



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

BIOMECHANIKOS KATEDRA

Beata Baliukevič

**AUSIES ĮDĖKLŲ GAMYBOS NETIKSLUMŲ ĮTAKOS KLAUSOS
PARAMETRAMS TYRIMAS**

**RESEARCH OF INFLUENCE OF MANUFACTURING INACCURACY OF
EARMOULDS TO HEARING PARAMETERS**

Baigiamasis magistro darbas

Biomechanikos studijų programa, valstybinis kodas 62409T110

Reabilitacinės technikos specializacija

Mechanikos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

BIOMECHANIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Beata Baliukevič

**AUSIES ĮDĖKLŲ GAMYBOS NETIKSLUMŲ ĮTAKOS KLAUSOS
PARAMETRAMS TYRIMAS**

**RESEARCH OF INFLUENCE OF MANUFACTURING INACCURACY OF
EARMOULD TO HEARING PARAMETERS**

Baigiamasis magistro darbas

Biomechanikos studijų programa, valstybinis kodas 62409T110

Reabilitacinės technikos specializacija

Mechanikos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas dr. K. Daunoravičienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantė lekt. A. Petrėtienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2010

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Biomechanikos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Biomechanikos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Ausies įdėklų gamybos netikslumų įtakos klausos parametrų tyrimas**

Autorius **Beata Baliukevič**

Vadovas **dr. Kristina Daunoravičienė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe atliktas ausies įdėklų gamybos netikslumų įtakos garso parametrų tyrimas. Išanalizuoti mokslo darbai, kuriuose pateikiami eksperimentų su ausies įdėklais rezultatai, apžvelgtos įdėklų gamybos technologijos ir galimi netikslumai. Atlikti eksperimentiniai garso parametrų tyrimai su skirtingais 9 įdėklais naudojant klausos analizatorių. Atlikta statistinė ir palyginamoji matavimo rezultatų analizė. Nustatyti garso parametrų skirtingiems įdėklams kitimo intervalai, pateiktos priklausomybės, suformuluotos išvados.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, analitinė dalis, eksperimentai, išvados ir apibendrinimai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 43p. teksto be priedų, 31 iliustr., 9 lent., 31 bibliografinių šaltinių.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai

dažnio galutinė riba, garso kanalas, garso lygis, įdėklas, ragelis, stiprinimas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Mechanics
Department of Biomechanics

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Biomechanics** study programme Master's Thesis

Title **Research of influence of manufacturing inaccuracy of earmoulds to hearing parameters**
Author **Beata Baliukevič**
Academic supervisor **Dr Kristina Daunoravičienė**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

In final thesis the influence of manufacturing inaccuracy of earmoulds to sound parameters was analysed. Scientific works exploring results of experiments with earmoulds were discussed and technological process is as well as inaccuracy of earmoulds were presented. Experimental study of sound parameters with different 9 types of earmoulds were made by using hearing analyzer device. A statistical and comparable analysis of the data is given. The intervals of sound parameters to different earmoulds types are determined as well as dependencies of them are presented and results of the final work are concluded.

Structure: introduction, the analytical parts of the test object experiments, conclusions and suggestions, bibliographic sources.

Work size - 43p. text without annexes, 31 illustrations., 9 tables., 31 bibliographic sources.

The annexes added additionally.

Keywords

sound level, frequency bound, sound canal, earmould, horn, amplification.

TURINYS

IVADAS.....	10
1. AUSIES ĮDĖKLŲ MOKSLO DARBŲ ANALIZĖ IR TYRIMO	
UŽDAVINIŲ FORMULAVIMAS.....	12
1.1. Individualūs įdėklai, skirti naudoti su klausos aparatais.....	14
1.2. Skaitmeninė forma suderintas ausies įdėklas.....	17
1.3. Apibendrinimas ir darbo uždavinių formulavimas.....	19
2. AUSIES ĮDĖKLŲ GAMYBOS TECHNOLOGIJOS.....	21
2.1. Įdėklų klasifikacija, pagrindinės charakteristikos.....	21
2.2. Įdėklo techniniai parametrai.....	24
2.3. Įdėklo gamybos procesas.....	24
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS.....	31
3.1. Pasiruošimas eksperimentui.....	31
3.2. Matavimų rezultatai ir jų analizė.....	34
3.3. Statistinė rezultatų analizė.....	40
IŠVADOS IR APIBENDRINIMAI.....	45
LITERATŪRA.....	47
PRIEDAI.....	49
A priedas.....	49
B priedas.....	55
C priedas.....	56

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav.	Ausies sandara.....	13
2 pav.	Individualūs įdėklai.....	14
3 pav.	Ventiliacinės angos, slopinimo ir ragelio efekto ribos.....	14
4 pav.	„Libby Horn“ ragelis.....	15
5 pav.	Ausies įdėklo akustiniai parametrai su 2 mm rageliu ir su „Libby“ rageliu.....	16
6 pav.	Klausos aparato ir įdėklo komponentai.....	17
7 pav.	Užausinio klausos aparato garso sklidimo kelio struktūra.....	18
8 pav.	Virtualaus ausies įdėklo modelis.....	19
9 pav.	Įdėklų, naudojamų su užausiniais klausos aparatais, tipai.....	21
10 pav.	Kanalinis ausies įdėklas.....	22
11 pav.	Minkštas ausies įdėklas.....	22
12 pav.	Garsą izoliuojantis įdėklas.....	23
13 pav.	Ausies įdėklai.....	23
14 pav.	Audiograma.....	25
15 pav.	Atspaudų apdaila.....	26
16 pav.	Atspaudų apdaila.....	26
17 pav.	Paruošimas liejimui.....	27
18 pav.	Įdėklo liejimas.....	27
19 pav.	Tuščiavidurio įdėklo paviršiaus išgramdymo etapai.....	28
20 pav.	Tuščiavidurio įdėklo paviršiaus apdirbimo etapai.....	28
21 pav.	Tuščiavidurio įdėklo užbaigimo etapai.....	29
22 pav.	Skeletinio įdėklo išgramdymo etapai.....	29
23 pav.	Skeletinio įdėklo gamybos etapai.....	29
24 pav.	Skeletinio įdėklo gamybos etapai.....	30
25 pav.	Eksperimento schema.....	31
26 pav.	Klausos aparatų analizatorius.....	34
27 pav.	Įdėklų parametrai.....	34
28 pav.	Kieto akrilo įdėklo parametrai.....	35
29 pav.	Stiprinimo ir dažnio priklausomybės ribos.....	37
30 pav.	Minkšto ir kieto įdėklo parametrai, priklausomybė tarp stiprinimo ir dažnio galutinės ribos.....	39
31 pav.	Stiprinimo priklausomybė nuo dažnio ribos įvertinant pasikliautinius intervalus..	43
A1 pav.	Klausos aparato OK! SP parametrai.....	49

A2 pav.	Silikonio įdėklo parametrai. Garso kanalas 5 mm, garso kanalo skersmuo 2 mm.	50
A3 pav.	Minkšto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 7 mm, garso kanalo skersmuo 2,3 mm, storas vamzdelis.....	50
A4 pav.	Minkšto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 8 mm, garso kanalo skersmuo 2,3 mm.....	51
A5 pav.	Silikoninio įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 6 mm, garso kanalo skersmuo 2 mm.....	51
A6 pav.	Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 6 mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm.....	52
A7 pav.	Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 4 mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm.....	52
A8 pav.	Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 5 mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm.....	53
A9 pav.	Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 6 mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm.....	53
A10 pav.	Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 6 mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm, ventiliacinės angos skersmuo 1,4 mm.....	54
C1 pav.	Minkšto įdėklo parametrai, kai garso kanalo ilgis 8mm.....	57
C2 pav.	Kieto įdėklo parametrai, kai garso kanalo ilgis 4 mm.....	57

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė.	Ausies įdėklų medžiagos.....	22
2 lentelė.	Įdėklų parinkimas pagal audiogramos parametrus.....	25
3 lentelė.	Ausies įdėklų parametrai.....	33
4 lentelė.	Stiprinimo priklausomybė nuo dažnio galutinės ribos.....	36
5 lentelė.	Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 6 mm).....	38
6 lentelė.	Minkšto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 7 mm).....	38
7 lentelė.	Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 6 mm, ventilicinė anga 1,4 mm).....	38
8 lentelė.	Duomenų statistinės analizės rezultatai.....	42
9 lentelė.	Duomenų statistinės analizės rezultatai.....	42
B1 lentelė.	Koeficiento t_{β} (Stjudento kriterijaus) reikšmės priklausomai nuo laisvės laipsnių skaičiaus φ , esant pasiklivimo tikimybei $\beta = 0,95$	55
C1 lentelė.	Minkšto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 8 mm).....	56
C2 lentelė.	Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 4 mm).....	56
C3 lentelė.	Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 5 mm).....	56
C4 lentelė.	Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 6 mm).....	56

IVADAS

Tyrimo objektas: skirtingos medžiagos, skirtingų savybių ausies įdėklų parametrų tyrimas. Skirtingų medžiagų ir tipų ausies įdėklai. Ryšys tarp ausies įdėklų gamybos netikslumų ir garso parametrų.

Darbo tikslas ir uždaviniai:

Pagrindinis darbo tikslas – ištirti ausies įdėklų gamybos netikslumų įtaką garso parametrų.

Išskiriami šie pagrindiniai uždaviniai:

- 1) Atlikti skirtingų savybių, medžiagų ir tipų ausies įdėklų analizę.
- 2) Nustatyti įdėklų gamybos netikslumus priklausomai nuo jų gamybos technologijų, medžiagų bei tipo.
- 3) Apibrėžti tiriamus garso parametrus ir pateikti pagrindines jų savybes.
- 4) Sudaryti eksperimento metodiką ir išmatuoti garso parametrus.
- 5) Gautus matavimo rezultatus apdoroti ir nustatyti ausies įdėklų gamybos netikslumų ir garso parametrų priklausomybes.

Temos naujumas:

Buvo gauti šie nauji rezultatai:

- 1) nustatyta, kaip praeina garsas per tam tikrą įdėklą,
- 2) gautos garso priklausomybės nuo medžiagos, garso kanalo skersmens, ventiliacinės angos dydžio ir garso ragelio skersmens.

Temos aktualumas: pastaruoju metu Lietuvoje ir visame pasaulyje vis daugiau dėmesio skiriama klausos aparatų tobulinimui, tačiau įdėklų tobulinimui skiriama labai mažai dėmesio. Sukūrus naują ir stiprų klausos aparatą yra labai sunku pritaikyti ausies įdėklą ir parinkti jo atitinkamus parametrus.

Tyrimo metodai: panaudoti analitiniai, eksperimentiniai ir statistiniai tyrimo metodai. Buvo ištirti 2 tipų ir 3 skirtingų medžiagų ausies įdėklai, t. y. skeletiniai ir tuščiaaviduriai įdėklai, kurie buvo pagaminti iš kieto ir minkšto akrilo, o taip pat iš silikono. Eksperimentui atlikti buvo naudojamas klausos aparatų analizatorius „Affinity HIT“. Tai klausos aparatų testavimo modulis, kuris turi dideles galimybes ir kurį galima išplėsti audiometrijos ir kitais moduliais. Šis analizatorius skirtas specialiai, kad būtų galima analizuoti skaitmeninių klausos aparatų parametrus ir garso praėjimo charakteristikas. Visi matavimai buvo kartojami 3 kartus. Tirti šie garso parametrai – stiprinimas ir dažnis.

Eksperimentinių rezultatų apdorojimui buvo naudojami statistiniai metodai.

Darbo mokslinė vertė: nustatyta garso priklausomybė tarp stiprinimo ir dažnio galutinės ribos. Kaip skiriasi perduodamas garsas nuo medžiagos pasirinkimo, garso kanalo ilgio ir skersmens. Kokį poveikį duoda ventiliacinė anga ir ar pakeičia perduodamo garso parametrus. Atliktas eksperimentas parodo, kaip skiriasi perduodamo garso kokybė nuo kieto ir minkšto įdėklo. Pateiktą metodiką galima naudoti parenkant įdėklą, jei žmogaus audiograma yra sudėtinga, arba standartiniu būdu neįmanoma nuspręsti kokį įdėklą gaminti.

Darbo aprobacija: Tiriomojo darbo rezultatai buvo pateikti tryliktoje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS“ 2010 m. balandžio 23 d. Pranešimo tema „Ausies įdėklų gamybos netikslumų įtakos klausos parametrų tyrimas“.

1. AUSIES ĮDĖKLŲ MOKSLO DARBŲ ANALIZĖ IR TYRIMO UŽDAVINIŲ FORMULAVIMAS

PSO duomenimis, 2005 m. pasaulyje buvo 278 mln. Abiem ausimis neprigirdinčių ar kurčių žmonių. 80% iš jų gyveno žemo ir vidutinio lygio pragyvenimo šalyse. Neprigirdinčiųjų skaičius visame pasaulyje auga dėl bendro populiacijos didėjimo bei ilgėjančios gyvenimo trukmės. Besivystančiose šalyse mažiau nei 1 iš 40 asmenų, kurie galėtų naudotis klausos pagalbine priemone, ją turi.

Gebėjimas girdėti labai svarbus tarpusavio bendravimui. Sutrikusi klausa veikia patį asmenį, jo šeimą, draugus ir visuomenę. Klausa svarbi kalbėsenai ir šnekamai kalbai, pažinimui, raštingumui, mokslui ir įgūdžiams, savarankiškumui ir savigarbai formuotis. Kai gydymas vaistais ar chirurginiais metodais negali padėti, klausos pagalbinės priemonės yra puikus būdas gyvenimo kokybei pagerinti. Klausą reabilituoti rekomenduojama, kai geriau girdinčios ausies klausos slenksčių vidurkis kalbiniuose dažniuose (500; 1000; 2000 Hz) yra ≥ 40 dB [1].

Klausos sutrikimai – tai bet kuris klausos susilpnėjimas. Kurtumu vadinamas sunkus ir gilus klausos susilpnėjimas, kai girdimi tik pavieniai kalbos elementai. Sutarta, kad klausos susilpnėjimas diagnozuojamas tada, kai klausa sutrikusi daugiau nei 25 decibelai, nors ir 15 dB sutrikusi klausa gali turėti neigiamą įtaką kūdikio kalbos suvokimui ir kalbos raidai.

Klausos sutrikimų funkcinė klasifikacija:

1. Lengvas klausos susilpnėjimas (26–40 dB): sunkiau girdi tylią kalbą.
2. Vidutinis klausos susilpnėjimas (41–55 dB): supranta kalbą būdamas 1–1,5 metro atstumu, turi artikuliacijos problemų.
3. Tarp vidutinio ir sunkaus klausos susilpnėjimo (56–70 dB): girdi tik garsius garsus, sunkiai supranta kalbą grupėje; ribotas žodynas ir artikuliacijos problemos.
4. Sunkus klausos susilpnėjimas (71–90 dB): supranta garsią kalbą 0,5 metro atstumu; skiria balsius, bet net ir su klausos aparatu sunkiai skiria priebalses; bloga balso kokybė ir artikuliacija.
5. Gilus klausos sutrikimas (>90 dB): klausos kanalas negali tarnauti komunikacijai; priklausomas nuo vaizdinių bendravimo priemonių.

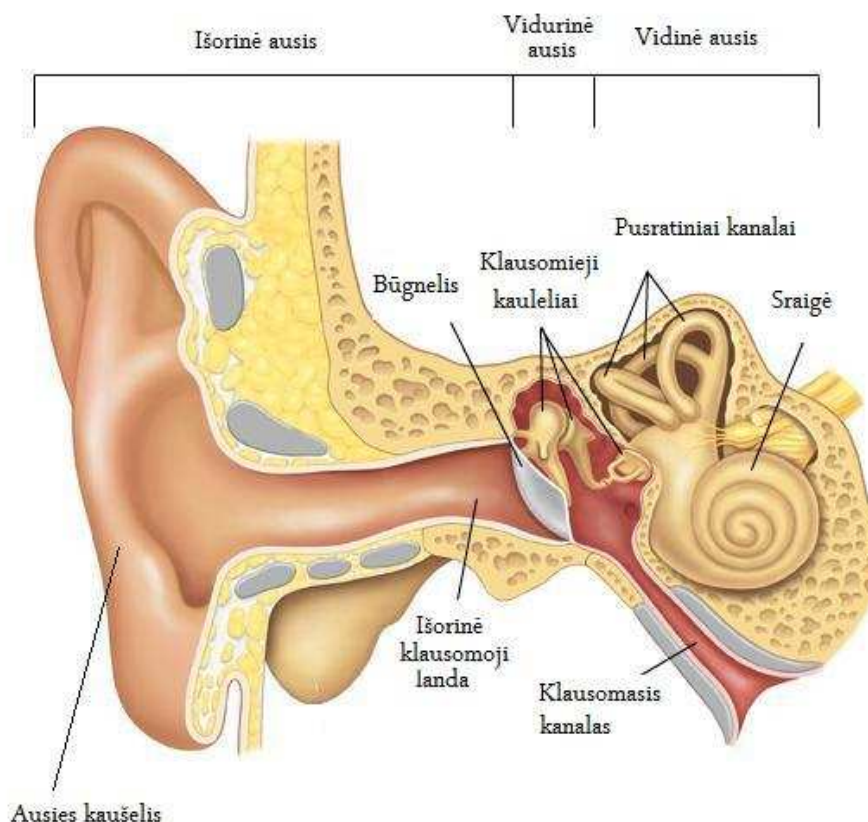
Klausos pažeidimai skiriami į 4 tipus:

1. Konduktyvinis – garso pralaidumo sutrikimas;
2. Neurosensorinis sutrikimas yra susijęs su ausies sraigės patologija, kai garso banga virsta nerviniais impulsais;
3. Centrinis klausos pakenkimas arba retrokochlearinis – tai nervinių laidų pakenkimas, kuriais nerviniai impulsai patenka į centrinę nervų sistemą;

4. Mišrusis klausos pažeidimas - pralaidumo pakenkimas ir neurosensorinis klausos pakenkimas drauge.

Klausa – viena pagrindinių žmogaus jutimo funkcijų. Jos dėka mes galime orientuotis aplinkoje ir bendrauti su kitais žmonėmis. Svarbiausias klausos organas yra ausis. Ji priima garsus, kurie mus supančioje aplinkoje keičiasi kas akimirką, ir perduoda juos smegenims. Garsas – tai bet kokios medžiagos (oro, medžio, vandens ar kt.) vibravimas. Ausis visą laiką turi būti pasiruošusi priimti virpesius – nuo paties tyliausio lapų šlamėjimo iki pačios garsiausios automobilio sirenos. Klausos susilpnėjimas – tai ne tik medicininė, bet ir socialinė problema. Kartais susilpnėjusiai klausai sugrąžinti neužtenka vien medicinos pagalbos, tad tenka klausą koreguoti kitomis priemonėmis.

