



EESTI MAAÜLIKOO  
VETERINAARMEDITSIINI JA LOOMAKASVATUSE INSTITUUT  
LOOMAGENEETIKA JA TÕUARETUSE OSAKOND

ULTRAHELI APARAAT – KUIDAS SEE TÖÖTAB

**ALO TÄNAVOTS**

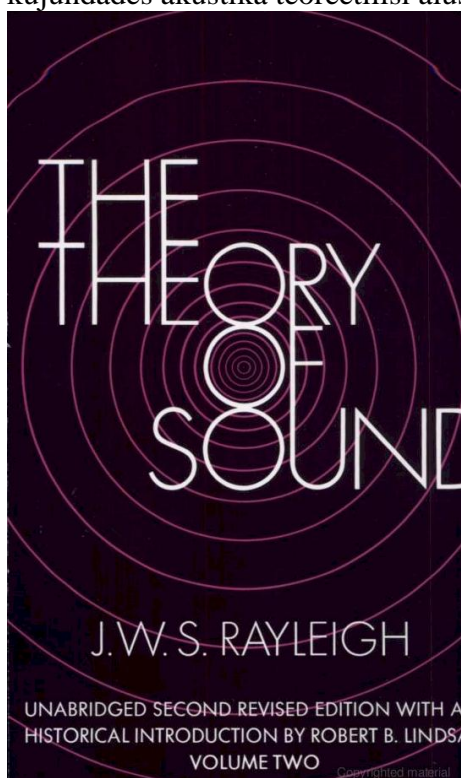
Tartu 2006

## ÜLEVAADE ULTRAHELI KASUTAMISEST

Et teada, kuidas ultraheliaparaat töötab, tuleb esmalt tutvustada tähtsamaid etappe ultraheli ajaloo.

1822. a kasutas šveitsi füüsik Daniel Colladen edukalt sukeldumiskella helilainete kiiruse täpseks määramiseks Genfi järve vetes (Woo, 2002). Ta süütas püssirohulaengu, mille sähvatus registreeriti 16 km kaugusel ning võrreldi heli saabumisega sukeldumiskellani. Hoolimata rohmakatest instrumentidest, arvutasid nad heli kiiruseks vee all 1435 m/s, mis ei erine eriti tänapäeval mõõdetud kiirusest.

Inglismaal avaldas lord Rayleigh 1877. a kuulsa kirjatöö „*The Theory of Sound*“ (Strutt, 1877), milles ta kirjeldas täpselt helivibratsiooni (laineid) ja heli levimise ning murdumise füüsikalisi põhialuseid. Ta oli esimene, kes kirjeldas helilainet kui matemaatilist võrrandit, kujundades akustika teoreetilisi aluseid.



Lord Rayleigh

Google

Kajalokatsiooni tegelik läbimurre toimus 1880. a Pariisis, kui Pierre Curie (joonis 1) ja tema vend Jacques Curie avastasid teatavate kristallide piezoelektrilised omadused. Nende eksperiment sisaldas veenvaid tõestusi eriliselt ettevalmistatud kristallide pinnalaengute kohta (turmaliin, kvarts, topaas, roosuhkur ja Rochelle'i sool), mida mõjutati mehhaanilise survega. Arvestades, et need tulemused saadi hõbepaberit, liimi, juhtmeid, magneteid ja juveliiri saagi kasutades, oli tegemist erakordse saavutusega. Kristallile surve avaldamisel tekib selles elekter. Üks kõige levinuimaid seadmeid, kus selliset kristalli omadust kasutatakse on välgumihkel. Nupule/kangile vajutades avatakse gaasi klapi ning sama lajal surutakse piezoelektrilisele kristallile, mis süütab välgumihkli kütuse.



**Joonis 1.** Pierre Curie, 1859...1906 (Woo, 2002)

Teadusringkondades nimetati seda avastust „suureks avastuseks” ja seda hakati kiiresti kutsuma „piesoelektriiks”, et eristada seda teistest fenomenaalsetest teaduslikest avastustest nagu „kontaktelekter” (hõõrdumisel tekkiv staatiline elekter) ja „püroelekter” (kritallide kuumutamisel tekkiv elekter). *Pezein* on kreeka sõna, mis tähendab survet.

Järgneval kahel aastal loodi Euroopa teadlaste ühendus uurimaks piesoelektrilisi rakendusi. Järgneva 25 aasta (kuni 1910) jooksul tehti ära suur töö, millega defineeriti lõplikult 20 loodusliku kristalli klassi, millelel on piesoelektrilised omadused.

Esimene tõsiseltvõetav seade, mis kasutas piesoelektrilist seadet leiutati I maailmasõja ajal, 1912. aastal, kui projekteeriti veealused sonarsüsteemid allveelaevade veealuseks navigeerimiseks. Alexander Belm Viinist kirjeldas samal aastal veealust kajalokatsiooni seadet.



