

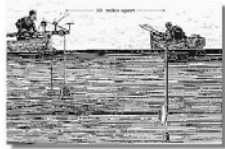
Ultraheliaparaat – kuidas see töötab

Alo Tänavots



Ülevaade ultraheli kasutamisest

- 1822. a kasutas šveitsi füüsik D. Colladen veealust kella helilainete kiiruse määramiseks.
- Ta süütas püssirohulaengu, mille sähvatus registreeriti 16 km kaugusel ning võrreldi heli saabumisega veealuse kellani.
- Hoolimata rohmakatest instrumentidest, arvutasid nad heli kiiruseks vee all 1435 m/s, mis ei erine eriti tänapäeval mõõdetud kiirusest.



Ülevaade ultraheli kasutamisest

- Inglismaal avaldas lord Rayleigh 1877. a kirjatöö „*The Theory of Sound*“,
 - kirjeldas täpselt helivibratsiooni,
 - heli levimise ning murdumise füüsikalisi põhialuseid,
 - kirjeldas helilainet kui matemaatilist võrrandit,
 - kujundas akustika teoreetilisi alused.



Ülevaade ultraheli kasutamisest

- 1880. a avastasid vennad Curie'd teatud kristallide **piesoelektrilised** omadused.
- Nende eksperiment tõestas, et eriliselt ettevalmistatud kristallid omavad pinnalaengut (turmaliin, kvarts, topaas, roosuhkur ja Rochelle'i sool), kui neid mõjutada mehhaanilise survega.
- Kristallile surve avaldamisel tekib selles elekter.
- *Pezein* on kreeka sõna, mis tähendab survet.



Ülevaade ultraheli kasutamisest

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

Ülevaade ultraheli kasutamisest

- Esimene aparaat, mis kasutas piesoelektrilist seadet leiutati I maailmasõja ajal, kui projekteeriti veealused sonarsüsteemid allveelaevade veealuseks navigeerimiseks.
- Esimene patent veealusele sonarile anti välja inglise meteoroloogile L. Richardsonile Briti Patendibüroos kuu aega pärast Titanicu uppumist (1912).
- Esimese töötava sonari projekteeris ja ehitas Ühendriikides kanadalane R. Fessenden 1914. a.

Ülevaade ultraheli kasutamisest

- P. Langevin lõi täiusliku ultraheli allveelaeva avastaja 1917 aastal.
- Esimene edukas raadiolainete eksperiment leidis aset 1924. a, kui briti füüsik Ed. Appleton kasutas raadiolainete kaja, et määrata ionosfääri kõrgust.
- Esimese praktilise radarisüsteemi, mis kasutas enam elektromagnetilisi laineid kui ultraheli, valmistas 1935. a briti füüsik R. Watson-Watt.
- Sellised radarisüsteemid on olnud hilisemate 2-dimensiooniliste sonarite ja meditsiiniliste ultrahelisüsteemide, mis ilmusid 1940. aastate lõpus, otsesteks eelkäijateks.

Ülevaade ultraheli kasutamisest

- 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 S.J. Sokolov 1928. a Leningradi Elektrotehnika Instituudist.

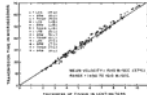
Ülevaade ultraheli kasutamisest

- Ultraheli kasutamine meditsiinis algas hoopis teraapias, mitte diagnostikas; selle soojendavat ja lõhustavat mõju kasutati loomade kudede ravimiseks.
- 1940. a sai ultrahelist aegapidi neurokirurgiline tööriist ning umbes samal ajal kasutati meditsiinis ultraheli eksperimentaalselt ka diagnostika eesmärgil.
- K. Th. Dussik (1942), Viini Ülikooli neuroloog-psühhiaater, oli arvatavalt esimene meedik, kes kasutas ultraheli meditsiinilise diagnoosi panemisel.
- "Ultraheli diagnostika isa"



Ülevaade ultraheli kasutamisest

- USA Mereväe Uurimise Instituudi arst G. Ludwig alustas 1940date lõpus eksperimente loomakudedes uurimisega, kasutades selleks ultraheli.
- Enamik tulemustest sisaldas sõjalist informatsiooni ja seda ei avaldatud meditsiiniajakirjades.
- Tema tööd bioakustika laboratooriumis Massachusettsi Tehnoloogia Instituudis koos füüsikinsener R. Bolti, arst H.T. Ballantine ja füüsik Th. Hueteriga Siemensist võimaldasid mõõta heli ülekandekiirust looma pehmetes kudedes, mis oli 1500...1600 m/s.



