynnin tai suuren nopeuden aiheuttamien ilmakuplien aikaansaamat häiriöt lähetin-vastaanotinkappaleiden pinnalla voidaan useimmissa tapauksissa estää valitsemalla laitteiden sijoituspaikka oikein. Sensijaan peruutuksen yhteydessä syntyvän potkurivirtauksen aiheuttaman ilmakuplahäiriön estäminen on vaikeampaa. Viimeksi mainitulla on yleensä kuitenkin toisarvoinen merkitys. Lähetin- ja vastaanotinlaitteiden sijoittaminen on syytä aina antaa asiantuntijoiden tehtäväksi.

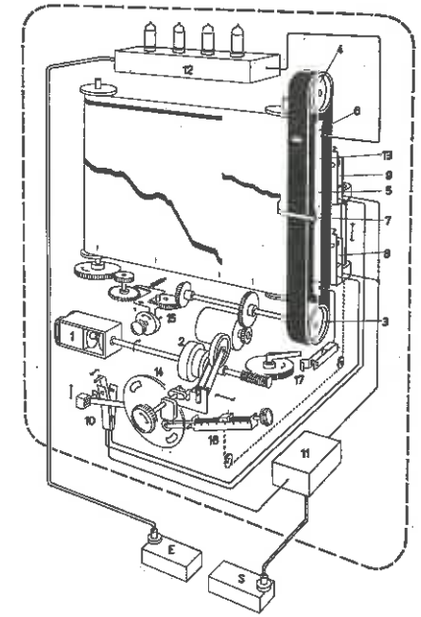
Lähettimen impulssi kestää hyvin lyhyen ajan, usein vain tuhannesosasekunnin. Värähdyslaajuus (amplitudi) on suurin impulssin alussa. Se pienenee mainitun ajan kuluessa nollaan. Kun kaiku saapuu vastaanotinlaitteeseen, ei ensiksi tuleva sysäys vielä saa nikkelimassaa laajimpaan värähdysliikkeeseen (massan »hitaudesta» johtuen), vaan vasta seuraavat. Näin siis vastaanottimen värähdysaika on pitempi, yleensä likipitäen kaksinkertainen lähettimen värähdysaikaan verrattuna.

Kaiun aiheuttama nikkelimassan värähdys ja siitä johtimissa indusoitunut sähköimpulssi on sangen heikko. Se on vahvistettava, että se voisi aiheuttaa kaikuluotaimen rekisteröintilaitteissa riittävän tehon merkin piirtymistä varten. Sähköimpulssin vahvistaminen tapahtuu putki- tai transistorivahvistimilla, joiden tehoa voidaan säätää. Suurentamalla vahvistustehoa rekisteröityvät paperille yhä heikommat kaiut. Nykyiset kaikuluotaimet ovat tässä suhteessa sangen suorituskykyisiä, mm. kalastukseen käytettävät laitteet vahvistavat kaiun indusoiman sähköenergian moninkertaiseksi, monissa luotaimissa jopa 100 000 000-kertaiseksi. Jos vahvistin säädetään suurimmalle mahdolliselle teholleen, tulee mukaan kuitenkin osittain myös sellaisia häiriöääniä, joilla on toinen värähdysluku kuin itse luotaimen kaiulla, joten paperi tummuu kauttaaltaan. Vahvistinlaitteisto tarjoaa kaikuluotaimen käyttäjälle joka tapauksessa sangen laajan säätöasteikon. Tämän mahdollisuuden oikeasta käyttämisestä riippuu olennaisesti kaikuluotauksen onnistuminen. Vahvistuksen säädön vaikutusten ja mer-

kityksen tunteminen onkin yksi kaikuluotaimen käytön ja kaikudiagrammien tulkinnan tärkeimmistä edellytyksistä.

Kaikuluotaimen toiminta

Syvyyden mittaus, joka edellä esitetyn perusteella tiedetään oikeastaan sen ajan mittaamiseksi, joka kuluu lähettimestä kohteeseen kulkeneen ääni-impulssin ja siitä takaisin vastaanottimeen heijastuneen kaiun kulkemaan matkaan, tapahtuu kaikuluotaimissa tasaisesti liikkuvan piirtimen avulla. Piirrin voi olla kiinnitetty hihnaan, kuten useissa luotaimissa. Tarkastellaan asiaa kuvan 14 avulla. Tarkoin tasaisella kierrosluvulla pyörivän sähkömoottorin (1) liike siirtyy vaihteistoon (2) ja sen kytkimen kautta hihnapyörään (3). Vaihteiston avulla voidaan hihnalle säätää erilaisia nopeuksia. Jos hihnan nopeus säädetään esim. puoleen aikaisemmasta, tarkoittaa paperille piirtyvä merkki aikaisempaan verrattuna kaksinkertaista syvyyttä. Hihnaan on kiinnitetty tietyn välimatkan päähän toisistaan piirrinkärki (7) ja kontaktikärkien sulkijakappale (6), joka kytkee jommankumman hihnan takana olevista kontakteista (8 tai 9). Kontaktit voidaan valita toimimaan vaihtoehtoisesti, jolloin aikaisemmalla kontaktilla impulssi lähtee aikaisemmin ja syvyysulottuvuus suurenee, silloin luotain ei kuitenkaan piirrä paperin yläosaan pintalinjaa. Kulkiessaan kontaktin ohi, hihnan sulkijakappale kytkee virtapiirin ja antaa lähetinsysteemissä (11) sähköimpulssin, joka muuttuu ääni-impulssiksi lähetinkappaleessa (S).



Kuva 14.

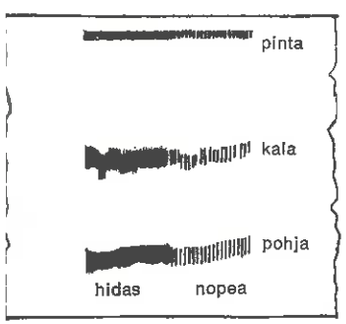
Kun luotain asetetaan toimintaan, liikkuu hihna piirtimineen ja sulkijakappaleineen niin, että piirtimen liike paperin puoleisella sivulla on ylhäältä alaspäin. Sulkijakappale (6) sulkee kontaktikärjen (9) juuri silloin, kun piirrin on paperilla pintaa (0 metrin syvyyttä) kuvaavan viivan kohdalla. Tällä hetkellä lähtee myös sähköimpulssi lähetinpiirin kautta (11) lähetinkappaleeseen (S), jossa se muuttuu ääni-impulssiksi ja lähtee etenemään vedessä aikaisemmin esitettyjen periaatteiden mukaan. Osa sähköimpulssista vahvistuu vahvistimessa (12) samanaikaisesti ja kulkee vahvistettuna kontaktiliuskan (13) kautta edelleen piirtimeen, joka polttaa paperille pintaa kuvaavan viivan kohdalle lähtömerkin. Impulssin lähdön hetkellä alkaa myös ajanmittaus. Piirrin liikkuu pitkin paperin pintaa tasaisella nopeudella ja samalla »odottaa» palaavan kaiun antamaa impulssia. Kun kaiku palaa vastaanotinkappaleeseen (E), muuttuu vastaanotettu ääni-impulssi sähköenergiaksi ja johtuu vahvistimen (12) kautta kontaktiliuskaan (13) ja edelleen piirtimeen, joka tänä lyhyenä aikana on ehtinyt siirtyä sille kohdalle asteikkoa, jossa on valmiiksi laskettu äänen edestakaiseen matkaan kulunutta aikaa vastaava luotaussyvyys. Jos

luotaussyvyys on ollut esimerkiksi 75 metriä, on ääni kulkenut 150 metriä (75 metrin matkan edestakaisin). Kun äänen nopeus vedessä on n. 1 500 m/sek, koko edellä kuvattuun tapahtumasarjaan on kulunut aikaa vain 0,1 sekuntia. Jos paperin leveys on esimerkiksi 180 mm, ja jos neula on liikkunut tänä 0,1 sekunnin aikana paperin alarajalle, on paperin koko leveys vastannut 0...75 metrin syvyyttä. Piirrinhihnan nopeus voidaan kuitenkin vaihteistolla (2) säätää esim. kaksinkertaiseksi, viisinkertaiseksi tai kymmenkertaiseksi, jolloin paperille sopii vastaavasti 0...150, 0...375 tai 0...750 metrin syvyysalue. Eräissä malleissa on sitäpaitsi mahdollista käyttää vielä välialueita lähettämällä kaiku matkaan aikaisemmin, toisen kontaktin (8) kautta, jolloin pintaviiva ei piirry paperille lainkaan. Näin saadaan eri hihnanopeuksilla edellämainittujen lisäksi syvyysasteikot 50...125, 100...250 tai 500... 1 250 metriä. Kaaviokuvassa olevassa luotaimessa on vaihdettu asteikkoaluetta viimeksimainitulla tavalla, ja pintaviivan kuvaaja on jäänyt pois.

Piirtimen liike kertan paperin yläreunalta alareunaan merkitsee yhden luotauksen tapahtumaa. Piirtimen liikkuessa ylöspäin laitteen takaosassa siirtyy paperi hieman eteenpäin uutta luotausta ja piirtimen ylikulkua varten. Paperin liike on säädettävissä nopeammaksi tai hitaammaksi tarpeen mukaan.

Paperin liikkumisnopeus ja sen merkitys

Kaikuluotausdiagrammi koostuu monien erillisten luotausten merkeistä. Kun paperille tumman merkin jättävä kipinöinti jatkuu niin kauan kuin vastaanotin värähtelee, ja kun piirrin liikkuu paperin yli sangen nopeasti, ei kaiun piirtämä merkki ole pelkkä piste vaan lyhyt viiva. Seuraavalla hihnan kierroksella samasta kappaleesta lähteneet kaiut piirtyvät edellisten merkkien viereen, sitä lähemmäksi mitä pienempi paperin liike kaikujen välillä on.



Kuva 15.

Kun paperin hitaalla liikkumisnopeudella syntyy samalle paperialalle enemmän merkkejä kuin nopealla, on myös diagrammi tummempi. Kun tummuus toisaalta on myös kaiun tehokkuuden merkki, saattaa pelkkä paperin liikkumisnopeuden muuttaminen aiheuttaa väärinkäsityksen (esimerkiksi kalaparven tiheydestä!) ellei paperin liikkumisnopeuden vaikutusta oteta huomioon. Hitaasti liikkuvalle paperille piirtyy siis samasta kohteesta (kalaparvi, pohja) tummempi kuvio kuin nopeasti liikkuvalle (kuva 15.)

Useimmissa kaikuluotaimissa on erillinen, paperin päälle asetettava metriasteikko, jolla kaiun aiheuttaneen kohteen etäisyys voidaan mitata. Kun lähetin ja vastaanotin eivät ole aivan veden

pinnalla, vaan aluksen pohjassa, on pintaviiva siirrettävä oikealle kohdalleen säätimellä (kuva 14 kohta 16) ja korjattava syvyyslukema kunkin luotaimen mukana seuraavien ohjeiden mukaisesti.