Sveikų žmonių ausis įprastomis sąlygomis suvokia garso virpesius nuo 16 iki 20 000 Hz. Tad ausies anatomija turi būti prisitaikiusi atlikti garso priėmimo ir perdavimo funkciją. Šį organą sudaro 3 dalys: išorinė ausis, vidurinė ausis ir vidinė ausis.



1 pav. Ausies sandara

1.1. Individualūs įdėklai, skirti naudoti su klausos aparatais

Įsigiję užausinį ar kišeninį klausos aparatą, dažniausiai jį naudojame su standartiniu įdėklu. Tačiau, po kurio laiko, šis įdėklas sukietėja, pradeda dirginti ausies landą, atsiranda nuolatinis švilpimas, ausies užgulimas ar klausos aparatas tiesiog nesilaiko ir jį nesunku pamesti. Tokiu atveju, pagal ausies atspaudą, yra gaminamas individualus įdėklas, visiškai atitinkantis anatominę jūsų ausies landos formą. Įdėklas padeda geriau perduoti klausos aparato sustiprintą garsą tiesiai į ausies landą. Jei klausos pažeidimo laipsnis nėra labai didelis, norint išvengti ausies užgulimo pojūčio, individualiame įdėkle yra pragręžiama ertmė, kuri vadinama ventiliacija. Ji atlieka dar vieną funkciją - ausies ventiliacijos funkciją.



a)



b)



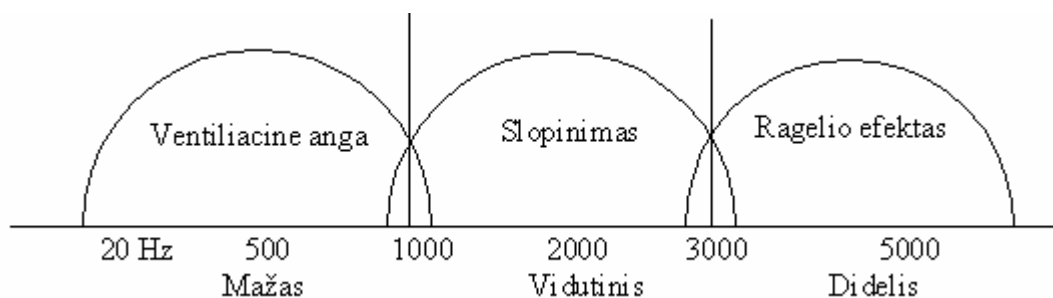
c)

2 pav. Individualūs įdėklai: a) ir c) kanalinis; b) tuščiaviduris

Įdėklas – tai gaminytis, jungiantis klausos aparato garso išėjimo kanalą su išorinės ausies landa. Tuo būdu sustiprintas garsas nukreipiamas tiesiai į ausies landą. Pagaminti individualūs ausies įdėklai prijungiami prie užausinių arba kišeninių klausos aparatų.

Įdėklas gaminamas pagal individualų ausies atspaudą, kuris atitinka anatomišką ausies formą.

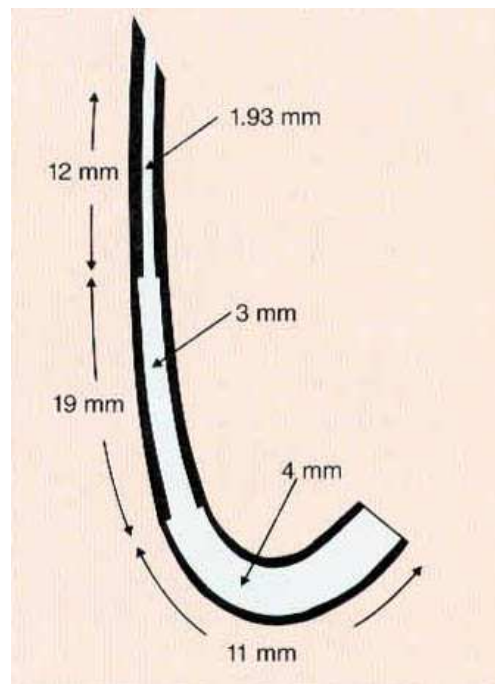
Amerikiečių akustikos specialistas E. R. Libby [3] viename iš savo straipsnių išnagrinėjo slopinimo, ventiliacinės angos ir ragelio dydžio reikšmes ausies įdėkle. Taip pat ir įnešė savo išradimą. Iš jo straipsnio galime pastebėti keletas įdomių dalykų.



3 pav. Ventiliacinės angos, slopinimo ir ragelio efekto ribos

Slopinanti technika buvo panaudota, kad sumažintų rezonansą garsiniame perdavimo kanale. Naujas lydytas tinklo slopintuvo elementas buvo išvystytas Knowles Elektronikos, žinomas kaip BF serijos slopintuvai. Nors šitie slopintuvai buvo suprojektuoti, kad prisitaikytų standžiai į 2 mm ausies ideo vamzdelius. Jie gali būti panaudoti keliose kitose vietose palei perdavimo liniją, toks kaip klausos aparato ragelis ar paciam klausos aparate. Beveik visi užausiniai klausos aparatai turi maksimalią produkciją ir maksimalią naudą. Todėl, viršūnė 1000Hz gali viršyti kreives asį sudarydama nepatogumus, tuo metu, kai likusi dalis kreivės gali būti žemiau ašies zonos. Slopinimo elemento naudojimas gali pakeisti dažnio savybę į sklandžiai augantį atsakymą, kuris keičia maksimalią formą 1000 Hz į maždaug 2700 Hz. Rezultatai atsakymo kreivėje, kuri yra panaši į natūralią ausies perkėlimo savybę. Daug pacientų pripažins, kad šis pageidaujamas dažnis yra labai natūralus, geros kokybės ir aiškus. Labiausiai praktinė vieta slopintuvui yra klausos aparato ragelyje.

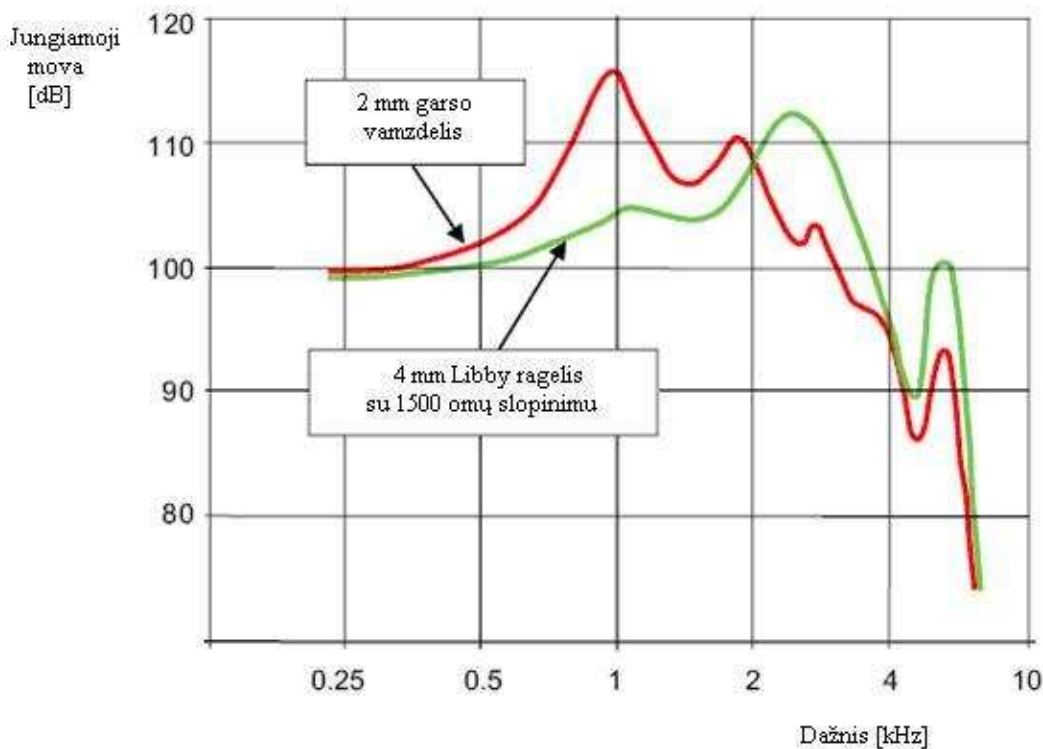
Klausos aparatas su potencialiu grupės pločiu 6500 Hz galėjo būti apribotas iki 4000 Hz. 3000 Hz ar mažiau kai pastovūs ausies rageliai yra panaudoti. Killion (1976) išvystė novatorišką ideo sujungimo sistemą. Sistema susidėjo iš ventiliacinės angos, numatomų slopintuvų elementų ir akustinio ragelio. Libby (1979) pakeitė Killion akustinį ragelį, susiaurindamas vieną dalį, kuris dabar yra vadinamas „Libby Horns”.



4 pav. „Libby Horn” ragelis

„Libby Horns“ saugo ir plečia aukštojo dažnio atsakymą iki energijos keitiklio ribų. Ragelis gali būti panaudotas beveik visų tipų ideklų gamyboje: tuščiaviduris arba skeletinis

ausies įdėklas, aukštasis dažnis įdėkle ar tiesiog kaip vamzdelis ausyje. Ragelis gali būti sumažintas jeigu būtina, kad aprūpintų didesnę patogumą. „Libby Horn“ gali suteikti platų diapazoną tinkamais slopintuvo elementais klausos aparato ragelyje. Tai gali būti panaudojama, kad gautų maksimalų atsakymą 2.7 kHz, kad kompensuotų kanalo rezonanso praradimą.



5 pav. Ausies įdėklo akustiniai parametrai su 2 mm rageliu ir su Libby rageliu [3]

“Libby Horn” ragelis yra 3 ir 4 mm dydžių. 3 mm ragelis duos maždaug 8–10 decibelų aukštojo dažnio pabrėžtumą tuo metu, kai 4 mm ragelis duoda 10–12 decibelų pabrėžtumą. Lenkti vamzdeliai yra linkę rinkti daugiau drėgmės negu tiesesni.

Rezonanso reiškiny pasireiškia daugumoje BTE. Slopintuvas sukelia akustinį pasipriešinimą praeinančiam garsui ir lygina atsako dažnį dažnių diapazono viduryje (1000–4000 Hz). Tai leidžia vartotojui sumažinti grįžtamojo ryšio tikimybę ir pasiekti geresnę vartojimo naudą. Be to, pirmos rezonuojančios viršūnės 1000 Hz sumažinimas gerina žodžių atpažinimą triukšme.

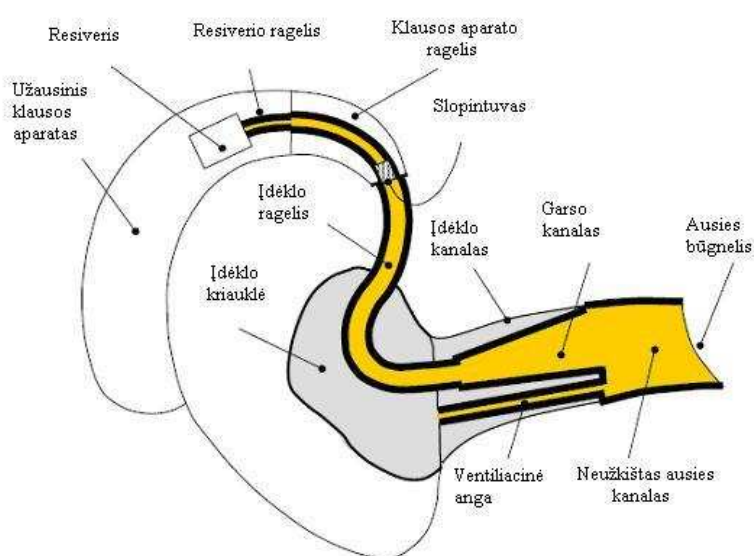
Naudojant lenktą įdėklo vamzdelį galima padidinti aukštojo dažnio srovės atsaką maždaug nuo 10 iki 12 dB, o siaurėjantis ragelio galiukas sumažina aukšto dažnio komponentus.

Pvz., ausies įdėklo su standartiniu nr. 13 vamzdeliu akustinis atsakas ir suderinto ausies įdėklo reikšmės parodytos 5 pav. Naudojant 4 mm „Libby“ ragelį ir 1500 Ω slopintuvą klausos aparato ragelio galiuke žymiai sumažino pirmą rezonuojančią viršūnę [4].

1.2. Skaitmeninė forma suderintas ausies įdėklas

Visų žmonių ausys skiriasi savo dydžiu ir forma. Taigi, norint, kad žmogui būtų tinkamai priderintas klausos aparatas ir ausies įdėklas, tai turi būti daroma individualiai kiekvienam asmeniui.

Chester Pirzanski savo strapsnyje siūlo naują ausies įdėklų gamybos metodą. Jis padeda akustiškai suformuoti ir individualiai suderinti stipriai neprigirdančių žmonių norus. Nauja kompiuterinė technologija CAD/CAM sugebėjo sujungti šiuos du aspektus (t.y. modeliavimo ir suderinamumo galimybę).



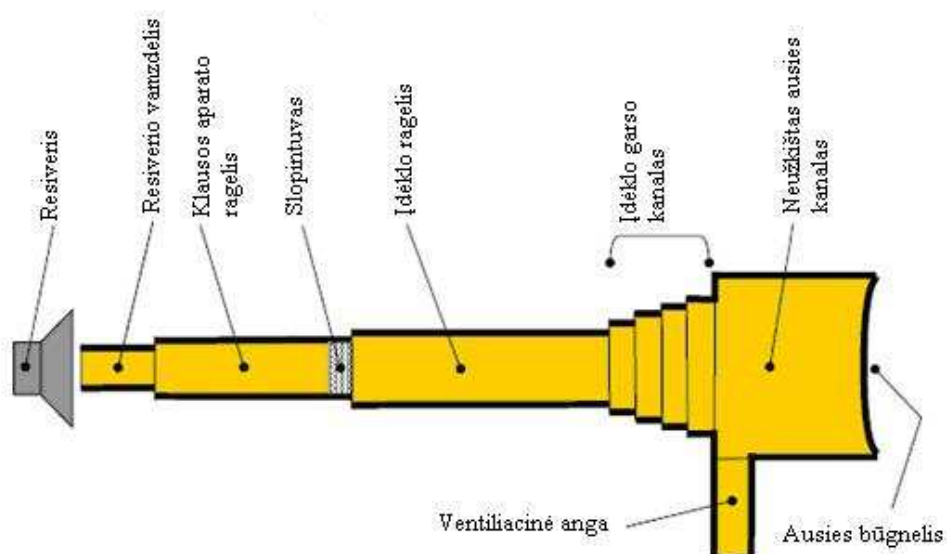
6 pav. Klausos aparato ir įdėklo komponentai

Šiame metode, paimtas individualiai paciento ausies atspaudas virtualus atvaizdas yra naudojamas garso kanalo formavimui. Ši nauja technika tikrai palengvintų klausos protezavimo specialistų darbą. Viskas, ką jiems reikėtų padaryti, tai tik nuimti gerą ausies atspaudą ir į kompiuterinę programą įvesti būtinus paciento duomenys, t.y. audiogramą ir klausos aparato modelį.

1.2.1. Garso kanalo modeliavimas

Ausies įdėklų laboratorijoje atspaudas yra nuskenuojamas, kad būtų gautas jo virtualus atvaizdas. Tai yra reikalinga dviem tikslams:

1. Kad turėtų ausies modelį ir galėtų gaminti tradicinį atspaudą;
2. Kad galėtų nustatyti tinkamą garso kanalo dydį, įdėklo vamzdelio ilgį ir ventiliacinės angos dydį.