A. Belm

Esimene patent veealusele sonarile anti välja inglise meteoroloogile Lewis Richardsonile Briti Patendibüroos kuu aega pärast Titanicu uppumist. Esimese töötava sonari projekteeris ja ehitas Ühendriikides kanadalane Reginald Fessenden 1914. a.

Paul Langevin ja tema prantsuse kaastöölised löid täiusliku ultraheli allveelaeva avastaja 1917 aastal. Nende andur koosnes mosaiikseltselt paigutatud õhukestest kvartskristallidest, mis olid kleebitud kahe terasplaadi vahele. Seade emiteeris vee all kõrge sagedusega piikse ja mõõtis tagasi peegeldunud kaja kaugust.

Esimene edukas raadiolainete eksperiment leidis aset 1924. a, kui briti füüsik Edward Appleton kasutas raadiolainete kaja, et määrata ionosfääri kõrgust. Esimese praktilise radarisüsteemi (*Radio Detection and Ranging*), mis kasutas enam elektromagnetilisi laineid kui ultraheli, valmistas 1935. a teine briti füüsik Robert Watson-Watt ning 1939. a rajas Inglismaa radarijaamade keti piki oma lõuna- ja idarannikut, et avastada õhu või mere kaudu sissetungijaid.

Sellised radarisüsteemid on olnud hilisemate 2-dimensiooniliste sonarite ja meditsiiniliste ultrahelisüsteemide, mis ilmusid 1940. aastate lõpus, otsesteks eelkäijateks (Woo, 2002)

Teine paralleelne ja sama tähtis suund ultraheli arengus algas 1930ndatel, kui konstrueeriti impulss-kaja ultraheli metallidefekti detektor, mis oli tol ajal eriti tähtis suurte laevade metallkerede ja lahingutankide soomusplaatide terviklikkuse kontrollimisel. Ultraheli metallidefektide avastamise kontseptsiooni pakkus esimesena välja nõukogude teadlane Sergei J. Sokolov 1928. a Leningradi Elektrotehnika Instituudist (Sokolov, 1929; ref Woo, 2002).

Ultraheli kasutamine meditsiinis algas hoopis teraapias, mitte diagnostikas; selle soojendavat ja lõhustavat mõju kasutati loomade kudede ravimiseks (Woo, 2002).

1940. a sai ultrahelist aegapidi neurokirurgiline tööriist ning umbes samal ajal kasutati meditsiinis ultraheli eksperimentaalselt ka diagnostika eesmärgil. Karl Theodore Dussik (1942), Viini Ülikooli neuroloog-psühhiaater, oli arvatavalt esimene meedik, kes kasutas ultraheli meditsiinilise diagnoosi panemisel.

Ameerika Ühendriikide Mereväe Uurimise Instituudi arst Georg Ludwig alustas 1940date lõpus eksperimente loomakudede uurimisega, kasutades selleks ultraheli. Enamik Ludwigi tulemustest sisaldas sõjalist informatsiooni ja seda ei avaldatud meditsiiniajakirjades. Tema tööd bioakustika laboratooriumis Massachusettsi Tehnoloogia Instituudis koos füüsik-insener Richard Bolti, arst Holly T. Ballantine ja füüsik Theodor Hueteriga Siemensist võimaldasid mõõta heli ülekandekiirust looma pehmetes kudedes, mis oli 1500...1600 m/s (Ludwig jt, 1950; Ludwig, Ballantine, 1950; Ludwig, 1950; Ludwig, Struthers, 1950).

Ultrahelitehnoloogia võeti põllumajanduses kasutusele 1950ndate alguses kui meetod kariloomade kehaehituse erinevuste hindamiseks (Wild, 1950; Claus, 1957; Panier, 1957; Price jt, 1958; Hazel ja Kline, 1959). Esimene uurimus ultraheli kasutamise kohta pärineb J. J. Wildilt (1950), kes väitis, et ultrahelitehnoloogial pole kahjulikku mõju ja see on humaanne (joonis 2). Ta määras esmakordselt elusloomadel keskmised lihas- ja rasvkoe kogused. Tehnoloogia kiire areng 1970ndate teisel poolel ja 1980ndate algul muutis ultraheliaparaati palju.



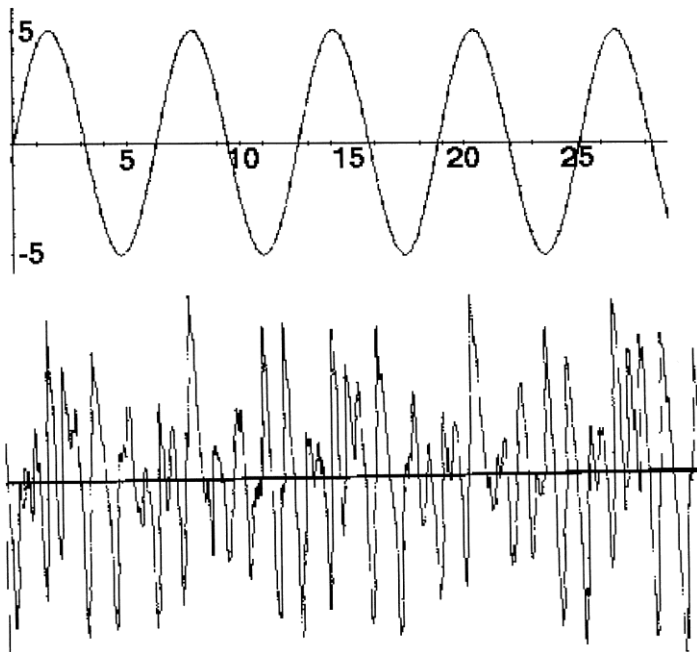
**Joonis 2.** John Julian Wild (Woo, 2002)