Luotaussyvyyden mittaaminen on virheetön vain sillä edellytyksellä, että hihnan nopeus pysyy muuttumattomana. Luotaimet tarkistetaan yleensä valmistajan toimesta perusteellisesti. Hihnan nopeus saattaa kuitenkin pitkän käytön aikana jonkin verran muuttua. Muutos voidaan todeta laskemalla tarpeellisen ajan lämminneen luotaimen kierrosnopeus. Jos se poikkeaa käyttöohjeissa mainitusta, on laite säädettävä käyttöohjeiden mukaisesti. Eräissä luotaimissa on säätölaitteet myös veden suolapitoisuuden ja lämpötilan vaihteluista aiheutuvia korjauksia varten.

3. KAIKUDIAGRAMMIT JA NIIDEN TULKINTA

Jo aikaisemmin mainittiin, että ääni-impulssit suunnataan »ahtamalla» ne tiettyyn keilaan. Näin kullakin kaikuluotaimella on oma ns. ulottuvuusalueensa, johon ääni pääasiassa suuntautuu, ja josta myös kaikuja pääasiassa saadaan. Tämän alueen koko ja muoto riippuvat monista seikoista. Kun ulottuvuusalueella on sangen olennainen merkitys kaikudiagrammien tulkinnassa, on syytä tarkastella sitä vielä hieman lähemmin.

Ääniaaltojen suuntautuminen on sitä tehokkaampi, mitä suurempi on lähettimen (ja vastaanottimen) läpimitta ääniaallon pituuteen verrattuna. Jos lähetin- ja vastaanotinkappaleiden pinnat olisivat pyöreitä, olisi ulottuvuusalue eteen- ja taaksepäin sekä sivuille yhtä suuri. Useimmissa kaikuluotaimissa lähetin- ja vastaanotinkappaleet ovat kuitenkin suorakaiteen muotoisia, jolloin suorakaiteen pitempi sivu yleensä asennetaan aluksen kulkusuuntaan. Kun äänikeilan supistuminen on siis sitä tehokkaampi, mitä suurempi on kappaleen läpimitta aallonpituuteen verrattuna, seuraa tästä, että ulottuvuusalue on aluksen kulkusuunnassa pienempi kuin sivusuunnassa. Tällaiseen ulottuvuusalueen muotoon pyritään siitä syystä, että aluksen heilumiskulma on sivuaallokossa suurempi kuin vasta- tai myötäaallokossa. Ulottuvuusalueen *poikkileikkaus* on siis yleensä ellipsi, jonka suurempi halkaisija on kohtisuorassa aluksen kulkusuuntaan nähden.

Ulottuvuusalueen *pituusleikkauksen* muoto ei ole yhtä yksiselitteinen. Vaikka ääniaallot onkin suunnattu tietyllä tavalla, vaihtelee pituusleikkauskuvion muoto ja sen ulottuvuus suuresti äänen heijastumisesta, vedessä olevien ääntä heijastavien kappaleiden koosta, muodosta ja ominaisuuksista johtuen. Tehokkaallakaan suuntauksella ei ulottuvuusaluetta saada käytännössä »puhtaan» muotoiseksi, aina rekisteröityy hajakaikuja myös lasketun alueen, sivuilta, joskin tietenkin huomattavasti heikompina kuin varsinaiselta ulottuvuusalueelta. Ulottuvuuteen vaikuttaa luonnollisesti myös lähtevän ääni-impulssin teho, jota ei yleensä voida muuttaa. Vaikutusalueen keskipisteestä heijastuneet kaiut ovat voimakkaimpia. Kappaleiden muoto ja ominaisuudet vaikuttavat lisäksi osaltaan kaiun voimakkuuteen. Kohteen muoto saattaa esimerkiksi olla sellainen, että kohtisuoraan saapuvia ääniaaltoja vastaan oleva

pinta ei olekaan ulottuvuusalueen poikkileikkaustason keskipisteessä, vaan sen sivulla, josta silloin palaa muita voimakkaampi kaiku (kuva 16). Ulottuvuuteen vaikuttaa edelleen vahvistuksen teho. Jos se on säädetty suureksi, saadaan rekisteröityviä kaikuja kauempaa sivuilta kuin pienemmäksi säädetyllä vahvistuksella.

Kaikuluotaimen ulottuvuusalueen koko ja muoto eivät siis ole muuttumattomia, vaan riippuvat lukuisista tekijöistä. On myös otettava huomioon, että ulottuvuusalue on eri syvyyksissä erilainen (kuva 17).

Ulottuvuusalueen suurimman läpileikkauksen arvioiminen

Kaikuluotaimen ulottuvuusalueen läpimitta voidaan parhaiten arvioida luodattaessa tasaista pohjaa. Kaiku ehtii ensiksi takaisin kohtisuoraan aluksen (lähetinkappaleen) alla olevasta kohdasta ja viimeiseksi kauimpana ulottuvuusalueen rajalla olevasta kohdasta (kuva 18). Myös tältä väliltä palaa kaikuja. Ne saapuvat peräkkäin järjestyksessä, joka määräytyy niiden heijastumispaikan etäisyydestä ulottuvuusalueen keskipisteeseen. Tästä seuraa, että pohjan kuvaaja on verraten paksu (kuva 19). Se on sitä paksumpi, mitä kauempaa sivulta laitteisto pystyy kaikuimpulsseja rekisteröimään. Tämä ns. kaiun pituus riippuu siis ulottuvuusalueen suurimmasta läpimitasta. Jos vahvistus säädetään voimakkaammaksi, suurenee kaiunpituus ja luotain rekisteröi kaikuja laajemmalta alueelta.

Kaikudiagrammeista voidaan lukea lyhin etäisyys pohjaan (»pohjan yläraja») ja suurin etäisyys, jolta kaikuja rekisteröityy (»pohjan alaraja»). Ensiksi mainittu on suorakulmaisen kolmion toinen kateetti ja viimeksimainittu sen hypotenuusa (kuva 18). Toinen kateetti on silloin $= \sqrt{e^2 - t^2}$ ja ulottuvuuspiirin suurin halkaisija

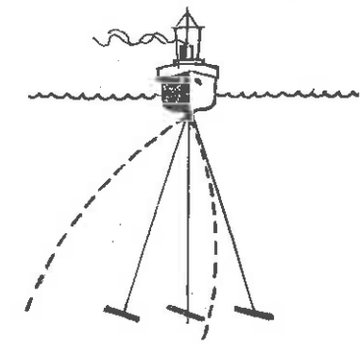
$$d = 2 \times \sqrt{e^2 - t^2},$$

jossa d = ulottuvuusalueen läpimitta, e = pohjan kuvaajan alarajan ja t = pohjan kuvaajan ylärajan etäisyys (metreissä) pintaviivasta.

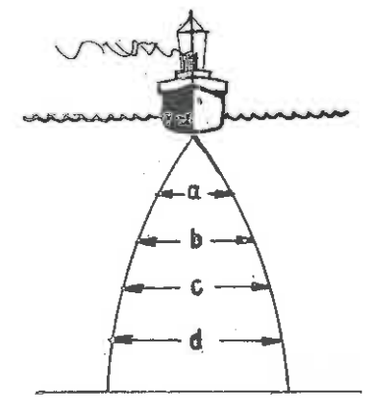
Edelläesitetyssä arviossa tehdään pieni virhe, josta johtuen ulottuvuusalueen läpimitta tulee jonkin verran liian suureksi. Virhe johtuu siitä, että heikkoja hajakaikuja rekisteröityy jonkin verran myös ulottuvuusalueen ulkopuolelta. Epätarkkuus on kuitenkin yleensä niin vähäinen, ettei sillä ole kovin suurta käytännöllistä merkitystä. Lisäksi on todettava, että myös pohjan laatu vaikuttaa jossain määrin kaiun pituuteen.

Kerrannaiskaiut

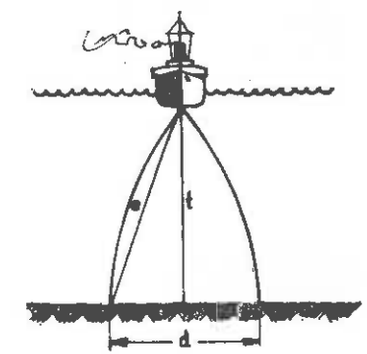
Veden pinta on kahden »ääniteknillisiltä» ominaisuuksiltaan hyvin erilaisen väliaineen rajapinta, josta ääniaallot heijastuvat lähes täydellisesti. Kun ääniaallot palaavat pohjalta, sattuu vain murto-osa niistä kaikuluotaimen vastaanotinlaitteistoon. Suurin osa menee ohi kohdaten aluksen pohjan ja vieläkin suurempi osa tulee



Kuva 16.



Kuva 17.



Kuva 18.

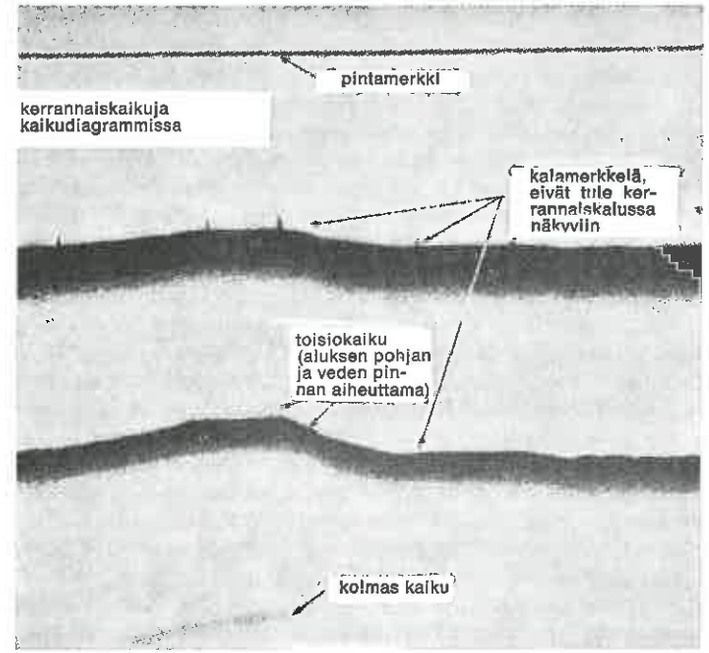
Kuva 19.

veden pintaan (tässä tapauksessa paremminkin ilman »pintaan»), josta ne heijastuvat takaisin pohjalle. Kun pohjan laatu on sellainen, että siellä on yleensä joka suuntaan heijastavia pintoja, voi tällaisia, saman matkan kahteen kertaan kulkeneita kaikuja tulla kaikuluotaimen vastaanottimeen. Jos niiden aiheuttamat ääni-impulssit ovat vielä riittävän voimakkaita piirtyvät ne paperille ensimmäiseen pohjaviivaan verrattuna kaksinkertaiselle etäisyydelle pintaviivasta laskettuna. Kun kaiku palaa laivan pohjasta heikompana kuin veden ja ilman rajapinnalta, ja kun ääniaallon matka aluksen pohjasta vesistön pohjalle on aluksen syväyksen verran lyhyempi kuin sen matka veden pinnalta, näkyy tässä toisessa kaiussa sopivalla vahvistuksella joskus aluksen pohjan aiheuttama kaiku pohjan toisiokaiun yläpuolella, pohjan aiheuttamaa toisiokaikua kuitenkin selvästi heikompana. Näiden välinen etäisyys ilmoittaa siis samalla vastaanotin- ja lähetinlaitteiden etäisyyden pinnasta, ts. aluksen syväyksen (syväys näkyy mm. kuvan 23 toisiokaiussa). Paitsi toisiokaikuja (toiskertaisia kaikuja) saattaa luotausdiagrammiin piirtyä myös kolmaskertaisia ja useammankin kerran heijastuneita kaikuja (kuva 20). Kerrannaiskaiuista saadaan varsinkin kalastuksen kannalta tärkeitä tietoja.