7 pav. Užausinio klausos aparato garso sklaidimo kelio struktūra

1.2.2. Garso kanalo modelio suderinimas

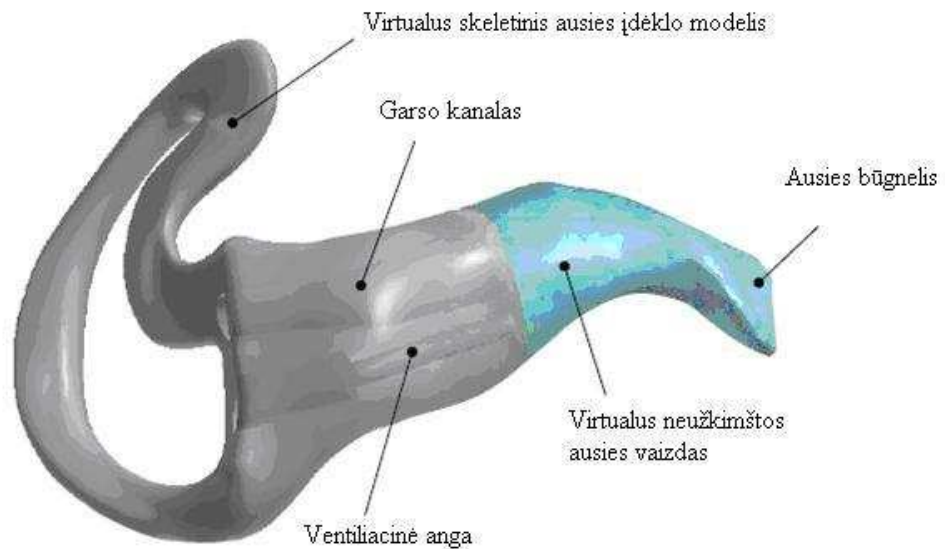
Programinė įranga įvestą apie pacientą ir BTE informaciją panaudos šiems tikslams: garso kanalo formai ir dydžiui; ventiliacinės angos dydžiui, nes tai yra labai reikšmingas dalykas, kad būtų pašalintas užkimštos ausies jausmas.

Garso kanalo analizė yra vedama tuo tikslu, kad būtų nustatytas:

1. Optimalus garso kanalo ilgis ir skersmuo;
2. ventiliacinės angos ilgis ir skersmuo;
3. akustinio slopinimo vertė.

1.2.3. Akustiškai suderintas ausies įdėklas

Duomenys, gauti iš suderinamumo, yra panaudojami virtualaus įdėklo gamybai, o vėliau ir greitai kompiuterinei gamybai. 8 pav. parodytas virtualus įdėklo modelis.



8 pav. Virtualaus ausies įdėklo modelis

1.3. Apibendrinimas ir darbo uždavinių formulavimas

Apibendrinant mokslinių straipsnių atliktą analizę, galima teigti, kad, apskritai pakopinis garso kanalas ir vamzdelio slopinimo sistema turi 3 efektus:

1. Didesnis aukštojo dažnio grupės plotis iki energijos keitiklio ribos;
2. 1000 Hz ribos pašalinimas užausiniame klausos aparate;
3. Atidaryto kanalo rezonanso išsaugojimas pasiekia aukščiausią tašką 2.7 kHz.

Užausinio klausos aparato (BTE) pritaikyme, garsinė perdavimo linija yra uždaryta resiveryje ir atidaryta ausies kanale. Akustinis ausies kanalo ir ausies būgnelio impedansas yra palygintinai žemas su ausies įdėklo ragelio impedansu. Šis impedanso neatitikimas sukuria $\frac{1}{4}$ bangos rezonansą fundamentalaus dažnio intervaluose.

Naujas skaitmeninis įdėklų gamybos būdas išspręstų fizinius ir akustinius klausimus įdėklų gamyboje. Taip pat palengvintų klausos protezavimo specialistų darbą, kadangi jie netūrėtų jau patys galvoti kokį įdėklą reikia padaryti, o visas sprendimas, pagal klausos netekimo duomenis, bus padarytas laboratorijoje naudojant specializuotą programinę įrangą.

Ankstesniuose panašiuose tyrimuose įdėklų gamybos netikslumų parametrai perduotam garsui nebuvo įvertinami. Buvo atliekami tik atskiri, pvz., ragelio, ventiliacinės angos reikšmės įdėkle, arba tik paties įdėklo gamybos skaitmeniniu būdu technologijos. Tačiau niekas nėra tyręs kaip priklauso garso parametrai nuo parinktos įdėklui medžiagos, garso kanalo skersmens ir kabliuko diametro vienu metu.

Todėl šio darbo tyrimo tikslas – išanalizuoti kaip skirias perduodamas garsas iš klausos aparato į žmogaus ausį per tą patį klausos aparatą, bet skirtingus įdėklus (skiriasi medžiaga, garso kanalo ilgis ir skersmuo, ventiliacinės angos skersmuo, ragelio skersmuo), įvertinant tai, kad tirtų žmonių audiogramos buvo panašios.

Tokiu būdu, apibendrinant atliktų įdėklų gamybos netikslumų parametrų tyrimus ir šios problemos ištirtumo laipsnį, galima suformuluoti tolimesnio tyrimo uždavinius:

1. Atlikti skirtingų medžiagų ir tipų ausies įdėklų analizę, ir nustatyti gamybos netikslumus priklausomai nuo gamybos technologijos.
2. Eksperimentiniu būdu išmatuoti garso parametrus, apdoroti gautus matavimo rezultatus ir nustatyti garso parametrų priklausomybę nuo gamybos netikslumų.

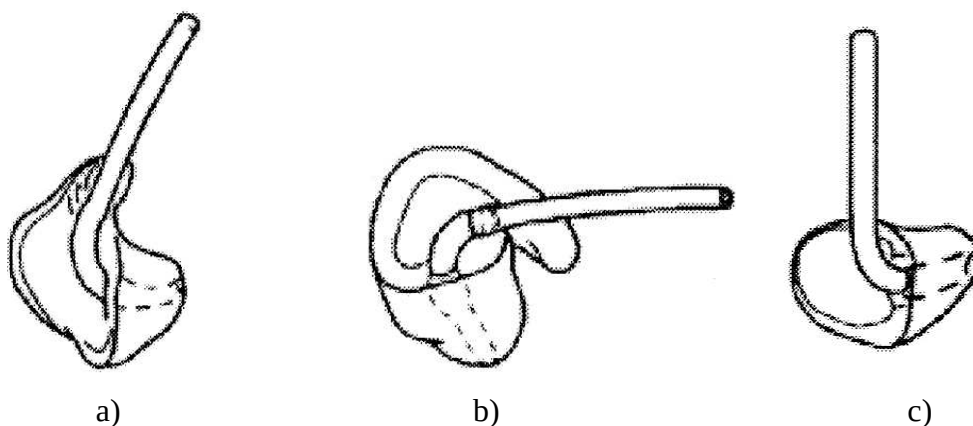
2. AUSIES ĮDĖKLŲ GAMYBOS TECHNOLOGIJOS

2.1 Įdėklų klasifikacija, pagrindinės charakteristikos

Įdėklas – tai gaminys, jungiantis klausos aparato garso išėjimo kanalą su išorinės ausies landa ir skirtas sustiprintų garsinių signalų perdavimui. Jis skirtas žmogui su klausos negalia, nešiojančiam užausinį arba kišeninį klausos aparatą. Įdėklas gaminamas pagal individualų ausies antspaudą, todėl atitinka anatominę išorinės ausies formą. Žmonėms, nešiojantiems įausinį klausos aparatą individualų ausies įdėklą atstoja klausos aparato korpusas.

Įdėklų, naudojamų su užausiniais klausos aparatais pagrindinės grupės:

1. Tuščiaviduriai (9 pav. a);
2. Skeletiniai (9 pav. b);
3. Kanaliniai (9 pav. c).



9 pav. Įdėklų, naudojamų su užausiniais klausos aparatais, tipai:

a) tuščiaviduris; b) skeletinis; c) kanalinis

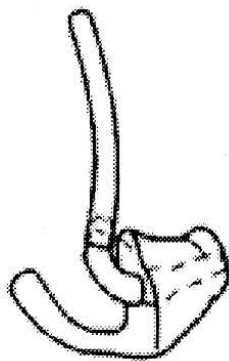
Tuščiaviduris įdėklas yra išskaptuotas, dėl to jis tampa lengvesnis, ir tuo pat metu gerai priglunda ausyje. Šios rūšies įdėklą rekomenduojama naudoti su galingu užausiniu klausos aparatu.

Skeletinis įdėklas naudojamas dažniausiai, kadangi gerai priglunda ausyje ir dar palieka erdvę ausies kriauklėje. Tokiu atveju jo svoris dar labiau sumažėja.

Kanalinis įdėklas gaminamas be ausies kaušelio dalies, paliekant tik ausies landoje esančią dalį. Jis yra beveik nepastebimas, bet sunkiau laikosi ausyje judant žandikauliui.

Taip pat gaminami įdėklai, naudojami su kišeniniais klausos aparatais. Dar gali būti kanaliniai su fiksatoriumi. Šios rūšies įdėklas išsprendžia nepakankamą įdėklo tvirtinimo

problema standartiniame kanale. Įdėklas gerai fiksuojasi ausies kaušelyje dėl piršto pavidalo iškyšulio, einančio išilgai ausies įdėklo (10 pav.).



10 pav. Kanalinis ausies įdėklas

Priklausomai nuo to, iš kokios medžiagos yra pagaminti, įdėklai skirstomi į kietus, minkštus ir labai minkštus (11 pav.). Kieti ir minkšti įdėklai gaminami iš akrilinių medžiagų, labai minkšti - iš silikono. Visi įdėklai, naudojami su užausiniais klausos aparatais, gali būti pagaminti tiek iš kietos, tiek iš minkštos medžiagos (5.1 lentelė).

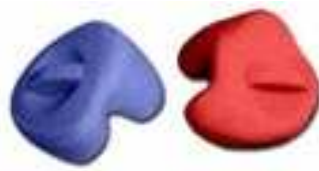
1 lentelė. Ausies įdėklų medžiagos

Eil. Nr.	Įdėklo tipas	Medžiaga
1.	Kieti įdėklai	Metakrilato akrilas, Claro akrilas
2.	Minkšti akriliniai įdėklai	Metakrilato akrilas, Claro akrilas
3.	Minkšti silikoniniai įdėklai	Silikonas
4.	Antialerginiai įdėklai	Audiflex, UV akrilas, dengti auksu ir sidabru, Thermotec, Titanas, Silikonai



11 pav. Minkštas ausies įdėklas

Gaminami garsą izoliuojantys ir nuo vandens apsaugantys įdėklai. Šie įdėklai naudojami norint išvengti vidurinės ausies infekcijų ar tiesiog norint apsaugoti ausį nuo vandens, kai maudomasi. Jie gaminami iš minkštos silikoninės medžiagos (11 pav.).



12 pav. Garsą izoliuojantis įdėklas

Minkštos medžiagos, tokios kaip lankstus akrilas ir silikonas naudojamos vaikams ir suaugusiems prie visų galingų aparatų, o taip pat norint užtikrinti tvirtą akustinę sąlytį su klausos aparatu.

Dirbti su minkšta ausies įdėklų medžiaga yra sunku, tai užima daugiau laiko. Tačiau ši medžiaga turi eilę privalumų:

1. Klausos aparatui dirbant maksimaliu režimu dažnai atsiranda švilpimas. Tai atsitinka dėl to, kad įdėklas nepilnai priglunda prie ausies landos. Problemą šiuo atveju gali išspręsti minkšta medžiaga, nes ji turi savybę truputį plėstis, veikiant žmogaus kūno šilumai.

2. Tais atvejais kai ausies landos forma ypač kinta judant žandikauliui, minkšta medžiaga padės išvengti švilpimo.

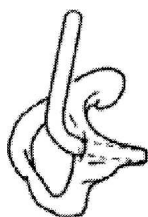
3. Vaikams, kurie yra judrūs, daug žaidžia (pvz.: futbolą) ir gali gauti kamuoliu per galvą minkštas įdėklas apsaugos nuo galimos traumos.

Tačiau kai kuriais atvejais minkštas įdėklas gali būti nepatogus šiltu oru ir gali dirginti ausį.

Kieti ausies įdėklai – tai dažniausiai kieti akriliniai įdėklai. Kadangi pati medžiaga yra neaktyva (neporėta) įdėklus galima labai gerai nupoliruoti ir suformuoti glotnų paviršių. Tai labai svarbu žmogui, nešiojančiam įdėklą.

Dar naudojami atviro tipo ausies įdėklai (13 pav. a). Šios rūšies įdėklas yra naudojamas siekiant komforto, Jame yra galimybė padaryti didelę ventiliaciją (iki 3 mm).

Taip pat gaminami įdėklai, naudojami su kišeniniais klausos aparatais (13 pav. b). Vaikams, naudojančiams kišeninį aparatą, rekomenduojami minkšti įdėklai, kurie sumažina ausies susižalojimų riziką vaikui žaidžiant. Bet šiuo metu jau nebenaudojami kišeniniai klausos aparatai, taigi ir jų paklausa sumažėjusi.



a)



b)

13 pav. Ausies įdėklai: a) atviras; b) kišeniniam klausos aparatui

2.2 Įdėklo techniniai parametrai

Įdėklo rūšis, medžiaga iš kurios gaminamas įdėklas ir techniniai parametrai priklauso nuo klausos netekimo laipsnio ir pasirenkami pagal individualią audiogramą.

1. Įdėklo dalis, esanti ausies landoje turi būti pakankamai ilga, norint, kad įdėklas gerai priglustų. Kai ši dalis per ilga, sunku įdėklą įsidėti, be to gali būti dirginama ausies landa. Kuo didesnis garso kanalo skersmuo, tuo didesnė tikimybė, kad akustinės klausos aparato charakteristikos bus perduodamos be iškraipymo. Pasirinkus mažesnę garso kanalo skersmenį galima sumažinti garsą aukštų dažnių intervale. Tačiau tai padidina riziką, kad garso kanalą užkimš ausyje susidariusi siera. Todėl garso kanalą rekomenduojama gręžti standartiniu nuo 2 mm iki 3 mm skersmens grąžtu.

2. Yra keletas priežasčių, kodėl reikia įdėklą ventiliuoti. Ventiliacinė anga atlieka daugiau nei vieną funkciją:

a) Ventiliavimas mažina garso stiprinimą žemų dažnių intervale, ir tai labai pastebima, didinant ventiliacinės angos skersmenį (dažniausiai nuo 0,8 mm iki 3 mm). Šiuo atveju ventiliacinė anga veikia kaip tono kontrolė. Kuo didesnė ventiliacijos anga, tuo mažesnis garso stiprinimas nustatomas klausos aparate.

b) Dėvint gerai priglundantį prie ausies landos įdėklą, gali atsirasti "uždarumo" jausmas (okliuzijos efektas). Pacientui jo paties balsas atrodo duslus, užkimęs, toks lyg sėdint statinėje. Šiam jausmui pašalinti reikiamas ventiliacijos angos dydis kiekvienam pacientui yra skirtingas.

c) Ventiliavimas apsaugo nuo vakuumo susidarymo ausies landoje (tarp įdėklo dalies ausies landoje ir ausies būgnelio). Šiam reiškiniui pašalinti ventiliacijos anga gali būti labai maža, apie 0,8–1,5 mm.

d) Ventiliavimas padeda išvengti drėgmės susidarymą ausyje.

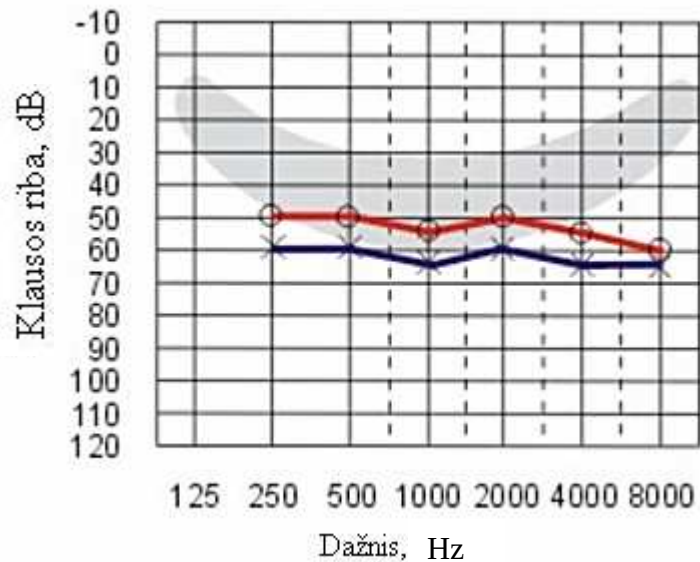
4. Akustiniai skirtumai tarp įdėklų su tarpais ir su įterptais silikoniniais vamzdeliais yra tokie maži, kad rekomenduojama gaminti ausies įdėklus su tarpais tik todėl, kad pacientas galėtų pats pasikeisti susidėvėjusį vamzdelį.

2.3 Įdėklo gamybos procesas

Pagal individualią audiogramą* nustatoma įdėklo rūšis ir jo techniniai parametrai, parenkama medžiaga bei įdėklo tipas, pvz. minkštas ar kietas, skeletinis, kanalinis ar tuščiaviduris.

* Audiograma - klausos jautrumo testavimas fiksuotos dažnio tonais padeda nustatyti dažninę jautrumo charakteristiką, grafiškai pavaizduoti klausos jautrumo priklausomybę nuo tonų dažnio.

Pagaminamas ausies atspaudas. Atspaudų gamybos metu pacientui negalima kalbėti. Pirmiausiai apžiūrimas ausies kanalas otoskopu. Jeigu viskas gerai, į ausies kanalą šviesos pieštuku įdedamas vatos gabalėlis su siūlu ir į paciento ausies landą atsargiai dozatoriumi-švirkštu prileidžiama specialios elastingos medžiagos (silikono). Ši medžiaga susideda iš dviejų komponentų, jos turi būti greitai maišomos (maždaug 40 s.), kadangi greitai sureaguoja. Kai ši medžiaga sureaguoja ir užstingsta, apytiksliai po 6 minučių, atsargiai išimama iš ausies landos.