Ultraheli kasutamisel valatakse mineraalõli mõõdetavale kehapiinnale, kuhu asetatakse sensor või andur, ning ultraheliaparaat muundab seejärel elektrilised impulsid kõrgsagedusega helilaineteks, millest ka nimetus *ultraheli*. Ultraheli tööpõhimõtteks ongi mõõta kaja liikumist

pehmetes kudedes. Need helilained liiguvad kehasse ja peegelduvad tagasi eri tihedusega kudede piirilt. Kujutis, mida ultrahelilained läbi anduri tagasi saadavad, projitseeritakse ultraheliaparaadi ekraanile ning sellega on mõõde sooritatud.

### Ultraheli omadused

Heli on gaasilises, vedelas ja tahkes keskkonnas leviv kokkusurutud ja murtud mehaaniline laine (joonis 3). Heli võib võrrelda pikilainega, mida iseloomustavad pikkus, sagedus ja kiirus. Lainepikkus on vahemik antud laine kahe sarnase punkti vahel. Sagedus on tsüklite arv või lainepikkuste esinemissagedus teatud ajaperioodil (tavaliselt ühes sekundis). Kiirus on tuletatud matemaatiliselt heli sagedusest ja lainepikkusest. Sagedust kirjeldatakse kui tsüklit sekundis ehk hertsi (Hz). Kuuldav heli varieerub 20...20 000 Hz-ni.



**Joonis 3.** Heli tekitatud rõhu muutus kõrvas mingi ajavahemiku jooksul ja reaalne heli (Voog, 2000)

Diagnostikas kasutatakse ultraheli sagedust 2 kuni 10 MHz, mis on tunduvalt madalam kuuldava heli sagedusvahemikust. Lihakeha hindamiseks kasutatakse tavaliselt sagedust 3,5 MHz ning tiinuse määramiseks 7,5 MHz. Kui on teada heli levimise kiirus ja sagedus, saab arvutada lainepikkuse. Et helikiirus on igas koes konstantne, siis muudab sageduse muutmine ka lainepikkust. See omakorda aga mõjutab ultraheli kujutise resolutsiooni ja kvaliteeti (Amin, 1995; Rantanen, Ewing, 1981; Herring, Bjornton, 1985; Wilson, 1994).

Et ultraheli rakendatakse erinevatel eesmärkidel, on kasutatavaid sagedusi palju. Samuti on iga muundur eri suurusega, et paremini sobida rakendusega, mille jaoks seda kasutatakse. 7,5 MHz muunduril on lühike lainepikkus, madal läbitungimisvõime ja kõrge lahutusvõime. Peamiselt kasutatakse seda tiinuse kontrollimiseks. Selline muundur on väga väike (5,6 cm pikk), kuna see asetatakse veiste ja lammaste pärasoolde ning sigade kubemele. 3,5 MHz muunduril on pikk lainepikkus, sügav läbitungimisvõime ja kehv lahutusvõime. Seda on soovitatav kasutada ultrahelipiltide kogumiseks, mille järgi hinnata lihakeha koostist. Sellisel sagedusel töötavad muundurid, mida kasutatakse elusloomade lihakeha mõõtmiseks, on tavaliselt 17,2 cm pikad (Perkins, 1997).

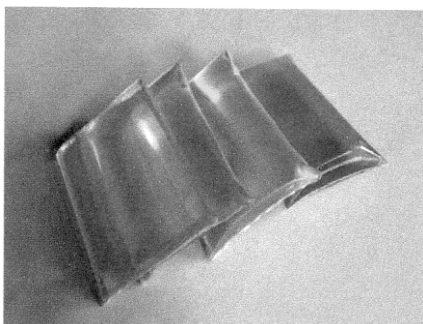
Muundur on väga tähtis ultraheliaparaadi komponent. Ta mõõdab õhukest lõiku proovist ja kuvab selle ekraanile (Ginther, 1994). Diagnostilist ultraheli toodavad andurisse (muundurisse) paigaldatud kristallid, millel on piesoelektrilised (surveelektrilised) omadused. Kui piesoelektrilisi kristalle rõhu abil deformeerida, toodavad nad elektrit ning, vastupidi, kui mõjutada neid elektrivooluga, siis kristallid deformeeruvad (moonduvad). Selline on protsess, mille abil ultraheli tekitatakse ja võetakse vastu anduri poolt. Piesoelektrilisi materjale või kristalle valmistatakse enamasti kvartsist, turmaliinist või tehiskeraamikast (Widmer, 1993). Need kristallid lõigatakse kettakujuliseks, mille paksuse määrab tööpinna paksus ning diameeter määrab ultraheli kiire omaduse. Kristallide paksus ja koostis on unikaalse resoneeriva sagedusega. Seega on muundureid saadaval erineva sagedusega (3,5; 5,0; 7,5 MHz). Helilaineid saadetakse sagedusel 1:1000 ja võetakse vastu 999:1000 pildi kestel (Widmer, 1993). Peegeldumisel pöördub heli tagasi andurisse ja seal leiab aset kristallide kerge deformatsioon, mis omakorda tekitab elektrivoolu (joonis 4). Vool kuvatakse ostsilloskoobil koe liidete kujutisena (Rantanen, Ewing, 1981).