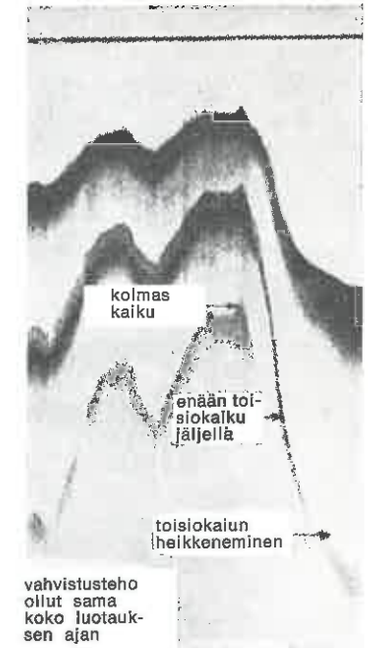
Kuvassa 21 on esitetty vahvistusvoimakkuuden säädön vaikutus kerrannaiskaikuihin. Vahvistuksen voimakkuuden vähentyessä asteittain vähenee kerrannaiskaikujen lukumäärä ja niiden voimakkuus. Myös syvyyden lisääntyminen vähentää kerrannaiskaikuja, niinkuin kuvasta 22 voidaan todeta. Tämä johtuu tietenkin siitä, että mitä syvemmällä pohja sijaitsee, sitä pitemmäksi lähetetyn ääni-impulssin ja sen kaikujen kulkema matka tulee, ja sitä suuremman vahvistuksen ne tarvitsevat piirtyäkseen kaikuluotauspaperille. Myös pohjan laatu vaikuttaa kerrannaiskaikuihin. Mitä kovempi pohja on, sitä paremmin ääniaallot siitä heijastuvat, ja sitä useampia kerrannaiskaikuja syntyy.

Nimenomaan pohjatroolauksessa on kerrannaiskaiuilla oma merkityksensä, sillä niiden oikealla tulkinnalla voidaan vähentää pyydysten rikkoutumisriskiä. Kalliopohja on kaikupohjana paras, senjälkeen tulevat järjestyksessä hiekka, metalli, puu, lieju, kala ja plankton. Kivet ja louhikko toistuvat kerrannaiskaiussa tavallisesti selvinä, kalat sensijaan paljon heikommin. Jos kaikuluotaimen vahvistus on säädetty sopivaksi ja sitä tarkkaillaan vaarallisella troolausalueella koko ajan, voidaan nimenomaan kerrannaiskaiussa esiintyvän merkin perusteella, jopa troolauksen aikana, muuttaa kurssia ja pelastaa pyyntivälineet. Kerrannaiskaiun merkitys näkyy sangen havainnollisesti kuvista 20 ja 23.

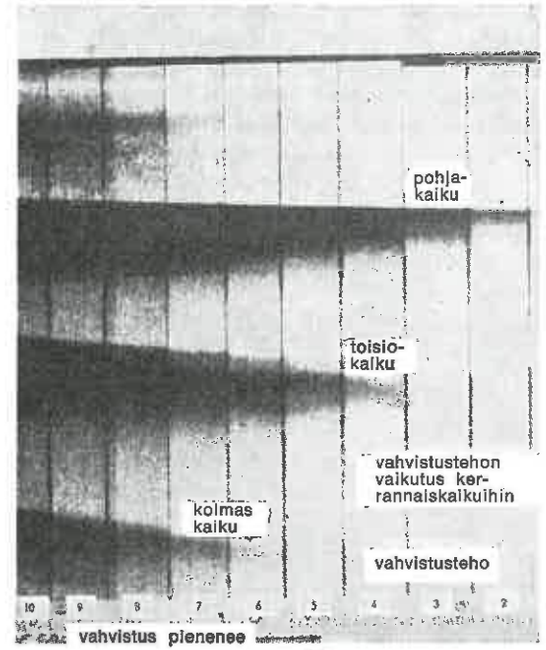
Kovaan pohjaan eivät ääniaallot »imeydy» juuri lainkaan. Ne heijastuvat takaisin voimakkaina kaikuina, pehmeästä pohjasta



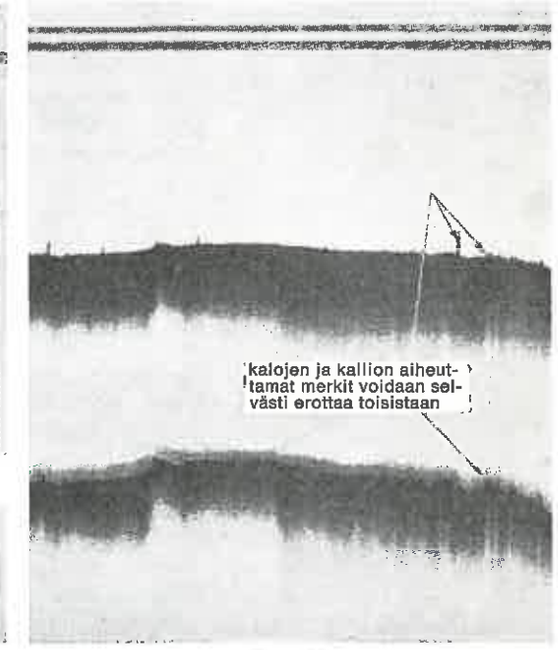
Kuva 20.



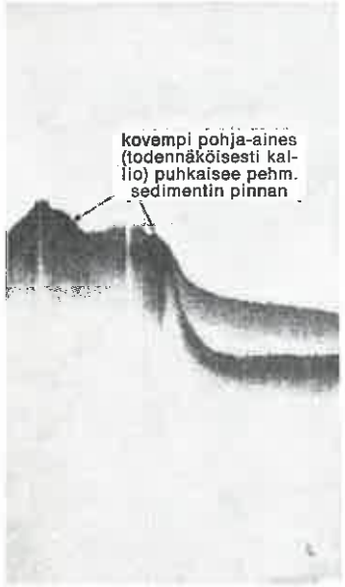
Kuva 22.



Kuva 21.



Kuva 23.



Kuva 24.

sensijaan heikompina. Aikojen kuluessa on pohjan syvennyksiin yleensä kerrostunut kovan alustan päälle pehmeämpiä sedimenttejä, joista ääniaallot heijastuvat huonommin. Pehmeän pohjan alla oleva kova kallio aiheuttaa oman kaiun, ja tulee näkyviin kaikuluotausdiagrammissa pehmeän pohjan alta. Kun huomataan tällaisen kovempaa pohjaa osoittavan kaiun lähestyvän lietteen pintaa, on pohjatroolauksessa syytä olla varuillaan lietteestä mahdollisesti esiin pistävien kallionkielekkeiden vuoksi (kuva 24).

Kaikuluotauksella ei valitettavasti saada aina pohjatroolausta varten riittävän turvallisia tietoja pohjan laadusta ja siellä olevista esineistä. Jos pohja on tasainen ja sileä, vastaa luotaussyvyys tarkoin todellista syvyyttä. Mutta jos pohja on epätasainen, saapuu kaiku ensin lähinnä alusta olevasta pohjan pisteestä, esimerkiksi kohoutuman harjanteilta, ja vasta sitten kohoutumien välikohdista. Epätasaisuutta ei voida todeta kaikudiagrammista sellaisessa tapauksessa, jossa epätasaisuus on vähäinen kaikuluotaimen ulottuvuusalueen läpimittaan verrattuna (kuva 12). Kaikuluotaimet ovat toistaiseksi pohjan vähäisten epätasaisuuksien ilmaisijana siis verraten epätarkkoja. Tämä tosiasia on hyvin valitettava nimenomaan pohjatroolauksen kannalta. Puutteellisuus voitaisiin tietysti osittain poistaa »ahtamalla» ääniaallot vieläkin suppeammaksi keilaksi, siis pienentämällä ulottuvuusalueen läpimittaa. Tästä olisi taas seurauksena kaiun epämääräisyys aluksen heiluessa, niinkuin aikaisemmin on mainittu. Vahvistimen säädöllä voidaan kuitenkin tehokkaasti vaikuttaa myös ulottuvuuspiirin laajuuteen. Käyttämällä tätä kaikissa kaikuluotaimissa olevaa mahdollisuutta tehokkaasti hyväksi, saadaan pohjasta moniin tarkoituksiin riittävä kuva.

Aikaisemmin on mainittu kaikuluotauksen virhelähteistä silloin, kun pohja on hyvin kalteva. Lyhimmän matkan kulkenut kaiku palaa ensin ja sen perusteella piirtyy kaikuluotausdiagrammille pohjan »yläviiva». Jos kaiku tulee kovin sivulta, saattaa sen aiheuttama merkki olla kumminkin heikompi kuin ulottuvuusalueen keskustaa lähempänä olevien pintojen kaikujen aiheuttama. Tällaisessa tapauksessa voi kaiunpituuden keskellä olla tummin alue. Vahvistinta säätämällä voidaan tällaisessa tapauksessa saada ulottuvuusalueen sivurajalla olevan pohjan piirtyminen jopa estetyksi.

Kalojen paikallistamisesta

Jos vahvistuksen oikea säätö on tärkeää pohjan kaikuluotauksessa, on se vielä paljon tärkeämpää kaloja kaikuluodattaessa. Kalojen paikallistaminen on luotausteknillisesti paljon vaikeampaa kuin pohjan.