Ülevaade ultraheli kasutamisest

- Ultrahelitehnoloogia võeti **põllumajanduses** kasutusele 1950ndate alguses kui meetod kariloomade kehaehituse erinevuste hindamiseks.
- Esimene uurimus ultraheli kasutamise kohta pärineb J. J. Wildilt (1950), kes väitis, et ultrahelitehnoloogial pole kahjulikku mõju ja see on humaanne.
- Ta määras esmakordselt elusloomadel keskmised lihas- ja rasvkoefitsiendid.
- Tehnoloogia kiire areng 1970ndate teisel poolel ja 1980ndate algul muutis ultraheliaparaati palju.



Ülevaade ultraheli kasutamisest

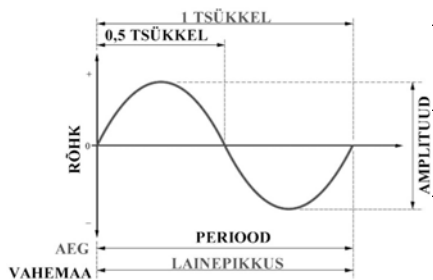
- Ultraheli kasutamisel valatakse mineraalõli mõõdetavale kehapiinnale, kuhu asetatakse sensor või andur, ning ultraheliaparaat muundab seejärel elektrilised impulsid kõrgsagedusega helilaineteks, millest ka nimetus *ultraheli*.
- Ultraheli aparaadi tööpõhimõtteks ongi mõõta kaja liikumist pehmetes kudedes.
- Need helilained liiguvad kehasse ja peegelduvad tagasi eri tihedusega kudede piirilt.
- Kujutis, mida ultrahelilained läbi anduri tagasi saavad, projitseeritakse ultraheliaparaadi ekraanile ning sellega on mõõde sooritatud.

Ultraheli omadused

Ultraheli omadused

- Heli on gaasilises, vedelas või tahkes keskkonnas leviv kokkusurutud ja murtud mehaaniline laine.
- 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.

Ultraheli omadused



- **Lainepikkus** – vahemik laine kahe sarnase punkti vahel.
- **Sagedus** - tsüklite arv teatud ajaperioodil.
- **Kiirus** - tuletatud heli sagedusest ja lainepikkusest.

Ultraheli omadused

- Diagnostikas kasutatakse ultraheli sagedust 2-10 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.

Ultraheli omadused

- Muundur mõõdab löiku proovist ja kuvab selle ekraanile.
- Diagnostilist ultraheli toodavad andurisse paigaldatud kristallid (piesoelektrilised).
- Piesoelektrilisi materjale või kristalle valmistatakse enamasti kvartsist, turmaliinist või tehiskeraamikas.
- Need lõigatakse kettakujuliseks, mille paksuse määrab tööpinna paksus ning diameeter määrab ultraheli kiire omaduse.
- Peegeldumisel pöörduv heli tagasi andurisse ja seal leiab aset kristallide kerge deformatsioon, mis omakorda tekitab elektrivoolu.
- Vool kuvatakse ekraanil koe liidete kujutisena.

Ultraheli omadused



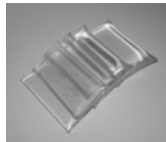
Joonis. Ultraheli kiire liikumine

Ultraheli omadused

- Esimesed muundurid olid 12,5 cm pikad.
- See tähendab, et suure pindala, näiteks selja pikima lihase mõõtmiseks oli vaja kasutada jaosekraani.
- Jaosekraanil sai esitada täieliku pildi lihasest.
- 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 muunduri väljatöötamist polnud jaosekraani enam vaja.
- Kogu lihase pindala tekib ekraanile ühel ajal.

Ultraheli omadused

- 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.
- Neid valmistatakse PVC plastikust, millel on head akustilised omadused.
- Eri loomaliikidele on erineva suurusega vahepadjakesed.