14 pav. Audiograma

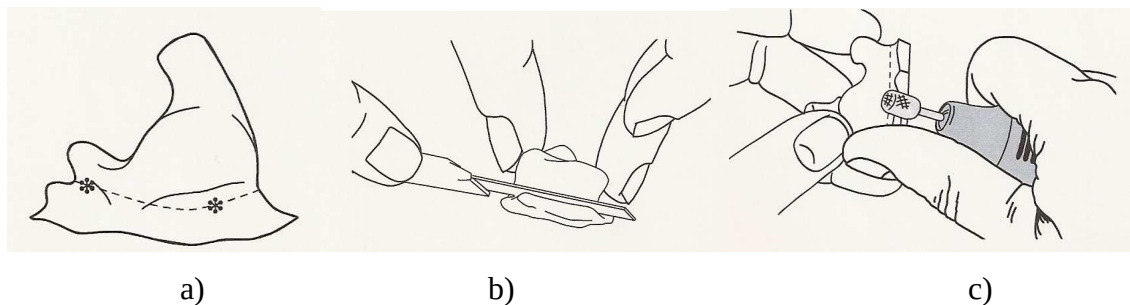
2 lentelė. Įdėklų parinkimas pagal audiogramos parametrus

Eil. Nr.	Audiogramos ribos, dB HL	Įdėklo tipas	Techniniai parametrai	Medžiaga
1.	Iki 50	Kanalinis, skeletinis, tuščiaviduris	Minkštas arba kietas, garso kanalo ilgis 6–7 mm, ventiliacijos kanalo skersmuo 0,9–1,4 mm	Akrilas minkštas ir kietas, silikonas
2.	Nuo 50 iki 90	Skeletinis ir tuščiaviduris	Minkštas arba kietas, garso kanalo ilgis 8–9 mm, ventiliacijos kanalo skersmuo 0,9 mm	Akrilas minkštas ir kietas, silikonas
3.	Nuo 90	Tuščiaviduris	Tik minkštas, ilgas garso kanalo apie 10–12 mm, be ventiliacijos	Akrilas minkštas, silikonas

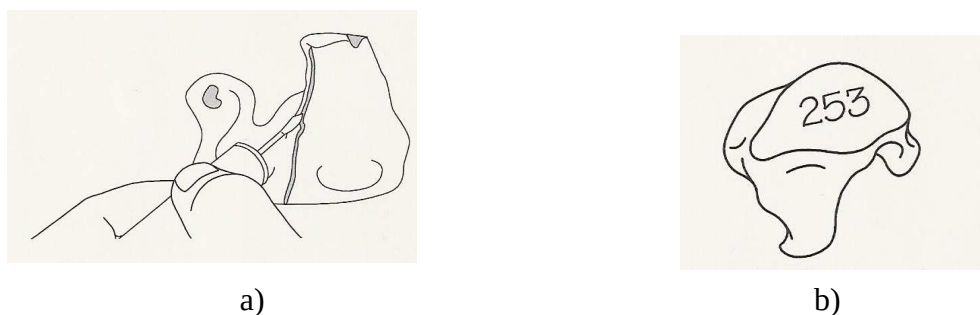
Tada atliekama atspaudų apdaila:

1. Pieštuku nubrėžiama ausies linija, sujungiant labiausiai įdubusius taškus;
2. Nupjaunamas pagrindas lygiagrečiai ausies linijoms;
3. Nupjaunamas ausies atspaudų garso kanalo galas ir pašalinamas medžiagos perteklius, neliečiant ausies linijos;

4. Freza užapvalinami aštrūs kampai. Ypatingas dėmesys atkreipiamas į kanalą ir apvalinamas jis atsargiai;
5. Medžiaga virš ausies linijos nešalinama;
6. Jei reikia pašalinamos nurodytos įdėklo medžiagos dalys;
7. Vašku užpildomos susidariusios skylės ir įtrūkimai. Naudojamas pašildytas vaškovimo peilis;
8. Atspaudui suteikiamas eilės numeris.



15 pav. Atspaudo apdaila: a) pažymima ausies linija; b) nupjaunamas pagrindas; c) užapvalinami kraštai

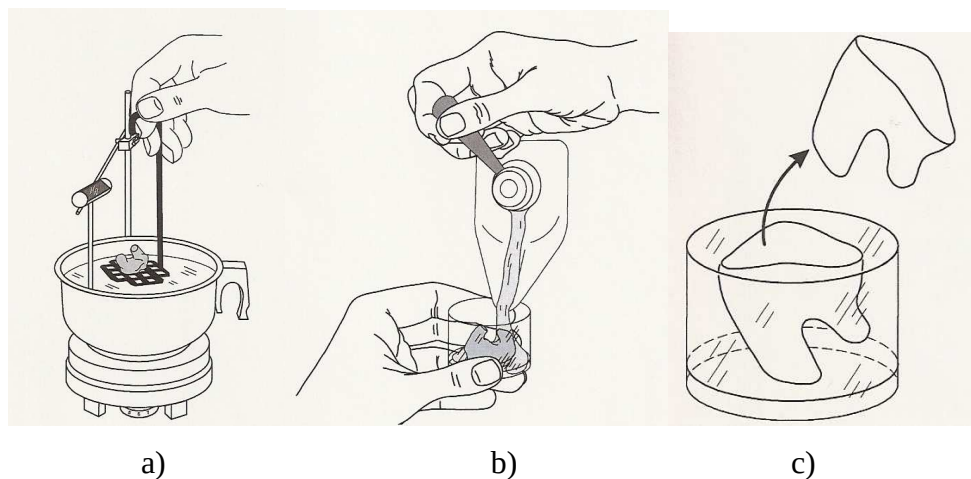


16 pav. Atspaudo apdaila: a) vašku užpildomi tarpai; b) atspaudui suteikiamas eilės numeris

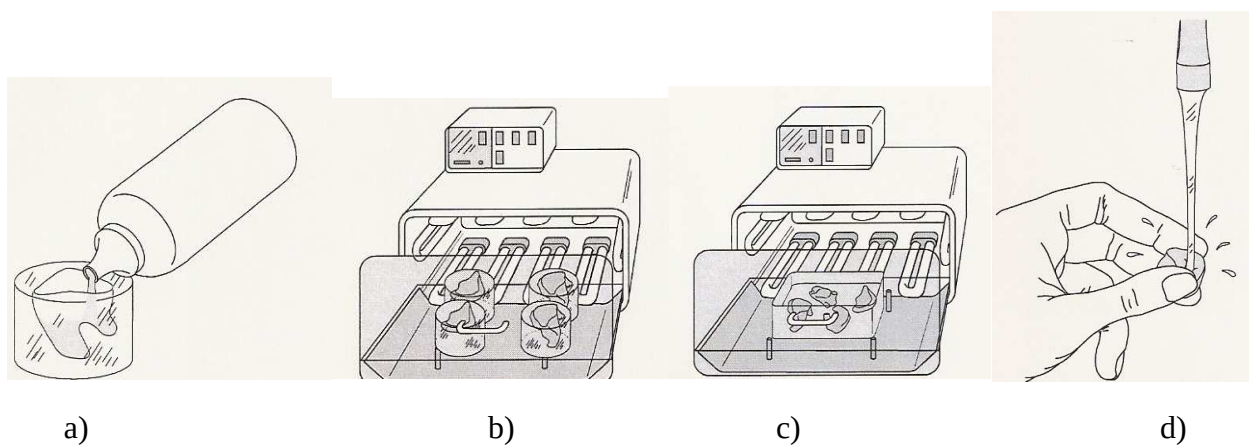
Toliau liejamas įdėklas:

1. Į apdailinto atspaudo kanalo galą įsmeigiama adata, kad galima būtų ją panaudoti kaip rankenėlę;
2. Visas atspaudas panardinamas į vašką ($\sim 85^{\circ}\text{C}$);
3. Vašku padengtas atspaudas padedamas ant gelio formos dangtelio ir 10 min dedamas į šaldytuvą. Tuomet išimama adata, o susidariusi skylė užpildoma vašku, naudojant vaškovimo peilį;
4. Forma užpildoma geliu ($\sim 45^{\circ}\text{C}$);
5. Jei reikia – pašalinami oro burbuliukai. Gelio forma dedama į šaldytuvą maždaug 30 min;

6. Iš gelio formos išimamas atspaudas ir patikrinama ar jame neliko vaško;
7. Išdžiovinamas pučiant orą. Išimamas įdėklas iš gelio formos ir paliekamas šviesoje 5 min;
8. Pabaigoje vulkanizuojamas glicerino vonioje (santykiu glicerinas/vanduo 1:1) 10 min;
9. Nuplaunamas tekančiu vandeniu ir sausai išdžiovinamas;
10. Tada priklausomai nuo įdėklo tipo jis atitinkamai apdirbamas.



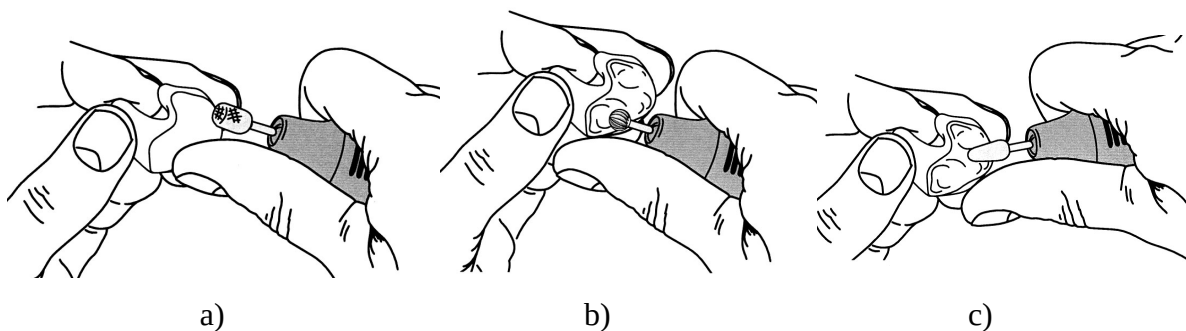
17 pav. Paruošimas liejimui: a) atspaudas panardinamas į vašką; b) užpilama geliu; c) atspaudas šalinamas iš gėlio formos



18 pav. Įdėklo liejimas: a) forma užpildoma mežiagos; b) kietinami UV krosnelėje; c) vulkanizuojami glicerino vonelėje; d) nuplaunami švarių šiltu vandeniu

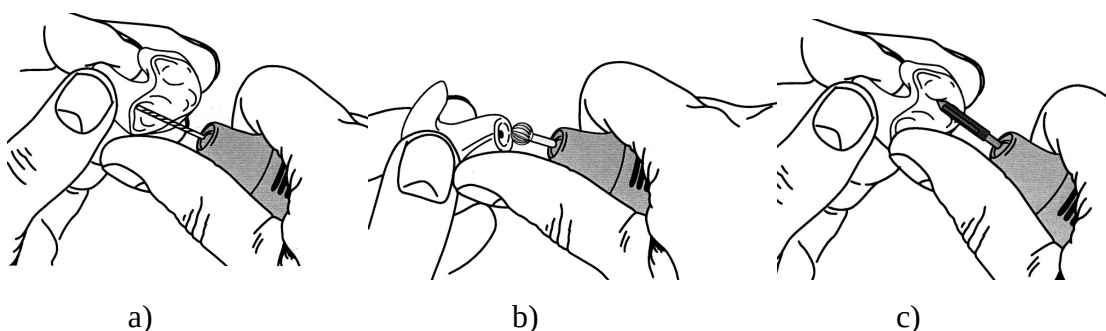
Tuščiaavidurio įdėklo gamyba

- a) Pirmiausiai išgremžiamas įdėklo vidus iki ausies linijos, grąžto pagalba ir tas paviršius apšlifuojamas (19 pav.);



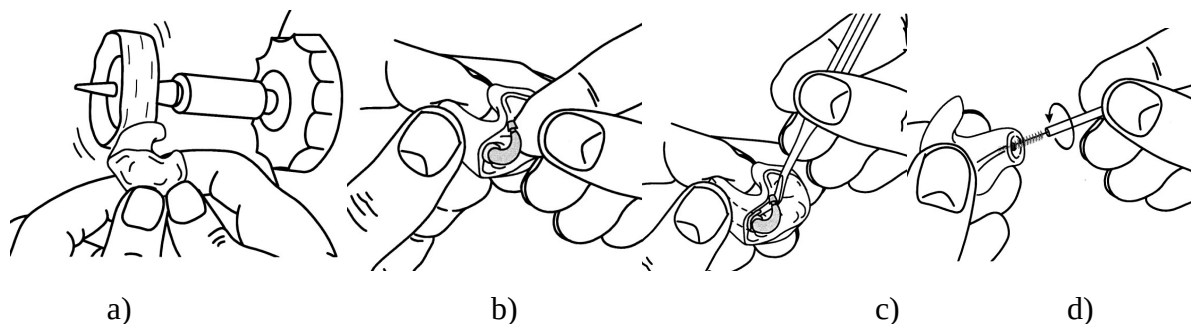
19 pav. Tuščiavidurio įdėklo paviršiaus išgramdymo etapai: a) ir c) paviršiaus lyginimas; b) gręžimas

b) Plonu 9 mm grąžteliu iš abiejų pusių pragręžiamas garso kanalas. Ir užbaigiamas gręžti 2.4 mm skersmens grąžtu (20 pav. b). Tada kanalo gale išgręžiama taip vadinama „žuvies burnos“ forma ir išgręžiamas vidus su specialiu 4 mm grąžtu, 1 mm gyliu (20 pav. b, c);



20 pav. Tuščiavidurio įdėklo paviršiaus apdirbimo etapai: a) ir c) gręžimas, b) šlifavimas

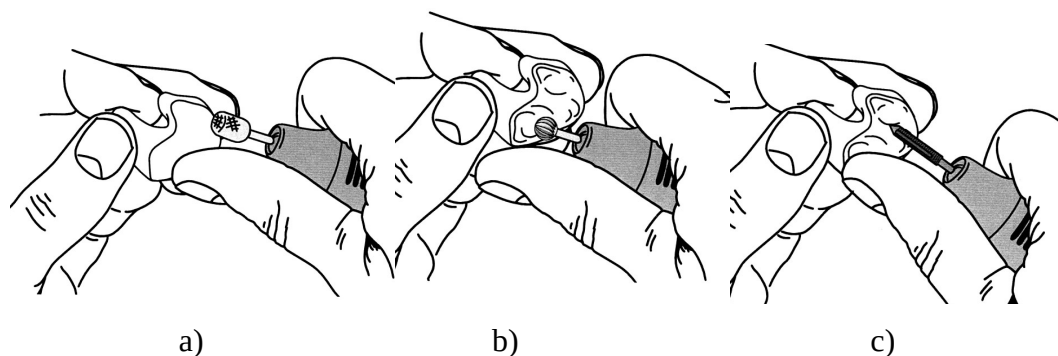
- c) Nupoliruojamas vidus specialia pempza, o išorė specialiu tepalu (21 pav. a). Tada švarus įdėklas panardinamas 10 min į ultragarso vonelę;
- d) Įklijuojamas tarpas ta pačia medžiaga iš kurios buvo gamintas įdėklas. Tam, kad prisiklijuotų, patalpiname į UV kamerą 5 min (21 pav. b, c)
- e) Įdėklas išimamas iš kameros. Garso kanalas ir pats įdėklas aptepamas silikoniniu aliejumi (21 pav. d).



21 pav. Tuščiavidurio įdėklo užbaigimo operacijos: a) poliravimas; b) ir c) ragelio įklijavimas; d) garso kanalas sutepimas silikoniniu aliejumi

Skeletinio įdėklo gamyba:

a) Pirmiausiai išgremžiamas įdėklo vidus iki ausies linijos, ir suformuojama kiaurymė (22 pav.);

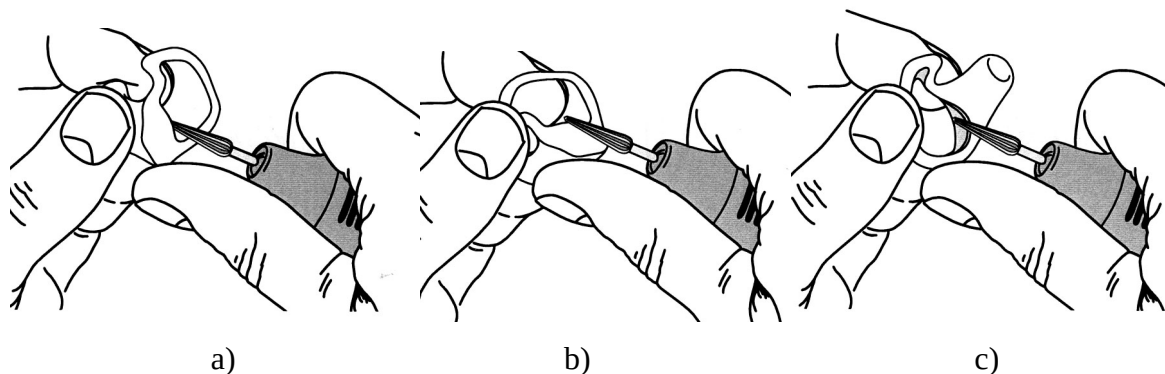


22 pav. Skeletinio įdėklo paviršiaus išgramdymo etapai: a) paviršiaus lyginimas; b) medžiagos išgremžimas; c) kiaurymės gręžimas

b) Formuojama kiaurymė (22 pav. a);

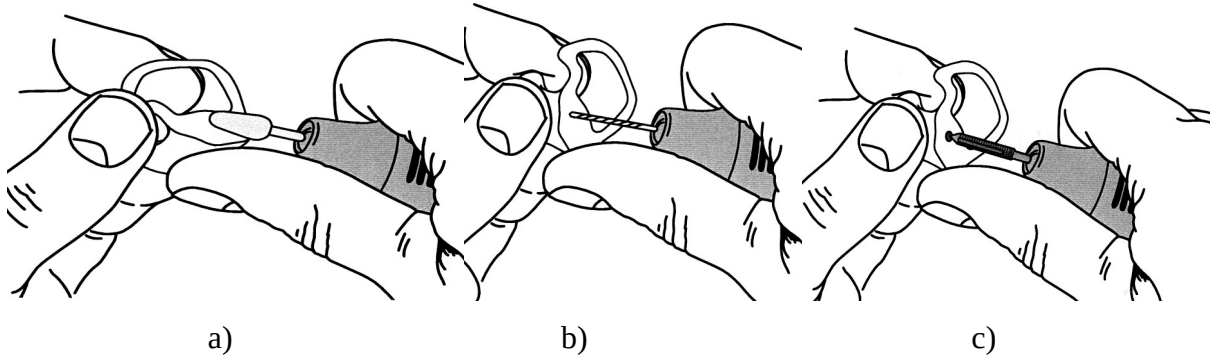
c) Nufrezuojama ties ausies kraštais kiek įmanoma naudojant grąžtą. Aplink garso ir ventiliacijos kanalus turi likt mažiausiai 5 mm (23 pav. b);

d) Naudojant grąžtą išgremžiamas kiek įmanoma įdėklo vidus ir užapvalinami susidarę kampai (23 pav. c);



23 pav. Skeletinio įdėklo gamybos etapai

- e) Paviršius apšlifuojamas pirmaisiai labai plonu, vėliau 2.4 mm skersmens grąžtu išgręžiamas garso kanalas (24 pav. a, b);
- f) Tada apšlifuojamas išorinis kanalo paviršius;
- g) Išgręžiama skylė kanalui įstatyti specialiu 4 mm grąžtu 5 mm gylyje (24 pav. c);



24 pav. Skeletinio įdėklo gamybos etapai: a) užapvalinami kampai; b) ir c) gręžiamas garso kanalas

- h) Nupoliruojamas vidus specialia pemza, o išorė specialiu tepalu. Tada švarus įdėklas panardinamas 10 min į ultragarso vonelę;
- i) Įklijuojamas intarpas ta pačia medžiaga iš kurio buvo gamintas įdėklas. Tam, kad prisiklijuotų, patalpiname į UV kamerą ;
- j) Įdėklas išimamas iš kameros. Garso kanalas aptepamas silikoniniu aliejumi; Ir užbaigiant, visas įdėklas skudurėliu padengiamas šiuo laku.