Kalojen ja kalaparvien »ääniteknillisten» ominaisuuksien vuoksi kaiku palaa niistä aina heikompana kuin samalla syvyydellä olevalta pohjalta. Kalakaikujen rekisteröityminen edellyttää siten yleensä aina suurempaa vahvistusta kuin pohjan kaikuluotaus. Vahvistuksen tulee olla sitä voimakkaampi, mitä pienempiä kalat ovat tai mitä harvempi kalaparvi on. Vahvistusta on myös säädettävä voimakkaammaksi kalojen esiintymissyvyyden kasvaessa. Kojeissa on yleensä mahdollisuus säätää vahvistus jopa 100 miljoonaa kertaa niin suureksi kuin kaiun vastaanotinlaitteissa indusoima sähköimpulssi alunperin on. Näin voimakkaalla vahvistuksella rekisteröityy kuitenkin jo joukko sellaisiakin sivuääniä, joita kaikuluotain ei ole lähettänyt. Ne ovat häiriökaikuja, jotka aiheutuvat lähinnä aluksen liikkumisesta, moottorista, veden loiskinnasta, lähetin- ja vastaanotinlaitteiden pinnoille osuvista pyörrevirtauksista jne. Häiriöt kasvavat ajonopeuden ja merenkäynnin lisääntymisen mukana ja tuntuvat tietysti hankalimpina nimenomaan sellaisten kaikujen kohdalla, joiden voimakkuus on miltei sama kuin sivuäänien aiheuttamien häiriöiden voimakkuus. Nämä häiriöäänet määräävätkin käytännössä vahvistuksen voimakkuuden ylärajan ja siten myös ulottuvuusalueen laajuuden ja »kalaherkkyyden». Häiriömerkit tunnetaan kaikudiagrammeissa siitä, että niitä esiintyy paperissa kaikkialla, pohjaa kuvaavan viivan sekä ylä- että alapuolella. Niiden voimakkuus on myös kauttaaltaan sama. Edullisin vahvistus riippuu merenkäynnistä, ajonopeudesta ja koneiden äänistä. Jos vahvistus säädetään voimakkaaksi, tummuu paperi kokonaan. Kalakaikuluotauksissa saavutetaan suurin herkkyys säätämällä vahvistus sellaiseksi, että paperi tulee kauttaaltaan harmaaksi. Silloin ei mikään po. laitteilla vastaanotettavissa oleva todellinen kaiku »mene hukkaan», vaan erottuu pohjaväriä hieman tummempana. Jos halutaan vahvistusta vielä tästä lisätä, on vähennettävä häiriööniä (esim. pysäyttämällä koneet). Ajettaessa pienellä nopeudella, voidaan vahvistus säätää huomattavasti tehokkaammaksi kuin nopeammin ajettaessa. Myös luotaimen ulottuvuusalue kasvaa vahvistusta lisättäessä. Aluksen ja kaikuluotaimen käyttäjä oppii tuntemaan kullekin nopeudelle ominaisen kriitillisen vahvistusrajan kokemuksensa perusteella. Kun häiriööänien esiintyminen riippuu myös aluksen rakenteesta, lähetin- ja vastaanotinlaitteiston sijoituspaikasta jne, ei voida antaa mitään yleispäteviä ohjeita ajonopeuden ja vahvistuksen suhteesta. Parhailla laitteilla saadaan suotuisissa olosuhteissa kalakaikuja vielä n. 200 metrin syvyydestä 10 solmun ajonopeudella.

Paitsi merenkäynnistä ja laivan kulusta aiheutuvia häiriöitä, saattaa asiaankuulumattomia kaikuja tulla esimerkiksi toisesta kaiku-

luotaimesta, jos niitä käytetään samassa aluksessa. Myös toinen alus ja sen luotain saattavat häiritä tullessaan liian lähelle.

Yksittäisten kalojen kaikuluotaus

Jos kala on liikkumattomana pysähtyneen aluksen alla (kohtisuoraan sen alapuolella), piirtyy sen kaiku todelliseen syvyyteen kaikuluotauspaperille. Sen merkki paperilla on silloin (muuten samanlaisten olosuhteiden vallitessa) voimakkain mahdollinen. Jos kala sensijaan on samassa syvyydessä, mutta kaikuluotaimen ulottuvuuden rajalla (vrt. kuva 13), on äänen ja sen kaiun kulkema matka äskenmainittua pitempi. Tässä tapauksessa kalasta lähtenyt kaiku rekisteröityy paperille tietenkin todellista syvemmälle. Kun ulottuvuuspiirin rajalla olevista kohteista palannut kaiku on lisäksi heikompi kuin piirin keskipistettä lähempänä olevasta kohteesta palannut, piirtyy sivulla oleva kala heikompana. Syvyysmittausvirhe on sitä suurempi ja kaiku sitä heikompi mitä etäämmällä ulottuvuuspiirin keskipisteestä kala on. Jos kala ja alus ovat paikallaan tai liikkuvat samalla nopeudella samaan suuntaan, näkyy kala kaikudiagrammissa yhtäjaksoisena viivana (kuva 25). Tällainen merkki osoittaa siis, että alus ja kala eivät suoran diagrammiosan piirtymisen aikana ole muuttaneet keskinäistä etäisyyssijaintiaan. Kalan aivan tarkkaa paikkaa ei sensijaan voida kaikudiagrammista päätellä. *Voidaan todeta, että kalat rekisteröityvät yleensä liian syvälle. Liian matalalle ne eivät luonnollisesti voi piirtyä koskaan.* Tämä tärkeä tosiasia on kalakaikuluotaajan syytä muistaa.

Kuva 25.

Jos oletetaan kalan olevan paikallaan ja aluksen liikkuvan sen yli, piirtyy ensimmäinen merkki siitä silloin, kun kala tulee luotaimen ulottuvuuspiiriin. Merkki on siis aluksi syvemmällä kuin kalan todellinen esiintymissyvyys, samalla se on verraten heikko (ulottuvuusalueen rajalla). Laivan jatkaessa kulkuaan tulee välimatka yhä lyhyemmäksi ja jokainen erilliskaiku rekisteröityy yhä ylemmäs, kunnes alus on suoraan kalan yläpuolella. Kun alus jatkaa matkaansa, toistuu edellä esitetty ja kala häipyy lopuksi pois ulottuvuuspiiristä. Tapahtuma tulee näkyviin kaikuluotauspaperilla "kulmana", jonka kärki on ylöspäin (kuva 26).

Kuva 26.

Yleisin tapaus on luonnollisesti se, että sekä alus että kala liikkuvat. Myös tämä näkyy diagrammeissa. Kaikudiagrammista ei kuitenkaan voida nähdä kalan liikkumissuuntaa, mutta kulman sivujen jyrkkyydestä tai epäsymmetrisyydestä voidaan tehdä johtopäätöksiä kalan ja aluksen keskinäisen etäisyyden muutoksista.

Kalaparvien kaikuluotaus

Kalaparvien kaikuluotaaminen on kalastuksessa luonnollisesti paljon tärkeämpää kuin yksittäisen kalan luotaus. Kalaparven

merkki diagrammissa koostuu joukosta yksittäisten kalojen kaikuja. Jos parvi on tarpeeksi tiheä, sulautuvat nämä merkit yhteen. Ulottuvuusalueen laajuudesta, kalojen etäisyydestä ja käytetystä vahvistuksesta riippuu, kuinka tiheä kalaparvi piirtyy yhtenäisenä tummana alueena tai kuinka harva vielä näkyy yksittäisinä kaloina. Mitä pienempi on kalaparven esiintymissyvyys ja mitä pienempi on käytetty vahvistus (mitä pienempi ulottuvuus), sitä selvemmin parvesta erottuneena yksittäiset kalat näkyvät. Tämä on tärkeä tosiasia kalaparvien tiheyttä arvioitaessa.

Jos esimerkiksi silakkaparvi nousee pintaa kohti ja näyttää kaikudiagrammissa tulevan harvemmaksi, ei sen tarvitse todellisuudessa olla merkkinä parven hajaantumisesta, vaan se saattaa johtua edellämainituista tosiasioista. Kalaparven tiheyttä ei voida tarkoin määrittää kaikudiagrammien perusteella, mutta sen arvioiminen on mahdollista. Kalaparvea kuvaavan läikän tummuus tai vaaleus antaa arviolle pohjan, kokemus ratkaisee arvion tarkkuuden.

Kalaparvet saattavat olla huomattavasti suurempia kuin kaikuluotaimen ulottuvuusalue. Parven yläraja rekisteröityy samojen periaatteiden mukaan kuin pohjankin yläraja. Se voidaan määrittää ottamalla huomioon samat varaukset, jotka pohjan pinnan toteamisen yhteydessä aikaisemmin esitettiin.

Kalaparven »alaraja» diagrammissa ei sensijaan vastaa parven alarajaa läheskään niin tarkoin kuin yleisesti luullaan. Pohjan piirtymisen ja kaikuluotaimen ulottuvuusalueen läpimitan laskemisen yhteydessä esitettiin, että tämä ns. »kaiun pituus» merkitsee lähinnä ulottuvuusalueen läpimittaa. Myös parven »paksuus» tulee samasta syystä huomattavasti todellista suuremmaksi. Kun virhe riippuu olosuhteista (vahvistinteho, syvyys), ei yleispätevää viitettä sen suuruudesta voida antaa. Eräänlaisena »nyrkkisääntönä» on esitetty paksuudesta vähennettäväksi n. 10 % parven luotaussyvyydestä. Parven alarajan rekisteröityminen liian syvälle on tietysti sangen huomioonotettava seikka varsinkin troolikalastuksessa. Välivesitroolia ei saa koskaan asettaa yksinomaan korjaamattoman alarajasyvyyden mukaan, vaan mieluimmin ylärajan mukaan. Tätä korostaa myös se seikka, että *kalaparvet eivät piirry koskaan liian ylös.* Eräänä yllämainitun epätarkkuuden sovellutuksena mainittakoon vielä, että kaikudiagrammeista saattaa tietyissä tapauksissa saada sen käsityksen, että lähellä pohjaa olevan kalaparven alaraja olisi pohjatroolin ulottuvilla, vaikka näin ei todellisuudessa olisikaan asian laita. Parvi saattaa olla edellä esitetyn mukaan tosiasiassa ylempänä ja ehkä pohjatroolin saavuttamattomissa.

Kalaparvien pituus voidaan sensijaan todeta kaikuluotaimesta verraten tarkoin. Kun mitataan se aika, jona kalaparvi paperille piirtyy ja kerrotaan se aluksen kulkunopeudella, saadaan likipitäen kalaparven pituus. Jos oletetaan,

että aluksen nopeus on 3 solmua (n. 1,5 metriä sekunnissa), ja että kalaparvi on yhtäjaksoisesti piirtynyt paperille 5 minuutin ajan (300 sek), on kalaparven pituus 1,5 × 300 = 450 metriä. Tässä yksinkertaisessa laskutavassa tehdään kuitenkin luotaimen ulottuvuusalueen läpimitan suuruinen virhe, sillä luotain rekisteröi ulottuvuusalueesta riippuen parven jo ennenkuin se on aluksen alla ja jonkin aikaa vielä sen jälkeen, kun alus on kulkenut sen yli (vrt s. 19). Ulottuvuusalueen läpileikkaus olisi siis vähennettävä em. tavalla mitatusta parven pituudesta. Kun se kuitenkin on (kalaparven ollessa kysymyksessä) melko vaikeasti todettavissa, on tässä suhteessa tyydyttävä arvioon. Kun kalaparven pituudesta vähennetään 1/3 kysymyksessä olevan luotaussyvyyden arvosta, saadaan likimain oikeat mitat. Jos siis edellämainitun esimerkin pituinen kalaparvi on tavattu 150 metrin syvyydessä, on sen »luotauspituudesta» (450 m) vähennettävä 50 metriä (1/3 × 150), jolloin parven todelliseksi pituudeksi saadaan n. 400 metriä. Korjaus on likiarvo, mikä pienissä syvyyksissä tavattujen kalaparvien osalta on liian pieni ja syvällä olevien osalta liian suuri mutta arvio riittänee moniin käytännön tarkoituksiin.