**Joonis 4.** Ultraheli kiire liikumine (Sonic Industries, 1996)

Esimesed muundurid olid 12,5 cm pikad. See tähendab, et suure pindala, näiteks selja pikima lihase (*musculus longissimus dorsi*) mõõtmiseks oli vaja kasutada jaosekraani. Jaosekraanil sai esitada täieliku pildi lihastest, kui kaks ultrahelipilti kattusid. See saavutati muunduri asetamisega loomale ning lihase ülemise poole kujutis „külmutati“. Seejärel võeti lihase alumise poole kujutis ning sobitati kaks kujutist ekraanil kokku. Pärast uue, 17,2 cm muunduri väljatöötamist polnud jaosekraani enam vaja. Kogu lihase pindala tekib ekraanile ühel ajal. Jaosekraani kuva täpsus ( $r = 0,60$ ) on väiksem kui mittejaosekraani ( $r = 0,80$ ) kuval (Perkins, 1997).

Muundurid on haprad ja võivad kergesti puruneda, seega peab neid käsitsema väga hoolikalt. Nad pole mitte ainult õrnad, vaid ka väga kallid. Muundurid on jäigad ja lamedad ning seepärast ei sobi nad alati looma kujuga. Selle kompenseerimiseks on loodud pehmed vahepadjakesed (joonis 5).



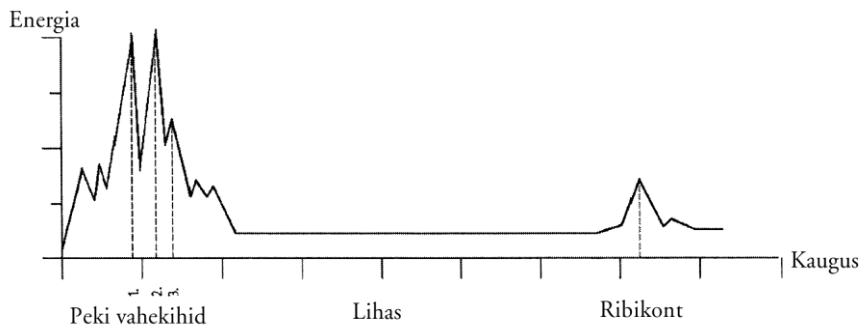
**Joonis 5.** Akustilised vahepadjakesed (ATS ...)

Padjakesed toimivad samuti akustilise sidestajana. Neid valmistatakse PVC plastikust, millel

on head akustilised omadused (Critical Visions, 1995), ning nad kohanduvad loomade seljakumerusega. Eri loomaliikidele on erineva suurusega vahepadjakesed.

### Helilainete ja kudede koostoime

Kui heli läbib kude, peegeldatakse teatud osa kiiri andurisse tagasi. Peegeldumine leiab aset siis, kui kudede liitekohad on erineva helitakistusega (joonis 6). Tagasi saabuva kaja amplituud määrab ühe koe helitakistuse absoluutse erinevuse teise koest. Mida sarnasem on ühe koe helitakistus teisega, seda nõrgem on tagasi saabuv kaja (Herring, Bjornton, 1985).



**Joonis 6.** Ultraheli liikumine kudedes (SFK..., 2004<sup>d</sup>)

Iga kaja, mis peegeldub tagasi andurisse, muudetakse seal elektriliseks impulsiks ja kuvatakse läbi katoodekiirelambi ekraanil. Ultraheliskanner arvutab aja, mis kulub pulsi väljakiirgamisest kuni selle kaja tagasipeegeldumiseni, see võimaldab omakorda arvutada akustilise faasi täpse kauguse andurist. Helikiir liigub pehmes koes umbes 1540 m/s. Seega ainus tunnus, mis põhjustab heli üldtakistuse erinevusi pehmete kudede vahel, on nende tihedus. Kui kaks erineva tihedusega kude on teineteisega kokkupuutes, siis see tekitab akustilise liidese või peegelduva pinna (Herring, Bjornton, 1985).