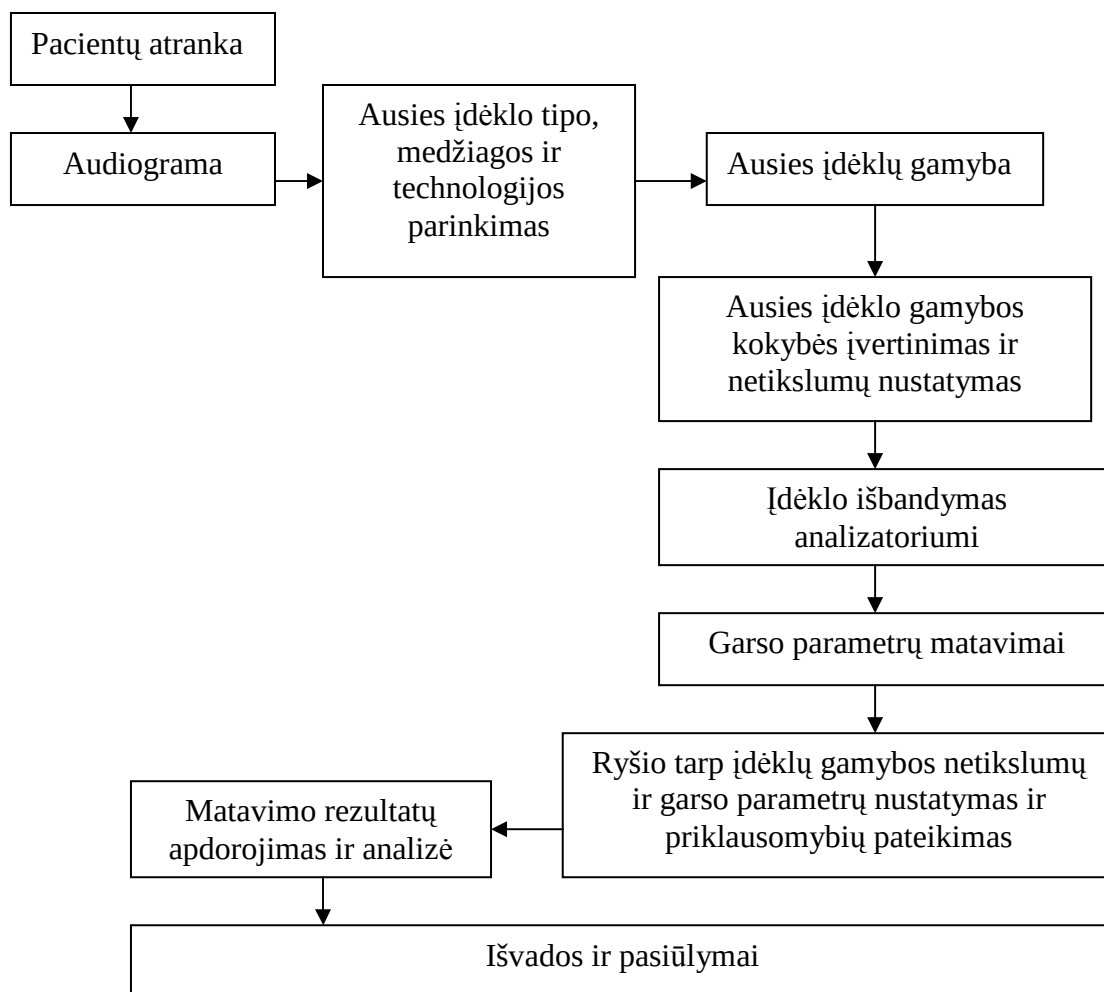
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS

Gaminant ausies įdėklus, visada kyla kokių nors abejonų dėl to, kokios įtakos mechaninis dizainas, garso kanalo gręžinys ir naudojamos medžiagos turės ausies įdėklo akustinėms savybėms, kartu ir pagalbinės klausos priemonės dažniniam atsakui.

Šio darbo tikslas – apibūdinti, kaip kiekvienas iš anksčiau minėtų faktorių turės įtakos akustinėms ausies įdėklų savybėms.

3.1 Pasiruošimas eksperimentui

Tiriamąjį darbo tikslams pasiekti buvo sudaryta eksperimento eiga, ji pateikta schemoje (25 pav.)



25 pav. Eksperimento schema

3.1.1. Matavimo būdai

Gali būti keli matavimo būdai, kurie parodytų, kokios įtakos ausies įdėklo akustinėms savybėms turi įdėklo dizainas ir sudėtis:

1. Bandyje dalyvaujančio asmens gali būti paprašoma paklausti skirtingų tipų ausies įdėklais ir tada įvertinti pro juos girdimus garsus. Šis metodas sukelia keleta problemų:
 - a. Bandyje dalyvaujančio asmens klausos gali būti nepakankamai gera, kad jis atskirtų garso pokyčius.
 - b. Labai sunku nedviprasmiškai apibūdinti girdimus garsus (labai aiškus, labai veriantis, tarsi garsas sklįstų pro rakto skylutę ir t.t.).
2. Kitas būdas – įvesti matavimo daviklį pro ausies liejinį, prijungti jį prie mikrofono ir tada pamatuoti garso spaudimą keleto asmenų ausų viduje. Tačiau dėl to galimi kai kurie skirtumai, t. y. ausies kanalo dydis ir forma skiriasi.

Buvo nuspręsta naudoti šį būdą: pagaminti 9 savanorių ausies atspaudai. Pagal šiuos atspaudus buvo pagaminti 9 įdėklai – kai kurie iš kietos, kiti iš minkštos medžiagos ir silikono (3 lentelė).

Jungiamoji mova buvo užpildyta atspaudų medžiaga ir ausies įdėklas buvo įtaisomas savo padėtyje, kad jo galiukas būtų šalia 2 cm³ ertmės angos. Ausies įdėklo dalis jungiamosios movos išorėje taip pat buvo uždengta atspaudos medžiaga.

Kad ausies įdėklas ir ausies forma, bei ausies forma ir jungiamoji mova tiktų vienas kitam, visi atitinkami paviršiai buvo patepti silikoniniu aliejumi.

3.1.2. Matavimo parametrų pasirinkimas

Buvo pasirinktos šios ausies įdėklų savybės, kurių įtaka garso savybėms bus toliau tiriama:

1. Ausies įdėklo galiuko ilgis;
2. Ausies įdėklo garso kanalo skersmuo;
3. Vamzdeliai, jungiantys klausos aparatą ir įdėklą;
4. Medžiagų savybės: minkšta, kieta ir silikonas;
5. Ventiliacinė anga;
6. Ragelio tipas (2 ir 1,5 mm).

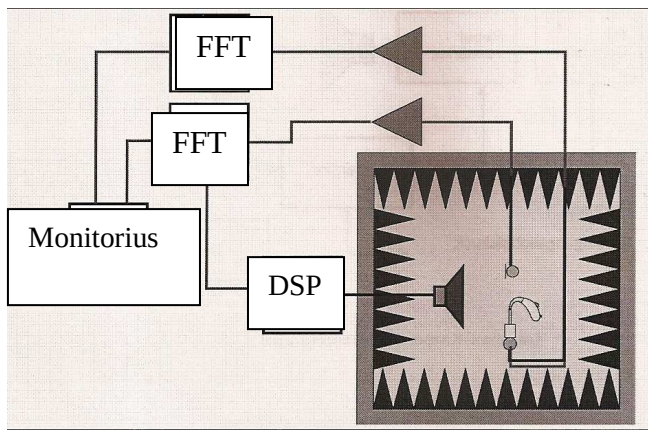
Eksperimentui atlikti buvo naudojamas klausos aparatų analizatorius „Affinity HIT“. Tai klausos aparatų testavimo modulis (26 pav.), kuris turi dideles galimybes ir kurį galima išplėsti

audiometrijos ir kitais moduliais. Tai naujausių technologijų ir programinės įrangos platforma, kuri siūlo klausos aparatų, realios ausies ir audiometrinius tyrimus. Vartotojas gali pasirinkti vieną iš trijų modulių: klausos aparatų testavimo (HIT), audiometrijos (AUD), realios ausies tyrimo (REM). Visais aspektais toks analizatorius sukurtas specialiai atsižvelgiant į skaitmeninius klausos aparatus. Jame yra klausos aparatų testavimas su realios kalbos ar kitais garso stimuliavimais. Numatyta galimybė sukurti papildomus stimuliavimus, kurių gali prireikti ateityje.

Klausos aparatas įstatomas į ausies imitatorių 2, kurio sudėtyje yra mikrofonas, tada garsiakalbis 3 išduoda garsus nuo 125 Hz iki 8 kHz dažniuose. Tada mikrofonas 1 siunčia įėjimo signalą į klausos aparatą, o ausies imitatoriuje, esantis mikrofonas registruoja klausos aparato išduodamą garsą. Speciali kompiuterinė programa parodo skirtumą tarp mikrofonų 1 ir 2 užregistruotų signalų dB SPL dažnių intervale. Dar šie klausos aparatų analizatoriai gali registruoti magnetinių laukų poveikį ir įtaką garso kokybei.

3 lentelė. Ausies įdėklų parametrai

Eil. Nr.	Įdėklo Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		silikonas	minkštas akrilas	minkštas akrilas	silikonas	kietas akrilas	kietas akrilas	kietas ir minkštas akrilas	kietas akrilas	kietas akrilas
1	Medžiagos savybės (silikonas/akrilas)	silikonas	minkštas akrilas	minkštas akrilas	silikonas	kietas akrilas	kietas akrilas	kietas ir minkštas akrilas	kietas akrilas	kietas akrilas
2	Ausies įdėklo galiuko ilgis, mm	5	7	8	6	6	4	5	6	6
3	Ausies įdėklo garso kanalo skersmuo d_0 , mm	2	2,3	2,3	2	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4
4	Ragelio skersmuo d_i , mm	2	1,5	1,5	2	2	2	2	2	2
5	Vamzdelis, jungiantis klausos aparatą ir įdėklą (plonas/storas)	plonas	storas	plonas	plonas	plonas	plonas	plonas	plonas	plonas
6	Ventiliacinės angos skersmuo, mm	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4
7	Stiprinimas, dB	0	3,71	3,71	0	1,58	1,58	1,21	1,58	1,58
8	Dažnio galutinė riba, Hz	0	3,22	2,82	0	1,60	2,41	1,48	1,60	1,60



a)

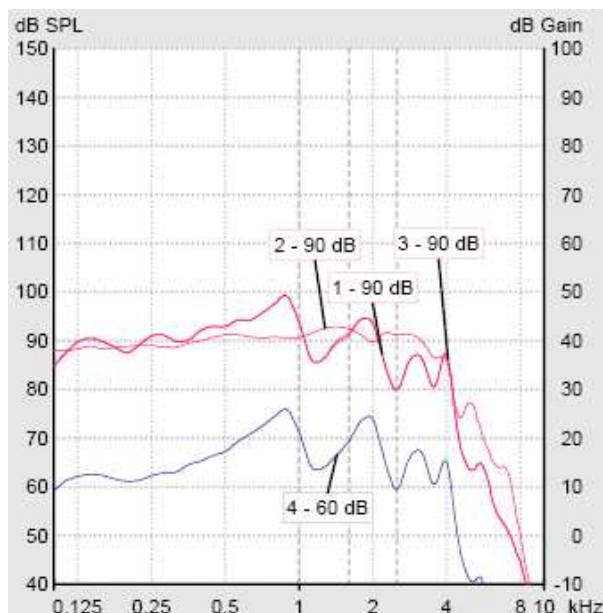


b)

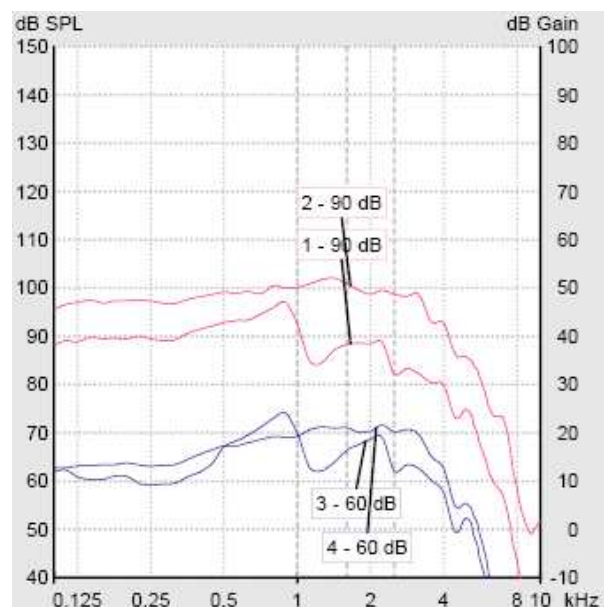
26 pav. Klausos aparatų analizatorius: a) matavimo schema: FFT – sparčiosios Furjė transformacijos, DSP – skaitmeninis signalo apdorojimas; b) analizatoriaus bendras vaizdas: 1 – mikrofonas; 2 – ausies imitatorius su mikrofonu; 3- garsiakalbis

3.2. Matavimų rezultatai ir jų analizė

Atlikus visus bandymus su 9 įdėkliukais, gavome garso lygio priklausomybes nuo dažnio (visi rezultatai pateikti A priede, o geriausi – 27 pav.).

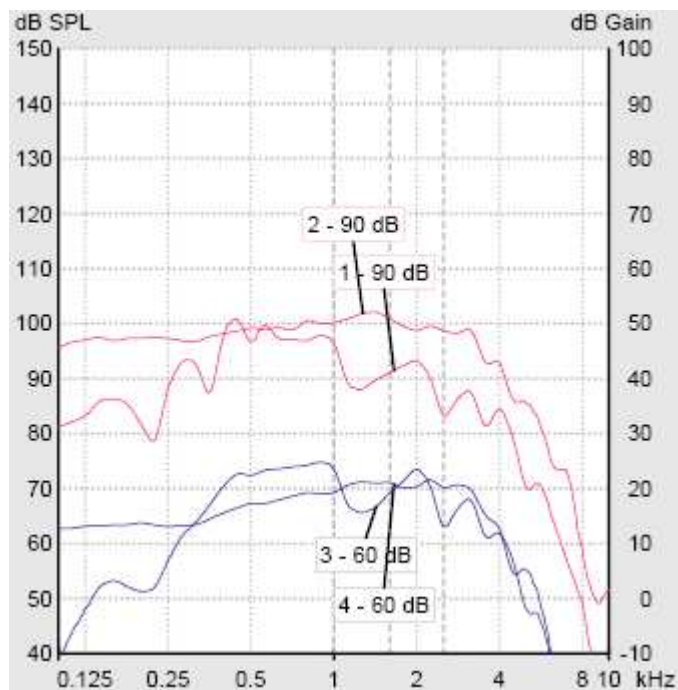


a)



b)

27 pav. Įdėklų parametrai: a) silikoninio; b) minkšto akrilo įdėklų
(Gain – stiprinimas, skirtumas tarp išėjimo ir įėjimo signalo vertės, SPL (Sound Pressure Level) – akustinio garso suspaudimo lygis)



28 pav. Kieto akrilo įdėklo parametrai: 1 – įdėklo stiprinimas, 2 – klausos aparato stiprinimas, 3 – įdėklo akustinio garso suspaudimo lygis, 4 – klausos aparato suspaudimo lygis

Matuojant kieto akrilo įdėklo (28 pav.) garso parametrus, buvo pastebėta, kad, kai klausos aparato stiprinimas yra 90 dB, aukštuosiuose dažniuose nuo 2 kHz garso lygis pradeda stipriai mažėti. Taip pat palyginus su kitais kietų įdėklų matavimais (A6–A9 pav.), kai klausos aparato stiprinimas yra 90 dB - garso lygis pradeda mažėti nuo 2 kHz su maksimaliu skirtumu 1–2 dB. Tačiau, kai įdėkle buvo padaryta ventiliacinė anga (A10 pav.), buvo pastebėta, kad garso perdavimo lygio reikšmės skiriasi nuo įdėklų be ventiliacinės angos ir staigus garso slopinimas prasideda jau ne nuo 2 kHz, o nuo 4 kHz. Taigi ventiliacinė anga turi, nors kartais nedidelę, bet vertingą reikšmę perduodamam garsui.