Edellä esitetyllä tavalla arvioidulla korjauksella on merkitystä lähinnä sellaisten kalaparvien tapauksissa, joiden pituus on samaa suuruusluokkaa kuin kaikuluotaimen ulottuvuusalue.

Troolin täyttymisen arviointi

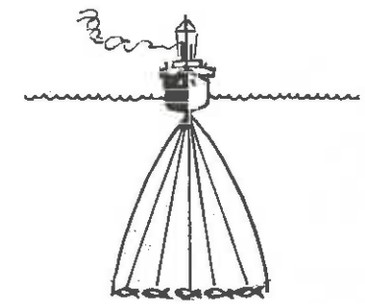
Kalaparven pituuden ja leveyden määrittäminen on kalastuksen tärkeimpiä teknisiä probleemeja. Kaikuluotauksella voidaan arvioida parven laajuus suorittamalla etsintäajoa ristiin rastiin todetun kalaparven yläpuolella ja määrittämällä parven läpimitta edellä esitettyjen periaatteiden mukaan useampaan suuntaan. Troolikalastuksessa voidaan näin saatua tietoa käyttää myös vetoajan arvioimiseen, ja välttää liian pitkäaikaisen vedon aiheuttama pyydyksen repeytymisen vaara. Troolin täyttymiseen vaikuttavat paitsi parven pituus ja sen tiheys, myös pyydyksen ottavuus eri olosuhteissa. Parven tiheyden määrittämisen ongelmista on jo edellä mainittu. Kun pyydyksen ottavuus puolestaan riippuu paitsi sen rakenteellisista ominaisuuksista, myös kalojen reaktioista vuorokauden ja vuoden eri aikoina, ei voida antaa yleispäteviä ohjeita vetoajan pituuden määrittämisestä. Pyydyksen täyttymisnopeuden oikea arviointi edellyttää sekä *kalastuskokemuksen että luotaustekniikan* suomien mahdollisuuksien käyttöä. Asiantuntemus saavutetaan vertaamalla kaikuluotaimen antamia tietoja pyyntituloksiin eri olosuhteissa. On otettava luonnollisesti huomioon myös sellaiset tekijät kuin vetoköysien pituus ja kaikumerkit, sillä esimerkiksi 250 sylen köysillä ja 3 solmun vetonopeudella kestää troolin saapuminen parven reunaan n. 5 minuuttia siitä lähtien, kun alus on kaikuluotaimen antamien tietojen perusteella reunan saavuttanut.

Tähän asti esitetty koskee kaloja ja kalaparvia yleensä. Eri kalastustavoissa on kaikuluotaimen käyttö jonkin verran erilainen. Välivesitroolilla, ajoverkoilla jne. pyydetään kalaa, joka on selvästi pohjan yläpuolella tietyssä syvyydessä, pohjatrooleilla taas aivan pohjalla olevaa kalaa. Välivesitroolipyytäjiä kiinnostavat luonnollisesti myös pohjalla olevat kalaparvet, sillä ne nousevat yleensä pimeän tullen ylöspäin ja siten mahdollisesti troolin ulottuville.

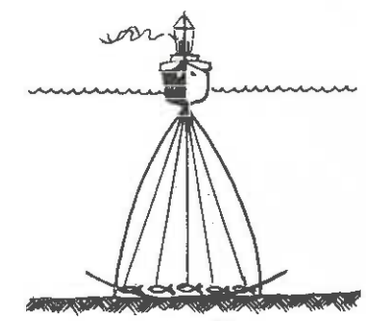
Lienee vielä paikallaan mainita joitakin nimenomaan pohjatroolaukseen liittyviä seikkoja, joilla saattaa olla merkitystä kaikuluotauksen teknisessä suorittamisessa ja luotaustulosten arvostelussa. Voidaan ensiksikin todeta, että selvästi pohjan yläpuolella olevan kalaparven havaitseminen on helpompi tehtävä kuin hyvin lähellä pohjaa olevan. Viimeksi mainitussa tapauksessa on lisäksi otettava huomioon pohjalla olevien, pyydyksille vaarallisten esteiden aiheuttama riski ja erehtymisen mahdollisuus. Tätä vaaraa voidaan olennaisesti pienentää kaikuluotaimen oikealla käytöllä.

Pohjan lähellä oleskelevat kalat

Aikaisemmin esitetyn mukaan kalaparvilla on kaikudiagrammissa tietty ns. kaiunpituus aivan samoin kuin pohjallakin. Oletettakoon, että kaikuluotaimen ulottuvilla on viisi samassa. syvyydessä olevaa kalaa, jotka ovat kuitenkin eri kohdissa (kuva 27). Lähinnä ulottuvuuspiirin keskipistettä olevaan kalaan on äänellä lyhin matka ja siitä lähtenyt kaiku ehtii siis vastaanotinlaitteistoon ensin ja piirtyy siten myös ylimmäksi paperille. Muista kaloista tulevat kaiut piirtyvät senjälkeen peräkkäin, laidoilla olleista lähteneet alimmaksi. Rekisteröinnin alaraja tarkoittaa siis tässä tapauksessa ulottuvuuden piirissä uloimpana olevia kaloja, jotka saattavat olla samassa syvyydessä kuin ne kalat, joista lähteneet kaiut näkyvät diagrammissa ylimpänä. Jos kalat ovat lähellä pohjaa, ne saattavat näinollen sekoittua pohjakaikuun (kuva 28). Näin käy varsinkin silloin, jos kalat ovat ulottuvuusalueen reunoilla. Tästä seuraa, että kalakaiun käytännöllinen ulottuvuusalue on sitä pienempi ja epävarmempi mitä lähempänä pohjaa kalat ovat. Pohjakaiun kanssa päällekkäin menevät kalakaiut ovat kalakaikuluotauksen kannalta »hukassa». Kun pohjatroolia käyttävää kalastajaa kiinnostavat nimenomaan pohjalla olevat kalat, (mitä lähempänä ja mitä tiheämpänä pohjalla kalat ovat, sitä parempi pohjatroolin saalis yleensä on), on tavallisten kaikuluotainten suorituskyky tälläkin kohdalla puutteellinen. Uusilla teknisillä parannuksilla on asiaa voitu olennaisesti korjata (vrt. s. 32).



Kuva 27.



Kuva 28.

Tehollisen ulottuvuuden pienenemistä lähellä pohjaa olevien kalojen kaikuluotauksessa ei voida välttää, se johtuu kaikuluotausmenetelmän puutteellisuudesta tässä suhteessa. Voidaan kuitenkin käyttää kaikuluotainlaitteiston ja luotaustekniikan tarjoamia keinoja puutteellisuuden osittaiseksi korjaamiseksi ja siis kalakaikujen erottamiseksi pohjan aiheuttamista. Yksi tällainen mene-

Kuva 29.

Kuva 30.

telmä on oikein säädetty vahvistus ja kerrannaiskaikujen antamien viitteiden hyväksikäyttö. Jos vahvistus on liian suuri, saattavat kalakaiut näyttää paperilla yhtä voimakkailta kuin pohjan antamat, vaikka ääniaallot heijastuvat kalasta huomattavasti heikommin kuin pohjalta. Usein voidaan saada viitteet pohjalla olevien kalaparvien esiintymisestä tarkastelemalla pohjan pintaa kuvaavan kaiun epätasaisuuksia. Kun otetaan tulkinnan avuksi vielä toisiokaiku, jossa kalat eivät enää näy, päästään yhä parempiin tuloksiin. Tällä tavoin voidaan usein todeta myös kalojen etäisyys pohjan pinnasta.

Nimenomaan pohjalla olevien kalaparvien kaikuluotauksessa on oikean vahvistuksen valitseminen sangen varteenotettava seikka. Aikaisemmin on jo todettu, että mitä syvemmältä kaiku palaa, sitä heikompi se on, ja sitä suuremman vahvistuksen se tarvitsee rekisteröityäkseen paperille. Vahvistuksen lisääminen tavanomaisesta poikkeavaksi tuo taas mukanaan muita vaikeuksia, mm. sen, että kaiun tummuudesta ei ehkä enää voidakaan päätellä kalaparven tiheyttä. Vain kokemuksen perusteella voidaan loppujen lopuksi arvioida kalaparvien tiheys kussakin syvyydessä eri vahvistusta käyttäen.

Järvellä lämpötilaharppauskerros, merellä sen lisäksi suolapitoisuuden harppauskerros, ovat tärkeimpiä pohjan yläpuolella olevia kaikujen antajia kalojen lisäksi (kuva 29). Kun veden sitkoisuus tässä kerroksessa jyrkästi muuttuu, hidastuu vedessä vajoavan esineen (esim. planktoneliön) vajoamisnopeus siinä suuresti. Tähän kerrokseen kertyy siis enemmän vajoavaa materiaa kuin muualle ja siitä palaavat kaiut rekisteröityvät kaikuluotauspaperille. Kaiut ovat yleensä heikompia kuin kaloista heijastuvat, mutta jos vahvistus on liian suuri, ei ehkä tässä vesikerroksessa mahdollisesti olevia kaloja voida erottaa harppauskerroksen aiheuttamasta tummasta alueesta. Jos vahvistus sensijaan on oikein säädetty, saadaan harppauskerroksessa olevat kalat yleensä selvästi esiin (kuva 30, vrt. kuvaan 29) Tämä mahdollisuus on välivesitroolauksen kannalta merkityksellinen, sillä planktonia syövien kalalajien ja niitä puolestaan ravintonaan käyttävien petokalojen tiedetään oleskelevan usein nimenomaan harppauskerroksen seutuvilla.

4. ERI TAPOJA KAIKUMERKIN ILMAISUSSA

Edellä on tarkastettu lähinnä sellaista menetelmää, jossa palanneet kaikuimpulssit ovat tulleet havaittaviksi ja tulkittaviksi luotaimen piirtimen neulan välityksellä kaikuluotauspaperille. Tämä on kalakaikuluotauksessa vanhin ja yleisin tapa. Saapuneet kaikuimpulssit voidaan kuitenkin ilmaista myös muulla tavalla. Yleisesti kaikuluotauksessa käytettyjä ilmaisutapoja ovat em. piirrinmenetelmän[1]) lisäksi ns. vilkkuvalomenetelmä sekä menetelmä, jossa kaiut ilmaistaan katodisädeputkella l. Braunin putkella.