Heli liigub läbi luude kiirusega umbes 3100 m/s. Luude tihedus on tunduvalt erinev pehmete kudede tihedusest. Seepärast on pehme koe ja luu piiril väga suur üldtakistuse erinevus (Herring, Bjornton, 1985). Eri kudede akustilise üldtakistuse absoluutväärtus on suhteliselt tähtsusetu, kuid akustilise üldtakistuse erinevus on oluline kudede piiril, sest see määrab tagasipeegelduva kiire tugevuse (Rantanen, Ewing, 1981). Kiirust mõõdetakse järgmise valemiga:

$$\text{vahemaa} = \frac{\text{aeg} \times \text{kiirus}}{2} .$$

Koe tiheduse või helikiiruse muutus põhjustab kudedes ultraheli peegeldumise või hajumise (Amin, 1995). Erinevate pehmete kudede omadused ja liitepinnad määravad lõplikult ära, kui palju helilaineid tagasi peegeldub ja muunduri poolt vastu võetakse. Kiirus kasvab, kui tihedus suureneb (tabel 1). Tihedamad koed (näiteks luud) peegeldavad helilaineid paremini. Peegelduse erinevused võrreldes pehmete kudede tekivad selle tõttu, et helilaine läbib selle punkti teistsuguse kiirusega. Pehmete bioloogiliste kudede läbimise keskmine kiirus on umbes 1540 meetrit sekundis.

Helikiirus varieerub vastavalt koe tüübile ja temperatuurile. Enamik reaalaraja skannereid on kalibreeritud ultraheli vee läbimise kiirusele kehatemperatuuril.

**Tabel 1.** Helilaine kiirus erinevates keskkondades

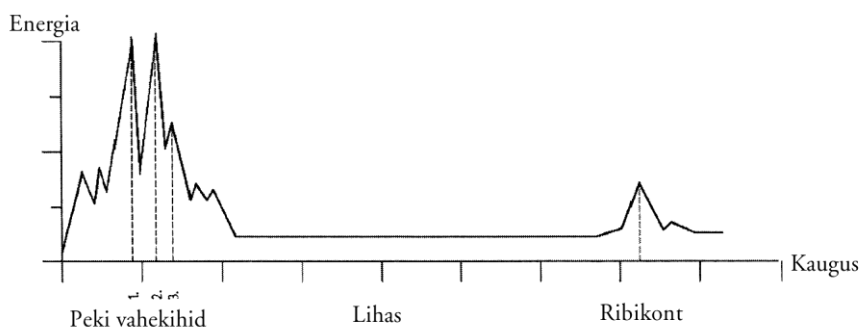
Keskkond	V. Amin, 1995, J. R. Stouffer, 1988	H. Morneburg, 1995	
	Helikiirus m/s	Helikiirus m/s	Tihedus g/cm <sup>3</sup>
Õhk	330	331	0,0013
Vesi (20 °C)	1500	1492	0,9982
Nahk	1700	–	–
Rasvkude	1430	1470	0,97
Lihaskude	1620	1568	1,04
Pehme kude (keskm)	1540	–	–
Luu (kompaktne)	3500	3600	1,7
Luuüdi	–	1700	0,97
Maks	–	1540	1,055
Aju	–	1530	1,02

Pehmeid kudesid läbides kaotab helilaine energiat. Sellist energiakadu käsitletakse kui sumbumist. Sumbumine on põhjustatud valdavalt kahest protsessist: neeldumisest ja helilaine hajumisest. Neeldumine on ultraheli korrapärase liikumise muutumine soojuse korrapäratuks liikumiseks. Neeldumine suureneb koos helilaine sagedusega. Kui heli läbib õhukesi koekihte, põhjustab see helilaine energiakao – helilaine hajumine. Heli hajumise intensiivsus suureneb sageduse tõustes. Et faktorid, mis põhjustavad laine neeldumist ja hajumist, sõltuvad heli sagedusest, kasutatakse pehmete kudede läbimiseks tunduvalt madalama sagedusega heli (Rantanen, Ewing, 1981). Sel põhjusel on palju sobivam kasutada 3 MHz andurit keha sügavamate kohtade (s.o lihaste piirkond) uurimiseks, kuna 5 MHz andur on edukalt kasutatav, analüüsivaks kudesid, mis on keha välispinnale lähemal (pekipsus).

Kvaliteetse kujutise saamiseks on vaja kasutada sidusainet nii lihakeha kui ka tiinuse hindamisel. Ilma sidusaineta peavad ultrahelilained liikuma läbi õhu, mis on halb ultraheli edastaja. Sidusaine loob lainete liikumiseks parema keskkonna kui õhk. Taimeõli (lihakeha hindamisel) ja ultraheli geel (tiinuse hindamisel) on parimad sidusained. Mineraalõli võib samuti kasutada, kuid see on muunduri pinna suhtes palju abrasiivsem (Perkins, 1997).