Visai kita situacija yra matuojant silikoninius įdėklus. 27 a paveiksle matoma, kad garso lygis mažėja stabiliau, nors staigus kritimas jau yra nuo 4 kHz, o matuojant kito įdėklo garso parametrus (A5 pav.), pastebėta, kad šituo atveju garso lygio kritimas jau prasideda nuo 0,9 kHz, nors klausos aparato stiprinimas abiem atvejais buvo vienodas, t. y. 90 dB. Taigi čia galima padaryti tokią išvadą, kad silikoninio įdėklo atveju, garso parametrai labiau priklauso nuo garso kanalo ilgio, negu nuo pačios medžiagos charakteristikų.

Nors pastebėta, kad garso lygio slopinimas prasideda nuo 0,9 kHz, tačiau jis buvo tolygus, nešokinėjantis, tai reiškia, kad žmogui dėvinčiam tokį įdėklą diskomfortas yra mažesnis. Taigi iš matavimų rezultatų matyti, kad šiuo atveju garso kanalo ilgis irgi buvo reikšmingas. Praktikoje kartais atsitinka tokių atvejų, kad būtent garso kanalo ilgis suteikia geresnę garso

kokybę ir jis kartais siekia iki 12 mm. Tai ypač aktualu mažiems vaikams su stipresniais klausos aparatų nustatymais.

Norint tinkamai įvertinti garso parametrus jie buvo ne tik matuojami bet ir skaičiuojami, pagal literatūroje [6] pateiktą metodiką. Garso stiprinimas skaičiuotas pagal formulę:

$$S = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{d_0}{d_i} \right), dB \quad (1)$$

čia d_0 – garso kanalo skersmuo;

d_i – ragelio skersmuo.

Dažnio galutinė riba (kuri perduodama per ragelį) :

$$f_h = \frac{c \cdot \log_e \left(\frac{d_0}{d_i} \right)}{2\pi l}; kHz \quad (2)$$

čia: $c = 331,5$ m/s (garso greitis);

d_0 – garso kanalo skersmuo;

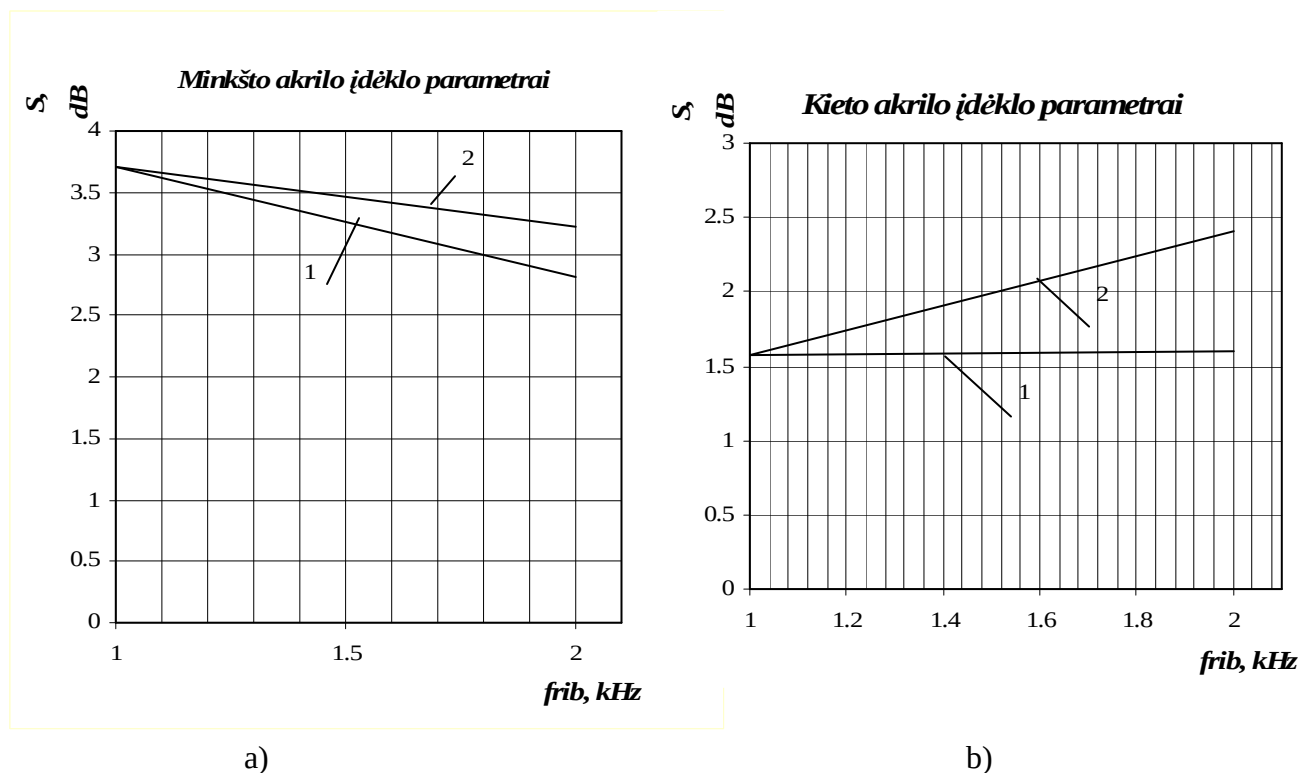
d_i – ragelio skersmuo;

l – garso kanalo ilgis.

Skaičiavimų rezultatai pateikti 4 lentelėje. Iš gautų skaičiavimo rezultatų nubrėžtos kreivės (29 pav.), kurios parodo kieto ir minkšto įdėklo stiprinimo ir dažnio priklausomybės ribas.

4 lentelė. Stiprinimo priklausomybė nuo dažnio galutinės ribos

Eil. Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Medžiaga	silikonas	minkštas akrilas	minkštas akrilas	silikonas	kietas akrilas	kietas akrilas	minkštas ir kietas akrilas	kietas akrilas	kietas akrilas
2	Stiprinimas, dB	0	3,71	3,71	0	1,58	1,58	1,21	1,58	1,58
3	Dažnio galutinė riba, kHz	0	3,22	2,82	0	1,60	2,41	1,48	1,60	1,60



29 pav. Stiprinimo ir dažnio priklausomybės ribos: a) minkšto akrilo įdėklo parametrai (čia 1 ir 2 – 2 ir 3 įdėklų parametrai (3 lentelė)); b) kieto akrilo įdėklo parametrai (čia 1 ir 2 – 5 ir 6 įdėklų parametrai (3 lentelė))

Suskaičiavus garso stiprinimo parametrus ir dažnių ribas buvo pastebėta, kad minkštuose įdėkluose stiprinimas į ragelį patenka didesnis, o išėjime yra 0,5–1 dB mažesnis, tačiau garsas aiškesnis. Suskaičiavus garso parametrus kietiems įdėklams situacija yra truputi kita. Į ragelį garsas ateina toks, koks yra paduodamas iš klausos aparato, bet išėjime 0,5–1,2 dB sustiprėja. Iš to galima padaryti ir tam tikras išvadas, kad minkšta medžiaga ir ilgesnis garso kanalas turi savybių prislopinti paduodamą garsą, kietas įdėklas su trumpesniais garso kanalais perduoda geresnį garsą (mažiau prislopintą).

Matavimo rezultatai beveik sutapo su skaičiuotomis reikšmėmis, nes yra visai mažas skirtumas tarp jų (1–2 dB).

Toliau paskaičiuojamos kietų ir minkštų įdėklų vidutinės stiprinimo reikšmės ir nubraižomi grafikai (30 pav.). 5 ir 6 lentelėse pateiktos vidutinės stiprinimo reikšmės ir nustatytos dažnio ribos kietam ir minkštam įdėklams.

5 lentelė. Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 6 mm)

Stiprinimas; dB	0	10	20	30	40	50
Dažnio galutinė riba; kHz	9.0	8.0	7.5	5.5	4.2	1.0
	9.2	8.1	7.4	5.3	4.1	0.96
	9.0	8.1	7.5	5.5	4.1	0.97
Vidurkis; kHz	9.07	8.07	7.47	5.43	4.13	0.98

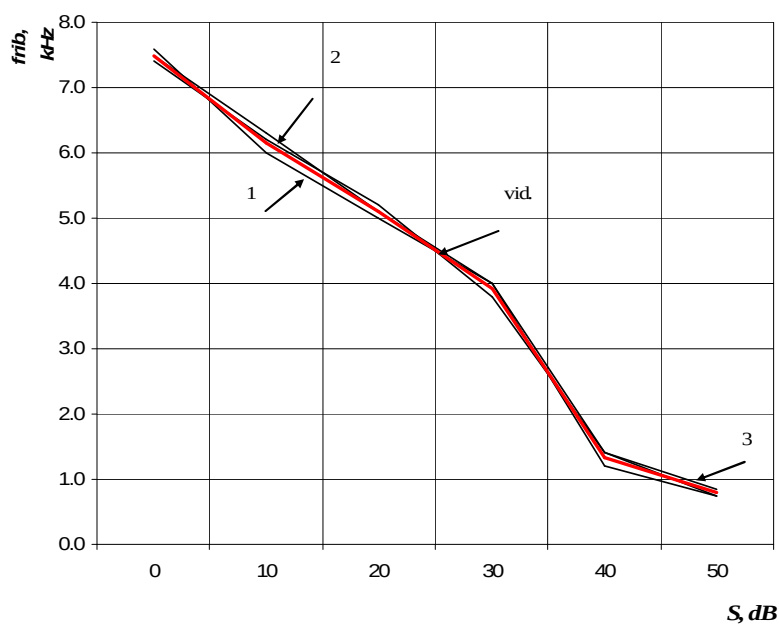
6 lentelė. Minkšto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 7 mm)

Stiprinimas; dB	0	10	20	30	40	50
Dažnio galutinė riba; kHz	7.6	6.0	5.0	4.0	1.2	0.75
	7.4	6.2	5.2	3.8	1.4	0.85
	7.5	6.3	5.1	4	1.4	0.75
Vidurkis; kHz	7.5	6.2	5.1	3.9	1.3	0.78

7 lentelė. Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 6 mm, ventiliacinė anga 1,4 mm)

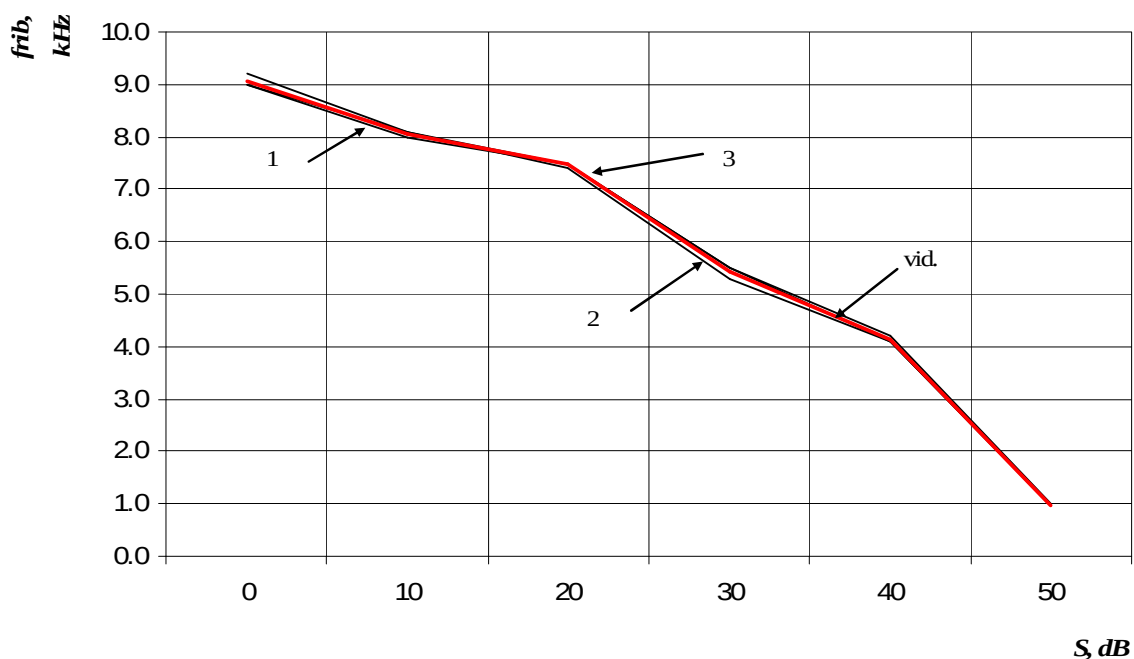
Stiprinimas; dB	0	10	20	30	40	50
Dažnio galutinė riba; kHz	9.4	7.8	7.1	5.2	4.0	1.5
	9.2	7.6	7.2	5.0	4.2	1.4
	9.1	7.4	7.0	5.2	3.9	1.4
Vidurkis; kHz	9.23	7.60	7.10	5.13	4.03	1.43

**Minkšto įdėklo parametrai
(kai garso kanalas 7 mm)**



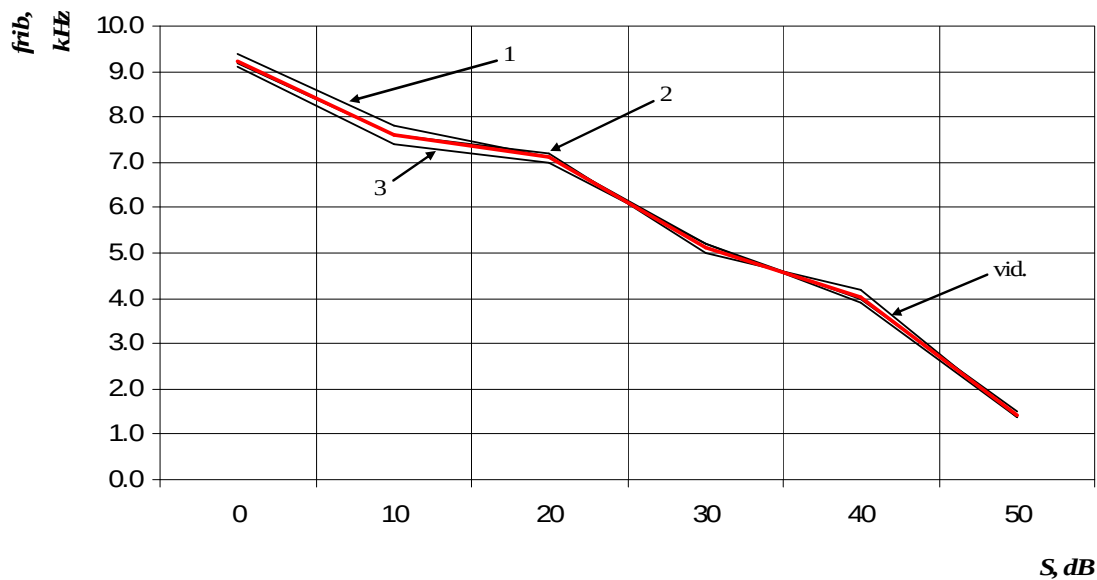
a)

**Kieto įdėklo parametrai
(kai garso kanalas 6 mm)**



b)

**Kieto įdėklo parametrai
(kai garso kanalas 6 mm, vent. 1,4 mm)**



c)

30 pav. Minkšto ir kieto įdėklo parametrai, priklausomybė tarp stiprinimo ir dažnio galutinės ribos: a) minkšto įdėklo parametrai (garso kanalo ilgis 7 mm); b) kieto įdėklo parametrai (garso kanalo ilgis 6 mm); c) kieto įdėklo parametrai (garso kanalo ilgis 6 mm, vent. 1,4 mm).

angos skersmuo 1,4 mm); 1 – pirmo bandymo rezultatai; 2 – antro bandymo rezultatai; 3 – trečio bandymo rezultatai; vid. (raudona kreivė) – vidutinė reikšmė trijų bandymų

Kaip matome, visi trys atlikti matavimai parodė labai panašius rezultatus. Visa tai yra atvaizduota 30 pav.

30 paveiksle yra pateikti tik geriausi trys rezultatai, o likę 4 pateikiami C priede (silikoniniai įdėklai nebuvo toliau vertinami, kadangi jie neįtakoja jokio papildomo stiprinimo ir net slopinimo).

3.3 Statistinė rezultatų analizė

Atlikus eksperimentą ir gavus rezultatų skaitines reikšmes, jos matematiškai statistiškai apdorojamos. Gauta eksperimento rezultatų imtis, susidedanti iš tiriamo atsitiktinio dydžio $x_1; x_2; \dots x_n$, n reikšmių, pasiskirsčiusių pagal normalųjį dėsnį. Tuomet apskaičiuojami šie svarbiausieji statistiniai rodikliai.

Analizė pradedama nuo kietu įdėklų rezultatų apdorojimo.

1. Apskaičiuojamas reikšmių vidurkis esant skirtingoms dažnių riboms (0; 10; 20; 30; 40; 50 dB) pagal formulę:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (3)$$

čia x_i – stiprinimo reikšmė;

n – rezultatų skaičius.