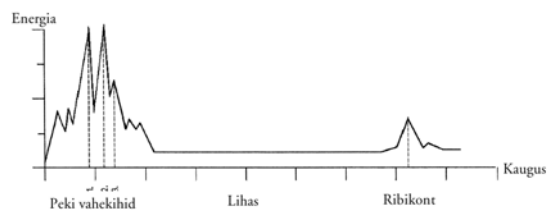


Hellilainete ja kudede koostoime

Helilainete ja kudede koostoime

- Kui heli läbib kude, peegeldatakse teatud osa kiiri andurisse tagasi.
- Peegeldumine leiab aset siis, kui kudede liitekohad on erineva helitakistusega.
- Iga kaja, mis peegeldub tagasi andurisse, muudetakse seal elektriliseks impulsiks ja kuvatakse läbi katoodkiire lambi ekraanil.
- Ultraheliskanner arvutab aja, mis kulub pulsi väljakiirgamisest kuni selle kaja tagasipeegeldumiseni, see võimaldab omakorda arvutada akustilise faasi täpse kauguse andurist.

Helilainete ja kudede koostoime



Joonis. Ultraheli liikumine kudedes

Helilainete ja kudede koostoime

Tabel. Helilaine kiirus erinevates keskkondades

Keskkond	V. Amin, 1995, J. R. Stouffer, 1988	H. Morneburg, 1995	
	Helikiirus m/s	Helikiirus m/s	Tihedus g/cm ³
Ohk	330	331	0,0013
Vesi (20 °C)	1500	1492	0,9982
Nahk	1700		–
Rasvkude	1430	1470	0,97
Lihas	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

Helilainete ja kudede koostoime

- 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.
- Kui heli läbib õhukesi koekihte, põhjustab see helilaine energiakao – helilaine hajumine.
- Lainete neeldumine ja hajumine sõltuvad heli sagedusest.
- Seetõttu kasutatakse pehmete kudede läbimiseks tunduvalt madalama sagedusega heli.

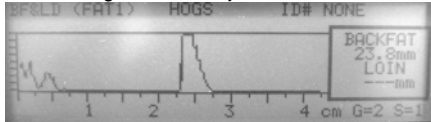
Helilainete ja kudede koostoime

- 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.
- Kasutada võib ka mineraalõli, kuid see on muunduri pinna suhtes palju abrassiivsem.

Kuvaformaadid

Kuvaformaadid

- Kasutusel on peamiselt kolm kuvaformaadi moodi.
- Esimest kutsutakse **amplituudi moodiks (A-mood)**.
- Ultraheli kujutis on peegeldunud kaja amplituudi ja vahemaa ühedimensiooniline kuva.
- See mood koosneb vertikaalsetest teravikest piki horisontaaltegelge.
- Teraviku kõrgus vastab kaja ulatusele.



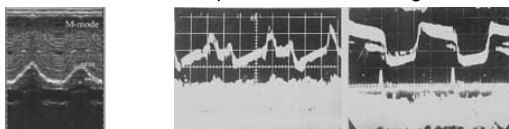
Kuvaformaadid

- **Heleduse mood (B-mood)** 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.
- Seda kasutatakse reaaliajase ultraheli kuvamiseks, et jäädvustada struktuurimuutusi.

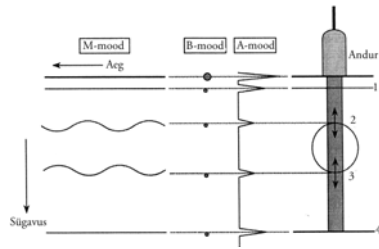


Kuvaformaadid

- **Ajas liikuv mood (M- või TM-mood)**.
- Sellel on ühedimensiooniline formaat, mis kuvab punkte.
- TM-moodi puhul hoitakse andur liikuvate organite asukohal.
- Kuva trükitakse ostilloskoobile või pideva joonena valgele ülitundlikule paberile.
- TM-moodi kasutatakse peamiselt ehhokardiograafias.



Kuvaformaadid



Joonis. 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)

Elusloomade hindamine

Elusloomade hindamine

- Ultraheli kasutatakse lihloomade mõõtmiseks.
- Elusloomade anatoomilised mõõtmised võimaldavad koos ultraheli näitajatega täpselt kirjeldada loomade kehaehitust, mis omakorda lubab prognoosida geneetilisi erinevusi üksikute lihakeha tunnuste vahel.
- Peale selle saab leida järglaste lihakeha/rümba 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 seakasvatajal teha efektiivset valikut.