Piirrin-, vilkkuvalo- tai katodisädeputkinäyttölaitteilla varustettujen kaikuluotainten toimintaperiaate on sama; eroa on vain siinä, millä tavalla kaiut tehdään havaittaviksi. Täten edellä esitetty teoria, jossa merkkien tulkinta on käsitelty piirrinmenetelmän mukaan, on vastaavasti sovellettavissa myös muihin seuraavassa esitettyihin ilmaisutapoihin.

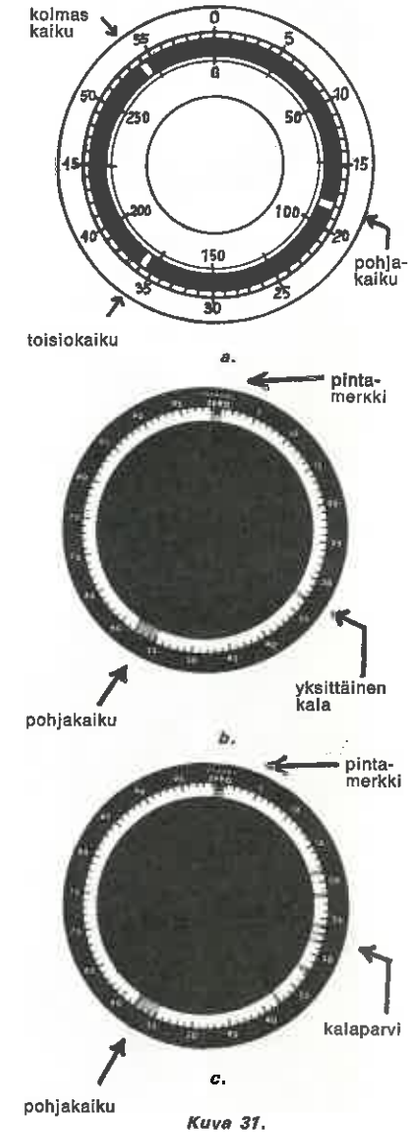
Vilkkuvalo

Tämä on ilmaisinmenetelmistä yksinkertaisin. Pyöreän syvyysasteikon takana on tarkkaan tunnetulla nopeudella pyörivä levy. Lähellä levyn ulkoreunaa on kolo, johon on kiinnitetty pieni neonputki. Tämä on yhdistetty liukukontaktilla vastaanottimen vahvistimeen ja välähtää virtapiirin sulkeutuessa kaiun palatessa vastaanottimen värähtelijään.

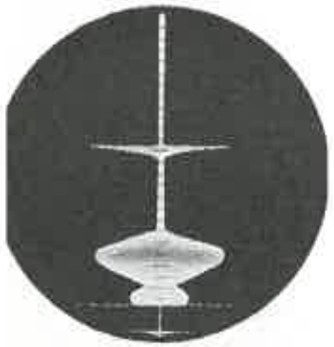
Palaavan kaiun voimakkuudesta, siis värähtelyajasta, riippuu lampun paloaika ja myös se, kuinka vahvana merkki havaitaan näyttölaitteessa. Pohjamerkki ilmenee leveämpänä kuin kalojen aiheuttamat merkit.

Vilkkuvaloluotainta käytettäessä on herkimmin tarjolla vaara sekoittaa pohjakaiut ja kerrannaiskaiut toisiinsa. Syvillä vesillä luodattaessa on myöskin oltava selvillä syvyyskerrasta, sillä asteikon päätyttyä, siis yhden kierroksen jälkeen, siirtyy kaikumerkki uudelleen asteikon alkualueelle. Kalojen aiheuttamat kaiut näkyvät ohuempina valomerkkeinä leveämpien nollamerkin ja pohjamerkin välillä. Kalaparvi taas aiheuttaa useamman peräkkäi-

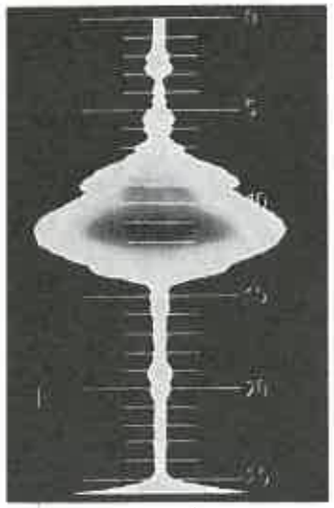
[1]) Piirrinmenetelmästä on olemassa kolme eri muunnosta, nykyään yleisin kuivapaperimenetelmä sekä vaha- ja märkäpaperimenetelmät.



Kuva 31.



Kuva 32.



Kuva 33.

sen ohuen välähdyksen, ellei parvi ole niin tiheä, että yksittäisten kalojen aiheuttamat merkit sulautuvat yhteen, jolloin saadaan yksi leveämpi merkki (kts. kuva 31.)

Valomerkkimenetelmä on yksi vanhimmista ilmaisinsysteemeistä, ja se on alunperin kehitetty merenkulun tarpeisiin. Menetelmä soveltuu hyvin sellaiseen luotaukseen, jossa tarvitaan nopeasti ja selvästi tiedot syvyydestä eikä syvyystietoja tarvitse tallettaa. Useat valomerkkinäyttölaitteilla varustetut luotaimet antavat myös merkkejä kaloista ja kalaparvista, joskin niiden käyttö kalastuksessa rajoittuu yleensä harrastuskalastukseen.

Katodisädeputki

Tämän tyyppisessä näyttölaitteessa käytetään hyväksi sitä valojuovaa, jonka katodisäteily aiheuttaa Braunin putken kuvapinnalla kulkiessaan sen poikki. Tietyllä tavalla »hajoitettua» katodisäteilyä käytetään kaikujen ilmaisemiseen. Kaikumerkki koostuu putken kuvapinnalla katodisäteen vaakasuorasta poikkeamasta sen kulkemalla pystysuoralla uralla. Tämä poikkeama tapahtuu molempiin suuntiin. Eräissä laitteissa vahvistetaan katodisäde poikkeaman tapahtuessa, jolloin näyttölaitteen fluorisoiva kuvapinta hehkuu voimakkaammin. Kaikumerkit ovat täten laajempia ja kirkkaampia kuin se pystysuora valojuova, joka piirtyy jatkuvasti kuvapinnalle (kuva 32). Kuten kaikissa muissakin merkintätavoissa luetaan syvyys aina merkin ylälaidasta. Sivuttaisen poikkeaman suuruus on muuttumattomissa olosuhteissa kaiun voimakkuuden mittana.

Katodisädeputki-ilmaisin tekee kaikuluotaimesta sangen kätevän kalojen paikallistamislaitteen. Etuna piirrinmenetelmään verrattuna on havainnoinnin nopeutuminen; tulkintakelpoinen kuva saadaan hetkessä. Piirrinmenetelmässähän merkkikokonaisuus koostuu useista osamerkeistä, ja kestää jonkin aikaa ennenkuin diagrammi on luettavissa. Katodisädeputkimenetelmän haittapuolena taas on kuvan hetkellinen luonne. Sitä ei voida myöskään tallentaa.

Useimmissa nykyisissä katodisädeputkinäyttölaitteilla varustetuissa kaikuluotaimissa on mahdollisuus valita tietty (yleensä 5... 25 m:n) väli syvyysalueelta lähemmän tarkastelun kohteeksi. Halutusta syvyydestä voidaan siis ottaa »osasuurennos», jolloin saadaan paremmin selko yksityiskohdista (kuva 33).

Katodisädeputkella varustetun luotaimen käyttökelpoisuus pääsee oikeuksiinsa myös varsin epäedullisissa luotausolosuhteissa, kuten huonojen sääolojen vallitessa. Se soveltuu myös varsin hyvin pohjan lähellä olevien kalojen havaitsemiseen, sillä lähinnä

pohjaa olevat 4...6 metriä, jossa pohjatroolilla pyydystettävät kalat oleskelevat, voidaan saada näkyviin niin, että ne täyttävät koko kuvaputken alan.

Hyvin monissa, varsinkin kalliimmissa luotaimissa, on samaan laitteeseen yhdistetty kaksi erilaista näyttölaitetta, tai niissä on mahdollisuus lisänäyttölaitteen kytkentään. Tällaisia ovat piirrin- ja vilkkuvalomenetelmän sekä piirrin- ja katodisädeputkimenetelmän yhdistelmät, joista jälkimmäinen on kalastustarkoituksia varten käyttökelpoisempi.

5. PARANNUKSIA JA UUTUUKSIA KAIKULUOTAUS-TEKNIIKASSA

Vaikka »normaalikaikuluotaimet» (joilla tarkoitetaan tässä sellaisia laitteita, joissa ei kaikuluotauksen perustekniikan lisäksi ole käytetty erikoisratkaisuja) ovat osoittautuneet käyttökelpoisiksi, kalastuksen tarpeet mukaanlukien, on niillä toki eräitä melko ratkaiseviakin rajoituksia. Näistä tärkeimpiä on mainittu aikaisemmin. Viime vuosina on saatu aikaan joukko parannuksia, jotka laajentavat melko huomattavastikin kaikuluotaimen käyttömahdollisuutta esim. tehollisessa kalastuksessa. Osa parannuksista koskee ääniteknillisiä suureita, osa taas kaiunilmaisumenetelmiä.

Sellaisia parannuksia, joissa ei ole kysymys varsinaisesti uusista ideoista, vaan pikemminkin entisen periaatteen mahdollisimman tehokkaasta soveltamisesta, ovat esimerkiksi laitteiden lähetystehon suurentaminen, kapeamman äänikeilan lähettävien värähtelijöiden rakentaminen ja impulssin kestoajan lyhentäminen. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksena on saatu aikaan mm. erotuskyvyn paranemista.

Parannukset, jotka tähtäävät pääasiassa pohjan lähellä olevien kalojen havaitsemiseen

»Normaalikaikuluotaimessa» jää ulottuvuusalueesta ja siitä seuraavasta kaiunpituudesta johtuen pohjan läheisyyteen »pimeä alue», koska kalojen aiheuttamat merkit piirtyvät yhteen pohjan kuvaajan kanssa. Lisäksi pohjaviivaan tulee ylimääräisiä mutkia aallokosta johtuen. Tällaista taustaa vasten on vaikea havaita kaloja (vrt. s. 27).

Näiden hankaluuksien välttämiseksi on viime vuosina kehitetty useita parannuksia, joiden avulla on mahdollista rekisteröidä kalamerkit pohjankuvaajasta entistä selvemmin erottuvina.