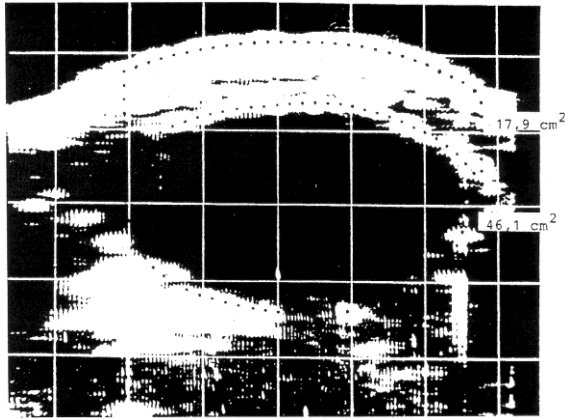
### Kuvaformaadid

Kasutusel on peamiselt kolm kuvaformaadi moodi. Esimest kutsutakse amplituudi moodiks (A-mood), kus ultraheli kujutis on peegeldunud kaja amplituudi ja vahemaa ühedimensiooniline kuva (joonis 8). See mood koosneb vertikaalsetest teravikest piki horisontaaltelge. Teraviku kõrgus vastab kaja ulatusele (Rantanen, Ewing, 1981; Herring, Bjornton, 1985).





Heleduse mood (B-mood) (joonis 7) on ultraheli kujutise teiseks kuvaformaadiks, mis koosneb punktide kahedimensioonilisest kuvast. Andurit üle kehapinna liigutades saadakse anatoomilise osa ristlõikeline kujutis. Täpi asukoht ekraanil on määratud ajaga, mille jooksul kaja peegeldub tagasi andurisse. Punkti heledus on võrdeline peegeldunud kajade amplituudiga.

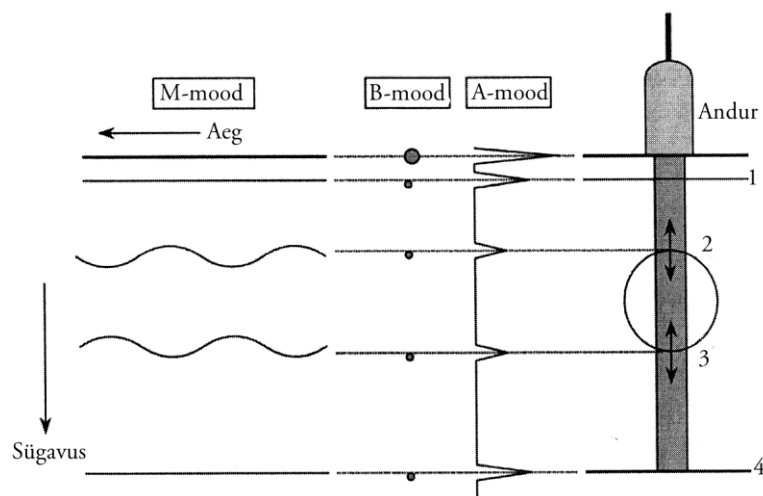


**Joonis 7.** B-moodi kuva (Blendl jt, 1980)

B-moodi kasutatakse reaalajas ultraheli kuvamiseks, et jäädvustada struktuurimuutusi. Reaalajas kuvamisel registreeritakse kajad pidevalt ja esitatakse see liikuva pildina katoodkiire ekraanil. Kodeerijad edastavad peegeldunud kaja ekraanile, kus kujutatakse koe pindu (joonis 8). Reaalaja seadete kodeerijatel on liikuv pea, mis võimaldab anduril kiirelt liikuda ühest piirkonnast teise (Rantanen, Ewing, 1981; Herring, Bjornton, 1985).

Kolmas kuvaformaat on ajas liikuv mood (M- või TM-mood). Sellel on ühedimensiooniline formaat, mis kuvab punkte. TM-moodi puhul hoitakse andur liikuvate organite asukohal (joonis 8).

Kuva trükitakse ostsilloskoobile või pideva joonena valgele ülitundlikule paberile. TM-moodi kasutatakse peamiselt ehkardiograafias (Rantanen, Ewing, 1981; Herring, Bjornton, 1985).



**Joonis 8.** Anduri vastuvõetud kajade skemaatiline esitus A-, B- ja M-moodi puhul. 1 ja 4 – liikumatud koepinnad; 2 ja 3 – pulseeriva elundi ees- ja tagasein (A-moodil teravikud, B-moodil punktid ja TM-moodil lained) (The Encyclopaedia..., 2003)

## ULTRAHELI KASUTAMINE LOOMAKASVATUSES

### Elusloomade hindamine

Ultraheli kasutatakse lihloomade mõõtmiseks. Elusloomade anatoomilised mõõtmised võimaldavad koos teiste näitajatega täpselt kirjeldada loomade kehaehitust, mis omakorda lubab prognoosida geneetilisi erinevusi üksikute lihakeha tunnuste vahel. Peale selle saab leida järglaste lihakeha väärtuse eeldatava erinevuse sarnaselt kasvu ja emaomadustega. Lihakeha kvaliteedi parandamise programm peab olema üleriigiline, et koguda suur andmebaas paljudest populatsioonidest. See nõuab igas tootmisüksuses aretajatelt väga paljude andmete registreerimist ning kõiki karju hõlmavat geneetilist analüüsi, et esitada andmed kujul, mis võimaldab seakasvataval teha efektiivset valikut.