Elusloomade hindamine

- Ultraheliaparaati käsitletakse lihakeha/rümba väärtuse geneetilise parandamise programmi lahutamatu osana.
- Elusloomade näitajate asemel on võimalik mõõta ka rümpa.
- 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.
 - 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.

Elusloomade hindamine

- 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 aatomagnetilise resonantsiga.
- Meetodite valik, mida soovitakse laialdasemalt kasutusele võtta, sõltub eelkõige maksumusest, täpsusest ja kasutamisihtsusest.

Elusloomade andmete kasutamine

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. Mõõtekohtade anatoomiline asend peab olema selline, et neid oleks võimalik elusloomadel kiiresti ja täpselt määrata ning seeläbi võimaldaksid oluliselt parandada keha koostise prognoosimise täpsust.

Elusloomade andmete kasutamine

- Kas ultraheli näitajatest on kasu või mitte, sõltub kahest asjaolust:
 1. kui täpselt saab lihakeha/rümba näitajate järgi prognoosida peki ja tailiha osakaalu.
 2. kas elusloomadel ja rümpadel 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 ultrahelimoõtmised.

Elusloomade andmete kasutamine

- 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.

Elusloomade andmete kasutamine

- Andmete kogumise standardid. Loomakasvatuseettevõtted, kus alustatakse aretusprogrammiga, kasutades elusloomade ultrahelinäitajaid, peavad ühtlustama andmete registreerimise protseduuri ja tõlgendama standardeid ühetähenduslikult.
- Ultraheliga andmete kogumise standardid peavad kirjeldama täpselt kohti, kuhu asetada ultraheliandur, mitu mõõtmist igal loomal on vaja teha, kuidas loomi fikseerida.
- 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.

Elusloomade andmete kasutamine

- 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 aparati 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.

Elusloomade andmete kasutamine

- Tailiha ja peki kasvu mudelid. Loomade keha koostise hindamiseks peab defineerima hindamiskriteeriumid. Lisaks tuleb mõõdetud ultrahelinäitajate alusel välja töötada erinevate anatoomiliste punktide kasvu mudelid, vajadusel igale tõule eraldi.
- 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.

Elusloomade andmete kasutamine

- **Praktiline juurutamine.** Ultraheliaparaatide kasutamisel jõudluskontrolli programmides on tähtsad mitmed tegurid:
 - aparadi portatiivsus,
 - vastupidavus andmete kogumisel väliitingimustes,
 - hooldus,
 - näitajad peavad sobima teiste rutiinsete, näiteks pidamistingimuste näitajatega.
- Tähelepanu peab pöörama ka sanitaarõuetele, et haigused ei leviks hooletuse tõttu ühest farmist teise.
- Mõnel juhul võib olla vajalik aparadi desinfitseerimine loomade testimise vahel samas farmis.

Ultraheli täpsus

Ultraheli täpsus

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

- **Tabel.** Ultraheli täpsus sigade mõõtmisel

Allikas	Instrument	Mõõtmiskoht ^a	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	0,75-0,80
	Scanogram	PP	0,94

Allikas	Instrument	Mõõtmiskoht	Täpsus (r)
H. J. Mersmann, 1982	Scanogram mudel 722	PP kehapiikkuse 1/5, 1/2 ja 3/4 punktis	0,20-0,91
		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	0,65-0,68
D. M. Lopes jt, 1987	Technicare 210 DX	PP 10. roidelt	0,80-0,89
		PP viimaselt roidelt	0,75-0,89
		SLP	0,27-0,70

Allikas	Instrument	Mõõtmiskoht	Täpsus (r)
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	0,74-0,90
		PP viimaselt roidelt	0,83
		PP viimaselt nimmelülilt	0,90
		PP 10. roidelt	0,88-0,93
		SLP	0,91-0,93

Ultraheli täpsus Eestis

1999-2003

	A-SCAN PLUS	Piglog 105
Piglog 105	0,715	
Ultra-FOM 100	0,508	0,497

2002-2003

	Ultra-FOM 100	ZP-meetod
ZP-meetod	0,115	
Piglog 105	0,159	0,170

2003-2005

	Ultra-FOM 300	ZP-meetod
ZP-meetod	0,611	
Piglog 105	0,396	0,275

Täna tähelepanu eest!