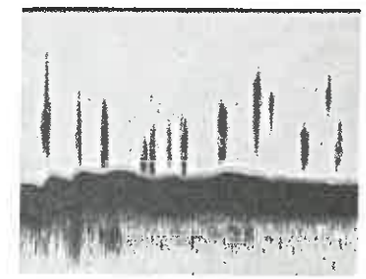
Kaikissa näissä menetelmissä käytetään hyväksi sitä tosiasiaa, että pohjan antama kaiku on paljon voimakkaampi kuin kalojen aiheuttamat kaiut, ja että ne sen perusteella voidaan erottaa toisistaan kaiun voimakkuuden elektronisella mittauksella. Kun kaiut on näin eroteltu voimakkuuden mukaan, voidaan heikentää voimakkaita kaikuja (pohjan aiheuttamia) ja vahvistaa heikkoja kaikuja (kalojen aiheuttamia) tai menetellä päinvastoin.

Tämän tekniikan sovellutuksiin kuuluvat ns. *valkojuova-* (*whiteline*), *harmaajuova-* (*black and grey amplifier*), *pohjalukko-* (*bottom-lock*) ja *kalasuodatin* (*Fischfilter*) menetelmät, sekä menetelmä, jossa pohjan kuvaaja estetään kokonaan rekisteröitymästä.

Kuva 34.

Kahdessa ensin mainitussa menetelmässä syntyy välittömästi pohjan kuvaajan ylimmän pinnan alapuolelle kapea valkoinen tai harmaa vyöhyke, jolloin pohjan lähellä olevat kalat havaitaan pohjasta erillisinä. Tapahtuma on seuraava: Niin pian kuin voimakas pohjakaiku vastaanotetaan, antaa virtapiiri hilaesijännitteen piirtimeen siten, että luotain lakkaa piirtämästä parin millisekunnin ajaksi. Täten syntyy valkea viiva todellista pohjaa osoittavan profiilin myötä. Koska virtapiiri on säädetty siten, ettei se reagoi suhteellisen heikoille kalakaiuille, nämä piirtyvät normaalisti niiden oikeille paikoille valkoviivan yläpuolelle. Kuvista 34 ja 35 voidaan todeta menetelmän käyttökelpoisuus kalakaikujen havaittavuuden kannalta.

Eräässä yllämainitun tekniikan sovellutuksessa jätetään vahva pohjakaiku haluttaessa kokonaan rekisteröimättä, jolloin kalat erottuvat selvästi »tyhjän päällä».

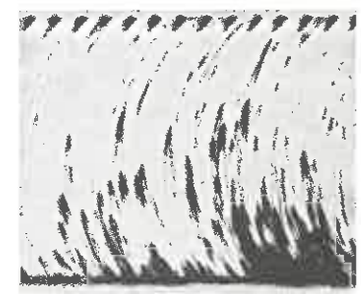


Kuva 35.

Kalasuodatin-nimisessä systeemissä piirtyy pohjan kuvaaja rasteroituna, viirullisena ja kalamerkit taas kokonaan tummina.

Eräs tekniikan uusimmista ratkaisuista kysymyksessä olevaan ongelmaan on ns. *pohjalukko*-menetelmä. Siinä käytetään pohjan antamaa kaikua viitetasona kaikudiagrammia varten ja se rekisteröityy täysin vaakasuorana, tasaisena profiilina. Kalakaiut rekisteröityvät oikealle syvyydelle sen yläpuolelle. Tällainen menettely suo hyvät mahdollisuudet pohjan lähellä olevien kalojen havaitsemiselle.

Menetelmää monimutkaistaa se, että pohjakaiut, joita tullaan käyttämään viitteenä pohjan kuvaajaa varten, vastaanotetaan kalakaikujen jälkeen. Tämä merkitsee sitä, että osa jokaisen impulssin paluusignaaleista on "varastoitava" ja esitettävä vasta sen jälkeen kun pohjaviitesignaali on vastaanotettu.



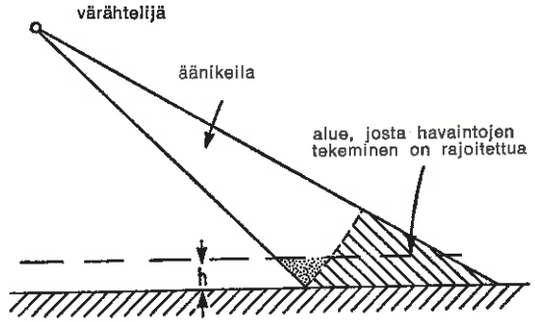
Kuva 36.

Joissain aivan uusissa laitteissa on tähän menetelmään yhdistettynä mahdollisuus pohjan läheisen syvyysalueen venyttämiseen, jolloin päästään tilanteen yksityiskohtaisempaan tarkasteluun (kuva 36). Asteikon venytys rekisteröivässä laitteessa saadaan aikaan siten, että käytetään erittäin suuria piirtimen neulan nopeuksia (esim. niin, että paperin ylitys kestää 10 millisekuntia eli sadasosasekunnin).

Horisontaaliluotain

Tärkeä kaikuluotauskalastukseen liittyvä parannus on ns. horisontaaliluotain, jolla pystytään paikallistamaan kalaparvien sijainti laajalla sektorilla aluksen ympärillä. Yleensä voidaan luotaimen lähettämä äänikeila suunnata vaakasuorasta pystysuoraan asentoon asti ja sivusuunnassa tavallisimmin noin 200...300 asteen sektorilla. Täten tehostuu luotaimen hyväksikäyttö pelagisten kalaparvien etsinnässä. Laite nopeuttaa etsintää ja laajentaa sen alaa erittäin suuresti. Joissakin horisontaaliluotaimissa on mahdollisuus kytkeä automaattinen etsintäohjelma toimintaan. Horisontaaliluotaimen käyttö tekee mahdolliseksi kalaparven havaitsemisen usein yli 500 metrin etäisyydellä aluksesta.

Horisontaaliluotain on varsin käyttökelpoinen apuväline pelagisessa (vapaassa vedessä tapahtuvassa) kalastuksessa, mutta sen sijaan se ei sovellu pohjakalastukseen. Suurin osa pohjan läheisistä vesikerroksista, siis myös pohjatroolin tavoitettavissa olevista alueista, joutuu pohjaan nähden tietyssä kulmassa olevaa keilaa käytettäessä pohjalta heijastuvien, luotauksen kannalta haitallisten kaikujen alueelle. Asiaa havainnollistaa oheinen kaavio (kuva 37).



Kuva 37.

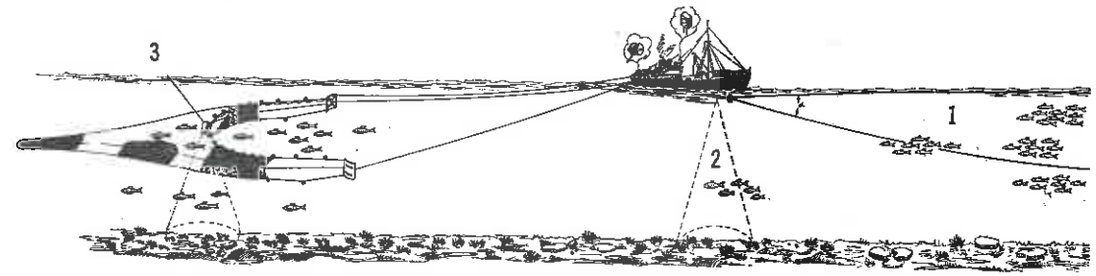
Myöskään aivan pinnassa olevia kaloja ei horisontaaliluotaimella havaita, koska edellä kuvatun tapainen ilmiö tapahtuu myös veden ja ilman rajapinnalla. Siinä tapauksessa että käytettäisiin hyvin kapeaa keilaa eliminoituisi kysymyksessä oleva haitta, mutta samalla myös laitteen etsintäteho heikkenisi huomattavasti.

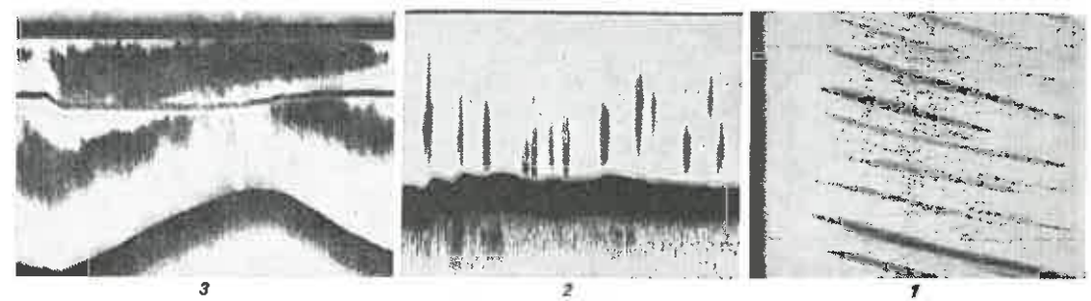
Troolikaiku

Erityisesti välivesitroolausta varten ovat eräät kaikuluotainten valmistajat kehittäneet luotauslaitteiston, jolla voidaan seurata

pyydyksen kulkusyvyyttä, kalaparven sijaintia siihen verrattuna, troolin suun korkeutta, troolin täyttymistä sekä myös troolin alapuolelle (toisissa laitteissa myös yläpuolelle) jääviä kaloja, siis pakenemisen suuntaa.

Laite koostuu normaalityyppisestä piirtävästä luotainkojeistosta, pitkällä kaapelilla varustetusta vintturista sekä troolin yläpaulaan kiinnitettävästä värähtelijästä.





Kuva 38. Yhdistetty horisontaaliluotaimen, vakioluotaimen ja troolikaiun käyttö kalastuksessa sekä vastaavat rekisteröinnit (numeroinnit ylemmässä kuvassa ja alemmassa kuvasarjassa vastaavat toisiaan)

Hyvin *kapean äänikeilan* (esim. n. 2°) lähetettäviä luotaimia on rakennettu koemielessä. Niiden yksittäisten kohteiden erotuskyky on aivan toista luokkaa kuin normaaleilla ulottuvuusalueilla varustettujen luotainten.

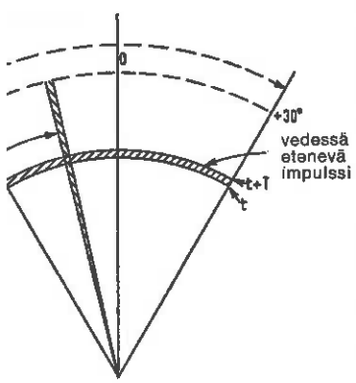
Tällaisella äänikeilalla varustetuilla laitteilla on mahdollista saada selvä kuva kalaparvesta tilanteesta riippuen miltei yksityisen kalan tarkkuudella. Ne soveltuvat myöskin hyvin pohjan lähellä

Kuva 39.

olevien kalojen havainnointiin. (Esim. luotaussyvyyden ollessa n. 50 metriä, voidaan n. 2 metrin etäisyydellä pohjasta olevat kalat havaita selvästi pohjan kuvaajasta erillisinä, kts. kuva 39.
Syynä siihen, ettei tällaisia erittäin kapean keilan lähettäviä luotaimia ole otettu yleiseen käyttöön on, kuten edellä on mainittu, sen käyttökelvottomuus vähäisessäkin aallokossa. Myöskin sen etsintäala on normaaliin kaikuluotaussysteemiin verrattuna minimaalinen.