2. Dispersija s^2 – statistinė imties charakteristika, atspindinti labiausiai tikėtiną eilinio matavimo vertės nukrypimą nuo aritmetinio vidurkio:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2; \quad (4)$$

čia: $x_i - \bar{x}$ - atskiuro rezultato nuokrypis nuo aritmetinio vidurkio;

n - rezultatų skaičius.

3. Vidutinis kvadratinis nuokrypis s – dydis, nusakantis atsitiktinio dydžio įgyjamų reikšmių sklaidą apie vidurkį:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (5)$$

4. Variacijos koeficientas v – tai procentinis vidutinio kvadratinio nuokrypio ir vidurkio santykis. Jis rodo požymio variacijos laipsnį:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} 100\%; \quad (6)$$

Jei variacijos koeficientas $v \leq 5-10\%$, tai laikoma, kad rezultatų sklaida nedidelė; $15-20\%$ - didelė; $v \geq 20\%$ - labai didelė.

5. Atsitiktinė (matavimo rezultato) paklaida Δ – tai atsitiktinis stebėjimo duomenų nuokrypis nuo tikrosios reikšmės:

$$\Delta = t_{\beta} \frac{s}{\sqrt{n}}; \quad (7)$$

čia: t_{β} – koeficientas (Stjudento kriterijus), priklausantis nuo užsiduotos pasikliovimo tikimybės β (technikoje dažniausiai $\beta = 0,95$) ir nuo laisvės laipsnių skaičiaus $\varphi = n-1$, randamas lentelėje B priede.

6. Pasikliautinis intervalas I_{β} – intervalas, kuriame, tikėtina, yra matuojamo dydžio parametras:

$$I_{\beta} = (\bar{x} \pm \Delta); \quad (8)$$

Šis intervalas apibūdina rezultato (aritmetinio vidurkio) tikslumą. Kuo intervalas mažesnis, tuo geriau.

Gauti skaičiavimo rezultatai pateikiami 8 lentelėje.

8 lentelė. Duomenų statistinės analizės rezultatai

Stiprinimas, dB	0	10	20	30	40	50
Vidurkis $\bar{x}$, kHz	9,07	8,07	7,47	5,43	4,13	0,98
Dispersija s^2 , kHz	0,087	0,003	0,03	0	0	0,12
Vidutinis kvadratinis nuokrypis s , kHz	0,29	0,055	0,17	0	0	0,35
Variacijos koeficientas v , %	3	0,7	2,35	0	0	26,6
Atsitiktinė paklaida Δ , kHz	0,46	0,09	0,27	0	0	0,56
Pasikliautinis intervalas I_β , kHz	9,3±0,46	7,95±0,09	7,35±0,27	5,5±0	4,2±0	1,3±0,56

Tokia pat statistinė rezultatų analizė atliekama ir su minkštų įdėklų duomenimis. Apskaičiuojami statistiniai rodikliai esant skirtingoms dažnių riboms (0; 10; 20; 30; 40 ir 50 dB). Gautos aritmetinio vidurkio, dispersijos, vidutinio kvadratinio nuokrypio, variacijos koeficiento, atsitiktinės paklaidos ir pasikliautinio intervalo reikšmės pateikiamos 9 lentelėje.

9 lentelė. Duomenų statistinės analizės rezultatai

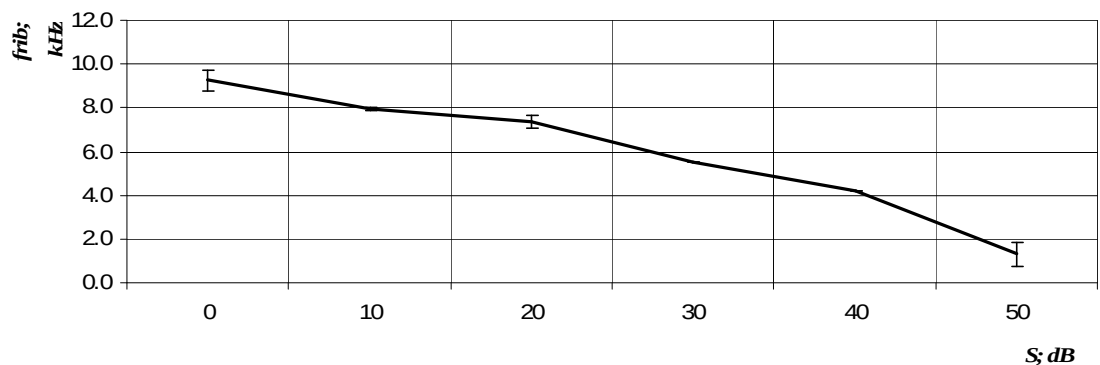
Stiprinimas, dB	0	10	20	30	40	50
Vidurkis $\bar{x}$, kHz	7,5	6,2	5,1	3,9	1,3	0,78
Dispersija s^2 , kHz	0,02	0,02	0,11	0,01	0,08	0,01
Vidutinis kvadratinis nuokrypis s , kHz	0,14	0,14	0,34	0,11	0,28	0,07
Variacijos koeficientas v , %	1,88	2,32	6,51	2,76	20,20	10
Atsitiktinė paklaida Δ , kHz	1,26	1,26	3,02	1	2,55	0,64
Pasikliautinis intervalas I_β , kHz	7,5±1,26	6,1±1,26	5,15±3,02	4,05±1	1,4±2,55	0,7±0,64

Gauti dviejų tipų įdėklų t. y., iš minkšto ir kieto akrilo, (7 ir 8 lentelės), duomenų statistinės analizės rezultatai, iš kurių matome matavimo rezultatų paklaidas.

Kaip matome, kietiems įdėklams garso parametrų atsitiktinės paklaidos nėra labai didelės, tačiau variacijos koeficientas prie 50 dB siekia net 26,6 %, tai reiškia, kad rezultatų sklaida šiame intervale yra labai didelė. Bet kituose intervaluose (0–40 dB) variacijos koeficientas neviršija 3 %, tai reiškia, kad čia sklaida yra labai maža. Pasikliautinis intervalas taip pat yra pakankamai mažas. Taigi buvo gauti patikimi matavimo rezultatai.

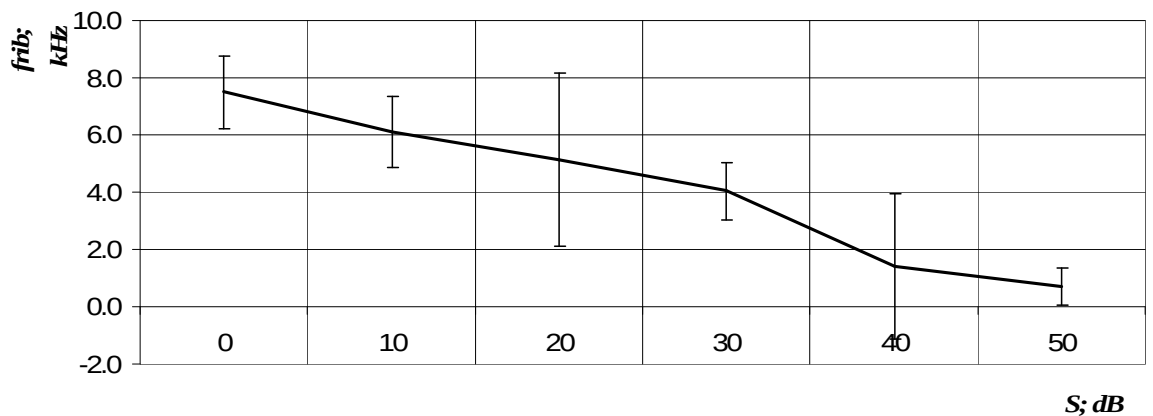
Analizuojant geriausius rezultatus gautus su minkštais įdėklais prie 0, 10 ir 30 dB, matyti, kad variacijos koeficientas neviršija 5 % ir tai reiškia, kad sklaida šiuose intervaluose yra mažiausia, bet kitose stiprinimo taškuose sklaida yra labai didelė ir todėl gaunama didelė paklaida. Tačiau žinoma, kad iš minkštos medžiagos pagaminti įdėkliukai, turi savybę truputį daugiau prislopinti garsą. Be to, garso kanalo ilgiai buvo skirtingi, tai irgi paaiškina gautus rezultatus ir dideles paklaidas.

Kietų įdėklų parametrai



a)

Minkštų įdėklų parametrai



b)

31 pav. Stiprinimo priklausomybė nuo dažnio ribos įvertinant pasikliautinius intervalus

Analizuojant grafikus (31 pav.) pastebėta, kad įvertinant pasikliautinius intervalus, kieto įdėklo rezultatai beveik nesikeičia nuo išmatuotų rezultatų. Ryškesni pokyčiai matomi tik intervaluose, kai stiprinimas yra 0 dB, 20 dB ir 50 dB, bet ir čia jie yra nežymūs (prie 0 dB – $\pm 0,46$ kHz, 20 dB – $\pm 0,27$ kHz, 50 dB – $\pm 0,56$ kHz), o kitur pokyčių visai nėra.

Taigi galime teigti, kad kieti įdėklai perduoda geresnės kokybės garsą ir yra geresni įdėkliukai, tačiau minkšti įdėklai savo patikimumu nelabai atsilieka ir jie yra geresni tuo atveju, kai klausos aparato garso parametrai labai sustiprinti ir nėra pageidaujamas pašalinis garsas, taip vadinamas akustikoje „cypimas“.

IŠVADOS IR APIBENDRINIMAI

1. Atlikta mokslo darbų analizė ir aprašyti ausies įdėklų ragelių eksperimentiniai tyrimai ir skaitmeniniai ausies įdėklų gamybos būdai.
2. Atlikti analitiniai, eksperimentiniai ir statistiniai tyrimo metodai ir nustatyta kad:
 - a) Kieti įdėklai perduoda mažiau iškreiptą perduodamą garsą, kadangi jo variacijos koeficientas nesiekia daugiau nei 5 %, o tai reiškia, kad garso sklaida yra labai maža.
 - b) Buvo pastebėta, kad kieti ausies įdėklai su ventiliacine anga perduoda žymiai geresnės kokybės garsą, nei be jos.
 - c) Minkšti įdėklai perduoda labiau prislopintą garsą ir jų variacijos koeficientas daugeliu atveju yra didesnis negu 5 %. Dėl to minkštos medžiagos įdėklai yra dažniau naudojami su stipresniais klausos aparatais.
 - d) Perduodamas garso lygis labai priklauso ir nuo garso kanalo ilgio. Kai įdėklas yra kietas ir garso kanalas trumpesnis, pvz., kai trumpiausias garso kanalo ilgis buvo 4 mm, tai garsas žymiai aiškesnis, geriau suprantamas, negu su įdėkliukais, kurių garso kanalas buvo ilgesnis vos 2 mm.
 - e) Minkštais įdėklais perduodamo garso kokybę įtakoja ne tik kanalo ilgis, bet ir skersmuo. Minkšti įdėklai perduoda geresnį garsą tuomet, kai garso kanalo skersmuo yra didesnis (2,3–2,4 mm), o ilgis mažesnis (5–6 mm), arba kai garso kanalo ilgis yra didesnis (7–8 mm), bet skersmuo yra mažesnis (1,8–2,3 mm).
 - f) Buvo nustatyta įdėklo ragelio įtaka garso parametrų. Kai įdėklo ragelis yra 2 mm – tai garso perdavimo lygis yra daug kartų geresnis, negu su 1,5 mm rageliu.
 - g) Paskaičiuoti statistiniai rodikliai parodė, kad atlikti kietų įdėklų matavimai sutampa su paskaičiuotomis reikšmėmis, tik intervaluose, kai stiprinimas yra 0 dB, 20 dB ir 50 dB matomos nežymios paklaidos (prie 0 dB – $\pm 0,46$ kHz, 20 dB – $\pm 0,27$ kHz, 50 dB – $\pm 0,56$ kHz). O minkštų įdėklų matavimai ir skaičiavimo rezultatai turi didesnę paklaidą (prie 20 dB siekia iki 3,02 kHz). Tai reiškia, kad minkšta medžiaga turi savybių garsą truputi prislopinti, bet tuo pačiu metu nekeičia garso akustinių savybių. Pasikliautinis intervalas kietų įdėklų yra labai mažas, tai rodo, kad atlikti matavimai yra pakankamai tikslūs. Tačiau minkštų įdėklų matavime matoma pažama paklaida, tačiau tai gali būti dėl to, kad minkšta medžiaga

truputi prislopina perduodamą garsą. Suskaičiuoti statistiniai rodikliai patvirtino matavimo rezultatus.

3. Ausies įdėklo galiuko, einančio į ausies kanalą, ilgis turėtų būti tik toks, kad jis būtų sandarus, kai to reikia. Kuo didesnis garso kanalo skersmuo, tuo didesnė tikimybė, kad klausos aparato akustinės savybės bus perduodamos nepakitusios. Aukšti dažniai gali būti sumažinti, jei to norima, pasirenkant mažo skersmens garso kanalą. Gręžimui rekomenduojamas standartinis 2–3 mm storio grąžtas. Ausies įdėklų akustinės savybės nepriklauso nuo naudojamos medžiagos konsistencijos (minkšta ar kieta).

LITERATŪRA

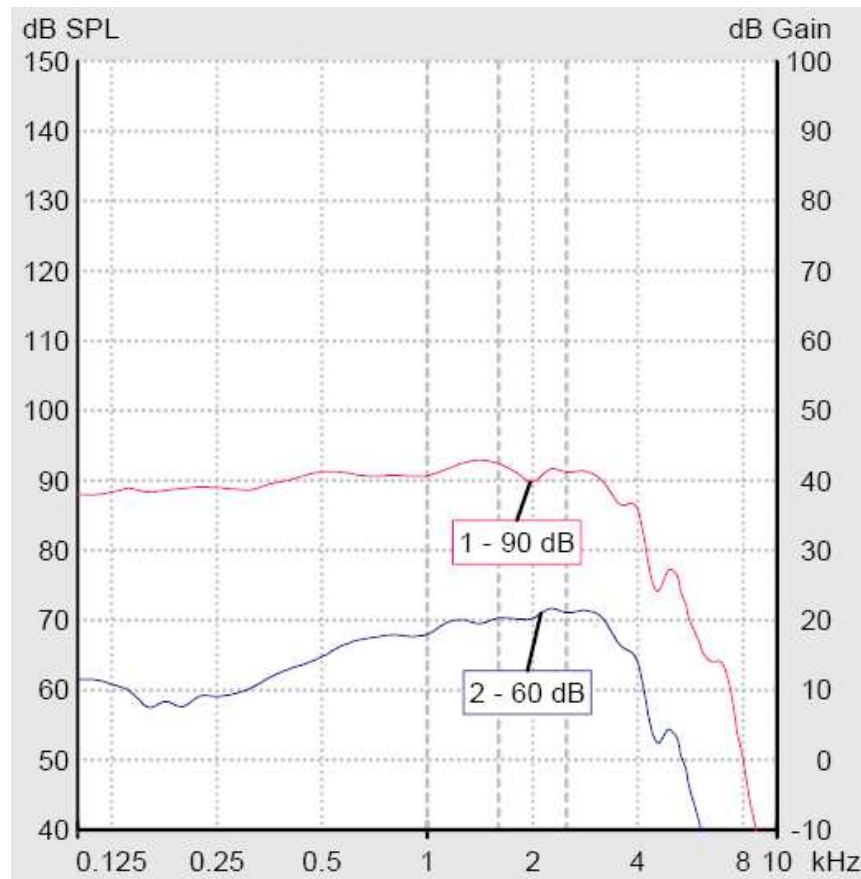
1. Dr. Giedrė Alzbutienė. Šiuolaikinės instrumentinės klausos reabilitacijos galimybės Otorinolaringologijos aktualijos, Nr. 2(6) 2009.
2. Zbigniew J. Czajkiewicz. Application of rapid Prototyping Technology to Earmould Production. 2006.
3. E. R. Libby. Ear – mould modification by special bores and dampes particularly in relation to the mid and high frequency range. <http://www.cylibby.com/horn/>
4. Chester Pirzanski. A method is devised to make acoustically configured individually tuned earmolds. The hearing journal July 2007. Vol 60. No. 7.
5. V. Čekanavičius, G. Murauskas. Statistika ir jos taikymai. TEV., Vilnius 2003.
6. Harvey Dillon, Ph. D. Hearing Aids. Boomerang press. Sydney, 2001. p. 504.
7. B. Latkowski. Poradnik dla protetyków sluchu. Lodz, 2002. p. 235.
8. Arthur Schaub. Digital hearing aids. Thieme. New York – Stuttgart, 2008. p. 188.
9. Henrik Haack. The anatomy of the Human Ear. Oticon. Denmark. 18 p.
10. Andi Vonlanthen. Hearing instrument technology for the hearing healthcare professional. Second edition. Thomson learning. 2000, 252 p.
11. Claus Erberling, Kristen Wrsoe. Fading sounds – about hearing and hearing aids. The Oticon foundation. 2006, 103 p.
12. Vestinas, T. Anatomijos atlasas. Vilnius: Gamta, 2001, p. 92-95.
13. Physical and Subjective Correlates of Earmould Occlusion. 2009.02.15. Interneto prieiga [http://www.isa-audiology.org/periodicals/1971-2001_Audiology/1979,Audiology,Vol.18/No.4\(265-352\)/GroverMartin,Audiology,1979.pdf](http://www.isa-audiology.org/periodicals/1971-2001_Audiology/1979,Audiology,Vol.18/No.4(265-352)/GroverMartin,Audiology,1979.pdf)
14. More than meets the ear: understanding and optimizing your child's earmolds. 2009.10.11. <http://bradingrao.com/MoreThanMeetsTheEar.pdf>
15. Chester Pirzanski. Earmolds: Are soft material superior? The Hearing Journal. July 2001. Vol. 54. No.7.
16. Mead C. Killion, Ph. D. Earmold Acoustics. 2009.04.28. <http://www.etymotic.com/publications/erl-0048-2003.pdf>
17. Gerdžiūnas P., Plakys V. Bendrieji akademinių darbų įforminimo reikalavimai. Vilnius: Technika, 2005. 75 p.
18. Moodie S. Individualized hearing instrument fitting for infants. In R Seewald (Ed.), A sound Foundation through Early Amplification. Stafa, Switzerland: Phonak, 2000.