Ultraheliaparaati käsitletakse lihakeha väärtuse geneetilise parandamise programmi lahutamatu osana. Elusloomade näitajate asemel on võimalik mõõta ka lihakeha. Ehkki selline alternatiiv on vastuvõetav ja hõlmab suure osa andmetest, mida aretusprogrammides kasutatakse, on lihakeha näitajatel kaks peamist probleemi. Esiteks tuleb järglaste järgi testimisel loomad andmete saamiseks tappa. Kuigi järglaste järgi testimine on täpne geneetilise väärtuse hindamise meetod, on see väga kulukas nii ajaliselt kui ka rahaliselt. Teine probleem on selles, et andmed saadakse lihatööstustest ja see nõuab nendelt head koostööd andmeid vajavate asutustega. Niisuguse andmete kogumise puhul on alati võimalus ebatäpsuste tekkeks, sest viga ühe märgendi edastamisel võib segi paisata kogu andmebaasi. Selliseid vigu on raske avastada ja sageli võimatu korrigeerida.

Kui looma hindamiskulud on madalad, võivad elusloomadelt saadud näitajad elimineerida paljusid eespool nimetatud probleeme. Üheks meetodiks elusloomadelt andmete kogumiseks on ultraheli kasutamine, millel on potentsiaali ka tulevikus, võrreldes teiste elektrooniliste hindamismeetoditega, näiteks mehaanilite ja optiliste sondidega, elektromagnetilise skaneerimise, elektrilise üldtakistuse, röntgeni, kompuutertomograafia ja aatommagnetilise resonantsiga. Meetodite valik, mida soovitakse laialdasemalt kasutusele võtta, sõltub eelkõige maksumusest, täpsusest ja kasutamiskihtsusest (Wilson, 1992).

### Elusloomade andmete kasutamine

Elusloomade mõõtmete ja geneetilise parandamise programmide kasutamine hõlmab mitmeid põhimõtteid, mida tuleb arvestada. Programmide edukas rakendamine, milles on kasutatud ultraheli abil elusloomadelt saadud näitajaid, sõltub nendest põhimõtetest.

Anatoomilised seosed. Keha koostist võib lihtsustatult defineerida kui tailiha, peki ja luude proportsionaalset suhet lihakehas. Paksuse ja pindala mõõtmete anatoomiline asend peab olema selline, et neid oleks võimalik elusloomadel määrata kiiresti ja täpselt ning et nad võimaldaksid oluliselt parandada keha koostise prognoosimise täpsust.

Kas ultraheli näitajatest on kasu või mitte, sõltub kahest asjaolust:

- 1) kui täpselt saab lihakeha näitajate järgi prognoosida peki ja tailiha osakaalu,
- 2) kas elusloomadel ja lihakehadel saab mõõtmiseks kasutada samu anatoomilisi kohti.

Näiteks eluslooma pekipaksuse ja selja pikima lihase ristlõikepindala mõõtmete alusel ei saa

eriti täpselt prognoosida keha koostist, seega pole tähtis, kui täpsed on nende kahe tunnuse ultrahelimõõtmised (Wilson, 1992).

Geneetiline varieeruvus. Elusloomadel ultraheliga mõõdetavad anatoomilised punktid peavad olema geneetiliselt kontrollitavad ja omama piisavat variatsiooni, et selektsiooniprogramm oleks efektiivne. Tunnuste kõrge päritavus ei tähenda tingimata, et aretajad saaksid valikut efektiivselt teha. Geneetiline variatsioon peab olema suur ka selleks, et oleks võimalik majandamises kiireid ja olulisi muutusi teha.

Fenotüüp peab võimaldama leida erinevusi loomade vahel. Näiteks noorte lihaste rasvakihi geneetiliste erinevuste prognoosimine on muutunud äärmiselt keeruliseks nende rasva väikese koguse ja vähesel varieeruvusel tõttu (Wilson jt, 1989).

Andmete kogumise standardid. Loomakasvatustevõtted, kus alustatakse aretusprogrammiga, kasutades elusloomade ultrahelinäitajaid, peavad ühtlustama andmete registreerimise protseduuri ja tõlgendamise standardeid ühetähenduslikult. Ultraheliga andmete kogumise standardid on iga loomaliigi jaoks erinevad, need peavad olema spetsiifilised, kirjeldades täpselt kohti, kuhu asetada ultraheliandur ja mitu mõõtmist igal loomal on vaja teha. Standardid peavad sisaldama keskkonna või pidamisega seotud informatsiooni, mis registreeritakse lisaks ultrahelinäitajatele. Täpselt peab määratlema, millal mõõtmisi läbi viiakse, näiteks kindla vanuse või kehamassi juures. Samuti peab detailselt kehtestama ultrahelinäitajate ja kujutiste tõlgendamise standardid iga loomaliigi jaoks ning välja töötama suunised, kuidas tõlgendada lihase ja peki paksust ning ristlõikepindalaid kõige täpsemalt (Wilson, 1992).