Electronic scanning

Aikaisemmasta on käynyt ilmi, että kapean keilan käyttö antaa luotaimelle eräitä erittäin arvokkaita ominaisuuksia. Tähän asti ei ole kuitenkaan löydetty ratkaisua haittapuolien eliminoimiseksi. Nyt on kuitenkin tulossa kokonaan uusi luotausmenetelmä, jossa voidaan käyttää hyväksi toisaalta kapean keilan suomat mahdollisuudet, toisaalta leveän keilan tarjoamat edut. Tätä menetelmää kutsutaan nimellä »*within-pulse electronic scanninng sonar*», lyhyemmin vain *electronic-scanning-luotain*. Suomenkieliseksi vastineeksi sopisi ehkäpä *elektroninen heilukeilaluotain* Se on eräänlainen yhdistelmä leveäkeilaisesta ja kapeakeilaisesta luotaimesta siinä mielessä, että laitteessa on kaksi aivan erilaista värähtelijää. Äänimpulssit lähettävän värähtelijän keilan leveys on suuri, esim. ± 30° ja vastaanottavan värähtelijän keilan leveys on hyvin pieni, esim. 1°. Laite ei kuitenkaan ole yksinkertainen kahden ennestään käytössä olevan luotaimen yhdistelmä, vaan sitä on pidettävä kokonaan uutena ratkaisuna. Erikoista laitteessa on se, että vastaanottimen värähtelijän kapeata keilaa voidaan heilauttaa äärettömän nopeasti koko lähettimen synnyttämän äänikeilan poikki edestakaisin. Periaate on yksinkertaistettuna seuraava (vrt. kaavio, kuva 40).



Kuva 40.

Lähetetyn impulssin edetessä vedessä vaikuttaa äänienergia määrätyllä hetkellä tietyllä etäisyydellä värähtelijästä sijaitseviin kohteisiin. Kun kapea vastaanottokeila tavoittaa tällaisen kohteen sopivassa kulmassa saadaan kaikusignaali, joka värähtelijälle saavuttuaan ilmaistaan näyttölaitteessa. Jos vastaanottokeilaa voidaan heilauttaa sektorin poikki niin nopeasti, että se peittää koko sektorin leveyden ennenkuin lähetetty pulssi on kulkenut oman pituutensa suuruisen matkan vedessä, ja jos se tekee tätä jatkuvasti, voidaan kaikuja koota kaikista sektorin alueella olevista kohteista.

Tätä uutta laitetta on käytetty toistaiseksi miltei yksinomaan tutkimustarkoituksiin, minkä vuoksi sitä ei ole vielä erityisesti kehitetty kalastustarkoituksiin soveltuvaksi. Eräänä haittana on normaalimenetelmään verrattuna pieni ulottuvuus syvyyssuunnassa samaa keilan leveyttä käytettäessä. Toisaalta etsintätehokkuuden huomattava lisääntyminen yhdistettynä suureen erotuskykyyn antaa electronic-scanning-luotaimelle mahdollisuuden kehittyä erittäin tärkeäksi kalastuksen ja etenkin kalatutkimuksen apuvälineeksi. Koska menetelmällä saadaan välittömästi kuva koko sektorilta varsin yksityiskohtaisena jokaista lähetettyä pulssia kohti, saadaan laitteella näkyviin myös kalaparvien liike alukseen verrattuna. Jos alus on paikallaan näkyy kalojen liike näyttölaitteessa jatkuvana rekisteröintien siirtymisenä, kun taas kiinteät kohteet pysyvät paikallaan.

Menetelmällä kerätyn aineiston monipuolinen luonne aiheuttaa sen, että kuvan tulkinta poikkeaa melko lailla normaaliluotaimen merkkien tulkinnasta. Menetelmiä electronic-scanning-luotaimella saadun tietoaineiston havainnollisemmaksi ilmaisemiseksi kehitetään parhaillaan.

Tässä kirjasessa on kaikuluotaustekniikan soveltamista esitettäessä ollut pääpaino kalastuksessa. Aikaisemmin on kaikuluotainta käytetty miltei yksinomaan merikalastuksessa, mutta viime aikoina on laite otettu eri puolilla maailmaa käyttöön myös sisävesikalastuksessa ja kalataloudellisessa tutkimuksessa. Meidän sisävesillämme tulee kaikuluotain kysymykseen mm. muikun kalastuksen apuvälineenä. Myöskin on käynyt ilmi, että kaikuluotain on alunperin kehitetty merenkulkutarkoituksiin, ja voidaan todeta, että se yhdessä tutkan kanssa on edelleen eräs tärkeimmistä merenkulun turvalaitteista. Laite soveltuu erinomaisesti myös vesistöjen syvyyskartoitukseen ja väylien luotaamiseen.

Tähän eivät kaikuluotaimen käyttömahdollisuudet kuitenkaan vielä rajoitu. Laitteiden parantuessa, lähinnä niiden erotuskyvyn kasvaessa, on kaikuluotaimesta tullut myös varsin käyttökelpoinen meri- ja järvitutkimuksen apuväline. Sitä voidaan käyttää mm. seuraavien limnologisten tutkimusten kannalta merkityksellisten ilmiöiden rekisteröinnissä: plankton, samennukset, kaasukuplat, virtaukset, pohjan laatu ja sedimenttikerrostumat. Laite soveltuu hyvin myös näytteenoton tarkkailuun vesistötutkimuksessa. Myöskin vedenalaisiin geologisiin tutkimuksiin sekä hylkyjen yms. etsintään on kaikuluotainta käytetty.

Kaikuluotaustekniikan alalla näyttää parast'aikaa olevan tulossa varsin käyttökelpoisia uusia sovellutuksia yleisempään käyttöön. Eräät alan tiedemiehet ovat kuitenkin sitä mieltä, että suurimmat edistysaskeleet ovat vielä edessäpäin, ja toteutunevat varsin läheisessä tulevaisuudessa.

Liite

Piirrosten, kuvien ja esimerkkidiagrammien alkuperä sekä julkaisuoikeuteen liittyvät maininnat:

The origin of the figures used in this book and the acknowledgements:

kuvat 1—30, 31a sekä 38 (ylempi), ELAC-Electroacustic G.m.b.H.
kuvat 31b ja 31c, Ross Laboratories, Inc.
kuvat 32, 33, 35 ja 38 (alempi), Fried. Krupp Atlas-Elektronik
kuvat 34 ja 36, Coutresy Kelvin Hughes
kuvat 37 ja 40, D. G. Tucker
kuva 39, Photo: British Crown copyright.Published by permission of the Controller of Her Britannic Majesty's Stationery Office

Näyttölaitteen kuvaruudun yläosassa oleva musta viiva näyttää troolin kulkusyvyyden jo ennenkuin se saavuttaa kalaparven. Tämän näytön ansiosta voidaan troolin syvyyttä lisätä juuri sopivaksi kalaparven kohdalle tultaessa.

KUN ATLAS ON ASIALLA

tiedätte missä kala kulkee.

Kaikuluotaimia ja tutkia kaikkiin alustyyppeihin.

ATLAS KAIKULUOTAIMET

— Monograph
— Nereus
— Phoenix
— Neptun
— Pelikan
— Troolin kulkusyvyyden ilmaisin
— Pinguin
— Monoscop
— Fischfinder
— Horisonttaaliluotain

ATLAS-TUTKAT

— ATLAS 3000 — ATLAS 5000

MACHINERY

Teollisuuskatu 29, Helsinki. Puh. 71 67 11
Postiosoite: Postilokero 10129, Helsinki 10

SISÄLLYS

ALKUSANAT

1. **Kaikuluotauksen periaate** — sivu
   - Ääniaallot kaikuluotauksen perustana ... 5
   - Värähdysluku eli frekvenssi ... 5
   - Äänen etenemisnopeus ja aallonpituus ... 6
   - Ääniaaltojen heijastuminen ja kaiku ... 6
   - Äänen heijastumisen lait ... 7
   - Ultraääni ja sen käytön edut ... 8

2. **Kaikuluotain**
   - Mittaustarkkuus ... 11
   - Ääni-impulssi ja kaiku ... 13
   - Kaikuluotaimen toiminta ... 15
   - Paperin liikkumisnopeus ja sen merkitys ... 16

3. **Kaikudiagrammit ja niiden tulkinta**
   - Ulottuvuusalueen suurimman läpileikkauksen arvioiminen ... 19
   - Kerrannaiskaiut ... 19
   - Kalojen paikallistamisesta ... 22
   - Yksittäisten kalojen kaikuluotaus ... 24
   - Kalaparvien kaikuluotaus ... 24
   - Troolin täyttymisen arviointi ... 26
   - Pohjan lähellä oleskelevat kalat ... 27

4. **Eri tapoja kaikumerkin ilmaisussa**
   - Vilkkuvalo ... 29
   - Katodisädeputki ... 30

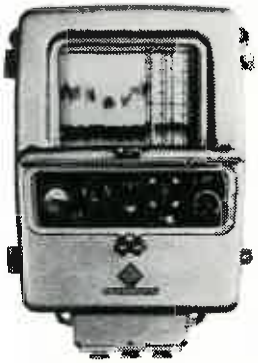
5. **Parannuksia ja uutuuksia kaikuluotaustekniikassa**
   - Parannukset, jotka tähtäävät pääasiassa pohjan lähellä olevien kalojen havaitsemiseen ... 32
   - Horisontaaliluotain ... 34
   - Troolikaiku ... 34
   - Electronic scanning ... 36

Liite: Piirrosten, kuvien ja esimerkkidiagrammien alkuperä sekä julkaisuoikeuteen liittyvät maininnat

Piilopaikkaa ei ole!
ELAC-kaikuluotauslaitteilla
löydätte kalat ...

ELAC

... laajalta alueelta
aluksen ympärillä
(ELAC-LODAR) ...



... kaikista kalastettavissa
olevista syvyyksistä
(ELAC-ECHOGRAPH) ...

... ja troolin suuaukon
tuntumasta
(ELAC-NETZSONDE) ...

... myös pohjan välittömästä
läheisyydestä
(ELAC-FISCHLUPE).

ELAC

ELECTROACUSTIC GMBH · 23 KIEL 1

PÄÄEDUSTAJA SUOMESSA: OY GAREA AB,

Pursimiehenkatu 1 A 1, Helsinki 12,
Puhelin 629 545, 625 552.

SANOMAPAINO HELSINKI 1969