Väljaõppe standardid. Vajalik väljaõppeaeg, mis tagaks ultraheliaparaadi asjatundliku kasutamise, sõltub aparadi tüübist. Mõne ainult pekipaksuse mõõtmiseks kasutatava A-moodi skanneri täpne käsitsemine on suhteliselt lihtsalt omandatav. Enamik B-moodi (reaalaja) skannereid nõuab aparadi kasutamiseks tunduvalt rohkem praktikat, et leida anduri õige asukoht ja tõlgendada kujutist korrektselt. Spetsialist peab väga hästi tundma aparadi ja selle seadeid ning omama põhjalikke teadmisi testitavate loomade anatoomiast, ta peab olema samuti võimeline hindama ja eristama anatoomilisi punkte, mille varieeruvus loomade vahel võib olla suur (Wilson, 1992).

Tailiha ja peki kasvu mudelid. Loomade keha koostise hindamiseks peab defineerima hindamiskriteeriumid. Lisaks tuleb mõõdetud ultrahelinäitajate alusel välja töötada erinevate anatoomiliste punktide kasvu mudelid igale loomaliigile ja võimalik, et ka igale tõule (Simm jt, 1983).

Geneetilised prognoosimise mudelid. Lihakeha aretusväärtuse mudelite väljatöötamine, kasutades ultrahelinäitajaid, vajab nende teaduslikku uurimist ja arendamist. Üks peamisi uurimisvaldkondi on erinevate tunnuste vahelise genotüübi ja keskkonna kovariatsiooni täiustamine, et kasutada seda prognoosimudelites (Wilson, 1992).

Praktiline juurutamine. Ultraheliaparaatide kasutamisel jõudluskontrolli programmides on tähtsad mitmed tegurid: aparadi portatiivsus, vastupidavus andmete kogumisel välitingimustes ja hooldus. Ultraheliaparaadi näitajad peavad sobima teiste rutiinsete, näiteks pidamistingimuste näitajatega. Lisaks peab aparadi ja spetsialisti teenustasu olema taskukohane.

Tähelepanu peab pöörama ka sanitaarnõuetele, et haigused ei leviks hooletuse tõttu ühest farmist teise. Mõnel juhul võib olla vajalik aparadi desinfitseerimine loomade testimise vahel samas farmis. Näiteks kui testimispiirkonnas levib püüra (Wilson, 1992).

**Tabel 3.** Ultraheli täpsus sigade, mõõtmisel (Houghton, Turlington, 1992)

Allikas	Instrument	Mõõtmiskoht <sup>a</sup>	Täpsus (r)
J. R. Stouffer jt, 1961	Sperry reflektoskoop	PP 12. roidelt	0,92
		SLP	0,72
		SL läbimõõt	0,47
W. A. Gillis jt, 1972	A-mood ultraheli	SLP	0,68
L. R. Giles jt, 1981	Sonatest	PP	0,90
	Scanprobe	PP	0,75 kuni 0,80
	Scanogram	PP	0,94
H. J. Mersmann, 1982	Scanogram mudel 722	PP kehapikkuse 1/5, 1/2 ja 3/4 punktis	0,20 kuni 0,91
		SLP	0,49
J. C. Forrest jt, 1989	Technicare 210 DX	PP 1. roidelt	0,54
		PP viimaselt roidelt	0,85
		PP viimaselt nimmelülilt	0,85
		PP 10. roidelt	0,71
		SLP	0,65 kuni 0,68
D. M. Lopes jt, 1987	Technicare 210 DX	PP 10. roidelt	0,80 kuni 0,89
		PP viimaselt roidelt	0,75 kuni 0,89
		SLP	0,27 kuni 0,70
D. G McLaren jt, 1989	Technicare 210 DX	PP 10. roidelt	0,55
		PP viimaselt roidelt	0,55
		Keskmine PP	0,62
		SLP	0,61
L. M. Turlington, 1990	Technicare 210 DX	PP 1. roidelt	0,74 kuni 0,90
		PP viimaselt roidelt	0,83
		PP viimaselt nimmelülilt	0,90
		PP 10. roidelt	0,88 kuni 0,93
		SLP	0,91 kuni 0,93

<sup>a</sup> SLP – selja pikima lihase ristlõikepindala; PP – pekipaksus; RKP – rasvakihi paksus;

<sup>b</sup> marmorsuse väärtus, mis on saadud lihakeha visuaalsel hindamisel;

<sup>c</sup> lipiidide sisaldus, mis on saadud keemilise analüüsi teel.

Enamik ultraheli täpsuse uuringute tulemusi on esitatud korrelatsioonikoefitsiendina (r).