19. Northern JL, Downs MP. Hearing in children (Fifth Edition). Baltimore, MD: Williams & Wilkins, 2000.
20. Teresa Y C Ching, Louise Britton, Harvey Dillon, Katrina Agung. RECD, REAG, NAL – NL1: Accurate and practical methods for fitting non – linear hearing aids to infants and children. Los Angeles. 2002.
21. Dillon H. Fitting a wide dynamic range of speech into a narrow dynamic range of hearing. In Seewald RC (ed) A Sound Foundation Through Early Amplification, Phonak. 2000.
22. Szwoch G., Kostek B. Diagnostic pathology. Waveguide model of the hearing aid earmold system. Vol. 1. 2006.
23. P. B. H. Begley , R. M Basker , J. G. Tomka and G. C. East. Evaluating materials used for constructing soft earmoulds. Vol. 16, Issue 3, 1994 Interneto prieiga: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B7GWM-4C4FH1M-S&_user=10&_coverDate=12%2F31%2F1994&_alid=1351813885&_rdoc=2&_fmt=high&_orig=search&_cdi=20462&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=18&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=a770ffb6a8bbe83789444bedc300a98c
24. Kochin S. Customer Satisfaction & Subjective Benefit with High Performance Hearing Aids. 2009.11.28. Interneto prieiga: www.knowlesinc.com.
25. Pirzanski C: Why are my ear impressions being waxed? Hear Rev. 2000.
26. Pirzanski C: Secrets of the Multilayer Impression-Taking Technique. Hear Rev. 2000.
27. Valente M, Potts L, Lybarger E: Options: Earhooks, tubing, and earmolds. In Valente M, ed. Hearing Aids: Standards, Options, and Limitations. New York: Thieme Medical Publishers. 1996.
28. Pirzanski C, Maye V: Variances in the remake rate of earmolds made of hard and soft materials. Starkey Labs Canada, internal study. 1999.
29. Pirzanski C: Selecting material for impression taking: The case for standard viscosity silicones. Hear J. 2000.
30. Oliveira R: The dynamic ear canal. In Ballachanda BB, ed. The Human Ear Cana. San Diego: Singular Publishing Group. 1997.
31. Fifield D: A new ear impression technique to prevent acoustic feedback with high-powered hearing aids. Volta Rev. 1980.

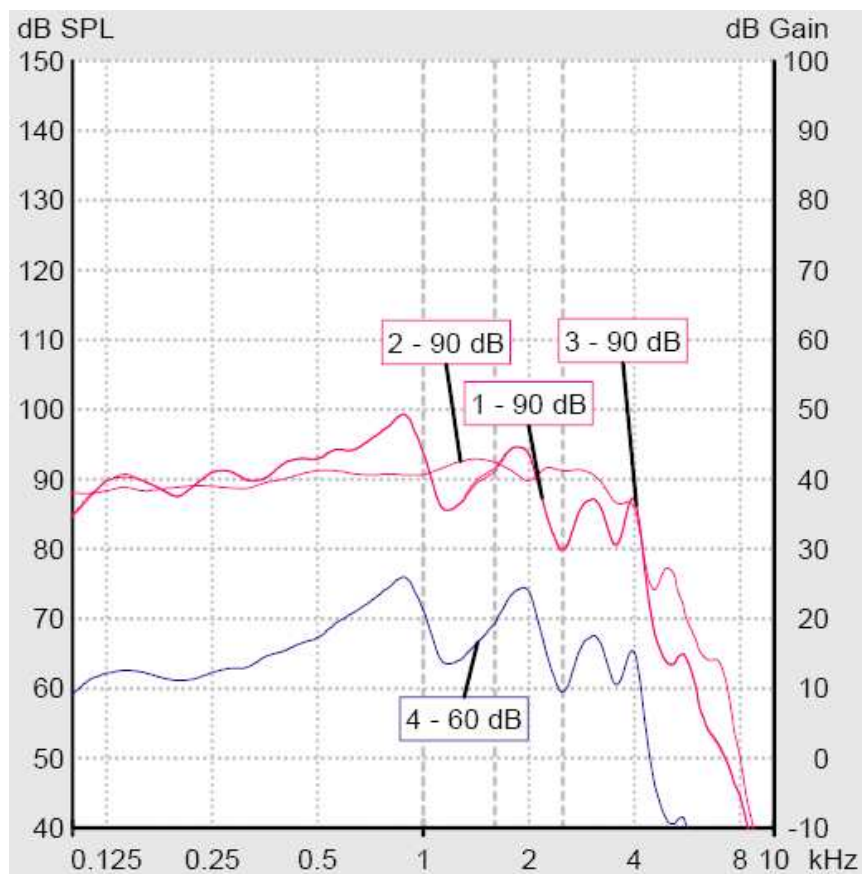
PRIEDAI

A Priedas

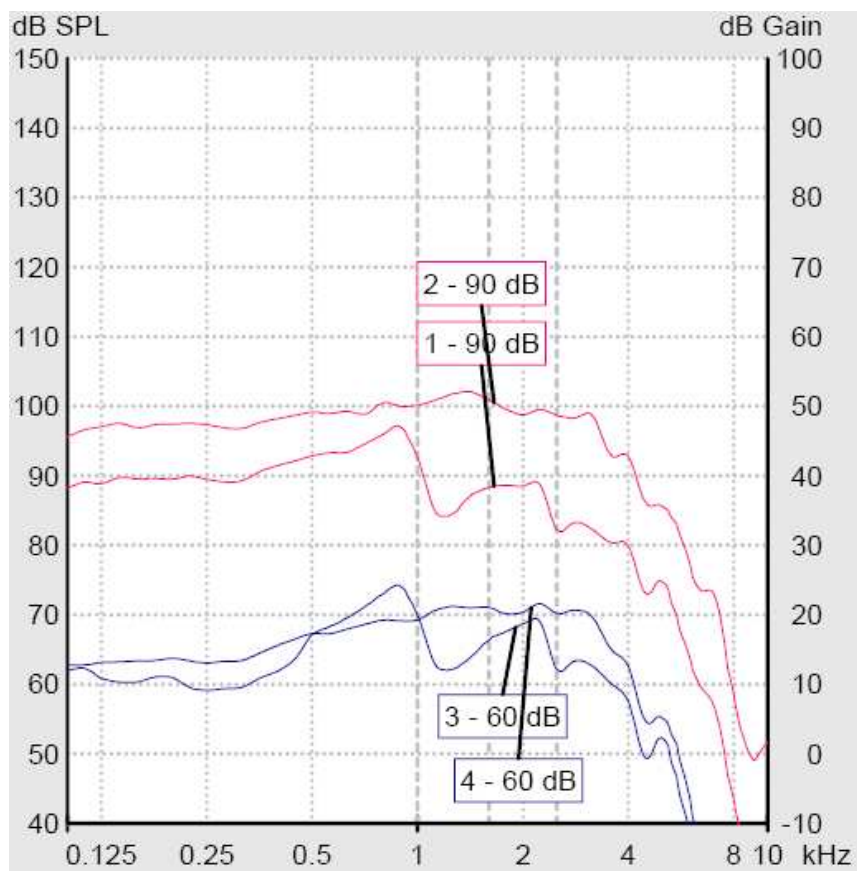
Klausos aparato OK! SP ir įdėklų parametrai



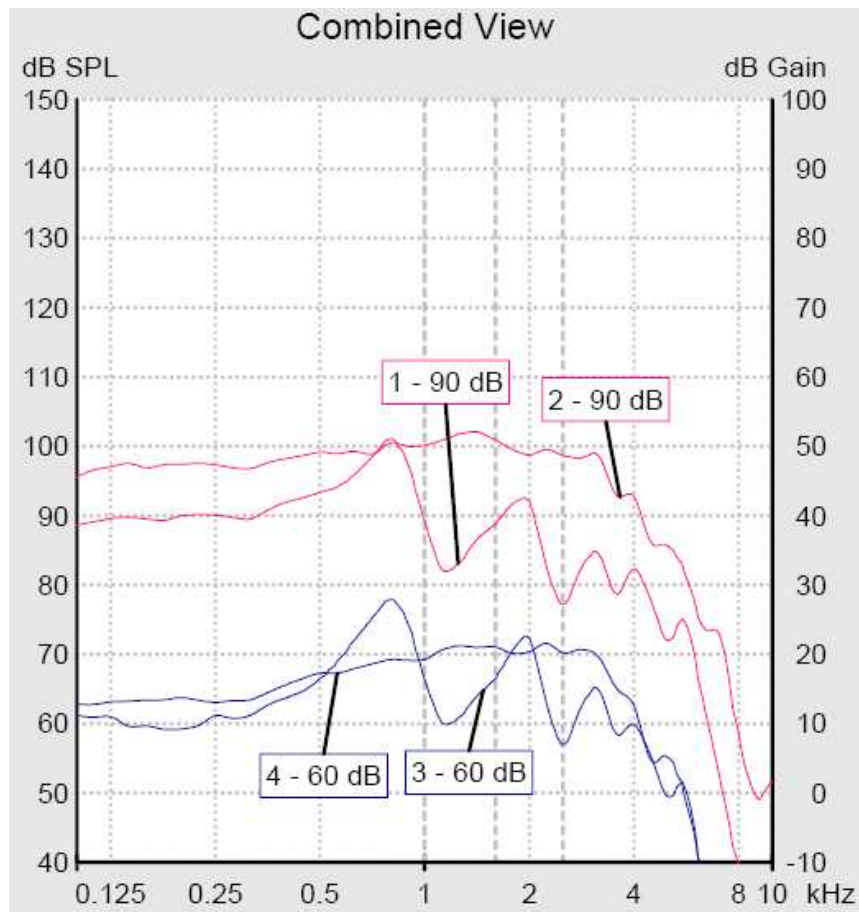
A1 pav. Klausos aparato OK! SP parametrai (Gain – stiprinimas, skirtumas tarp išėjimo ir įėjimo signalo vertės, SPL (Sound Pressure Level) – akustinio garso suspaudimo lygis)



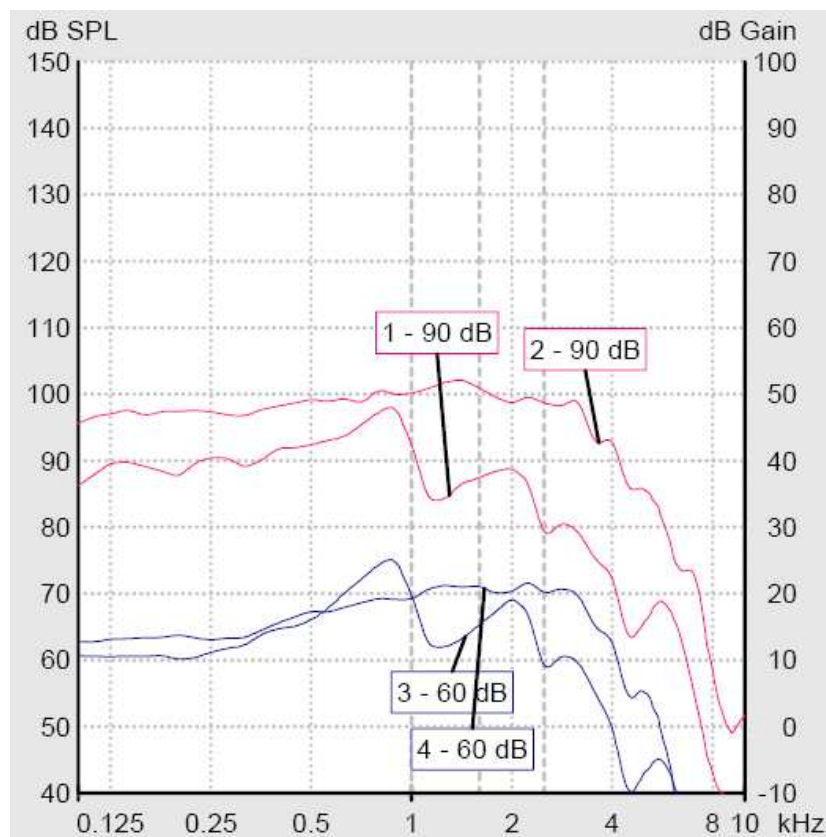
A2 pav. Silikonio įdėklo parametrai. Garso kanalas 5 mm, garso kanalo skersmuo 2 mm



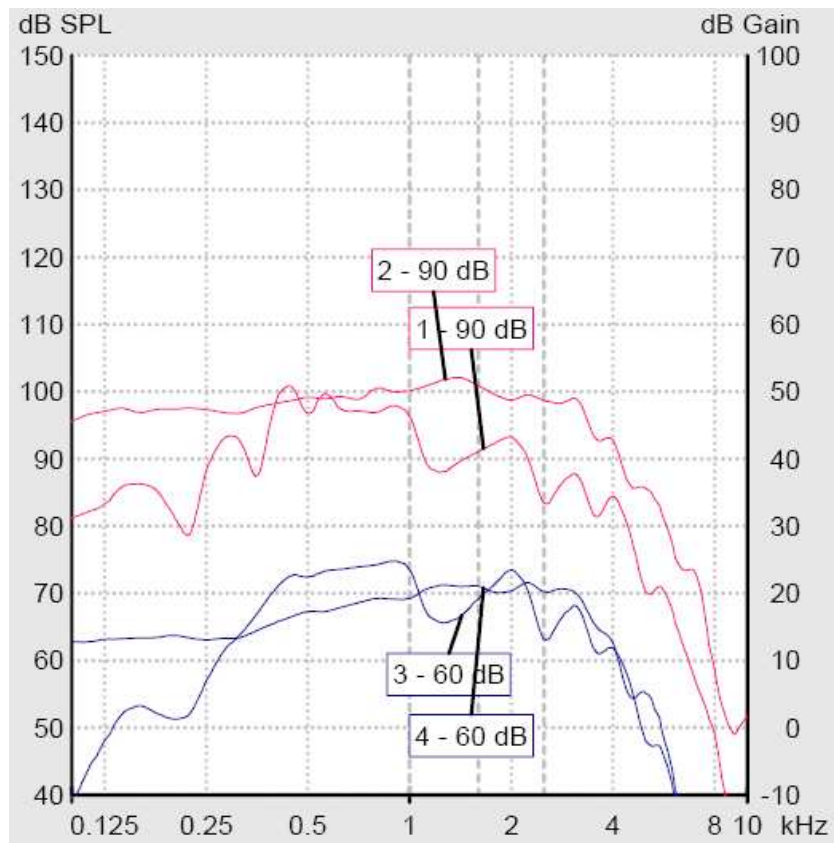
A3 pav. Minkšto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 7 mm, garso kanalo skersmuo 2,3 mm, storas vamzdelis



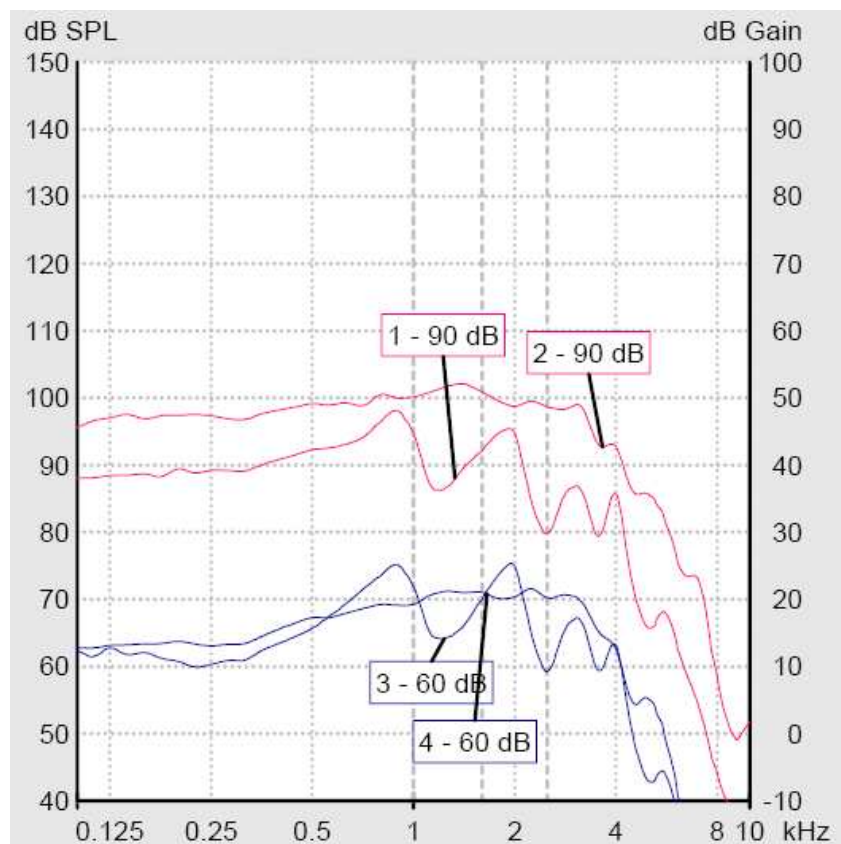
A4 pav. Minkšto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 8 mm, garso kanalo skersmuo 2,3 mm



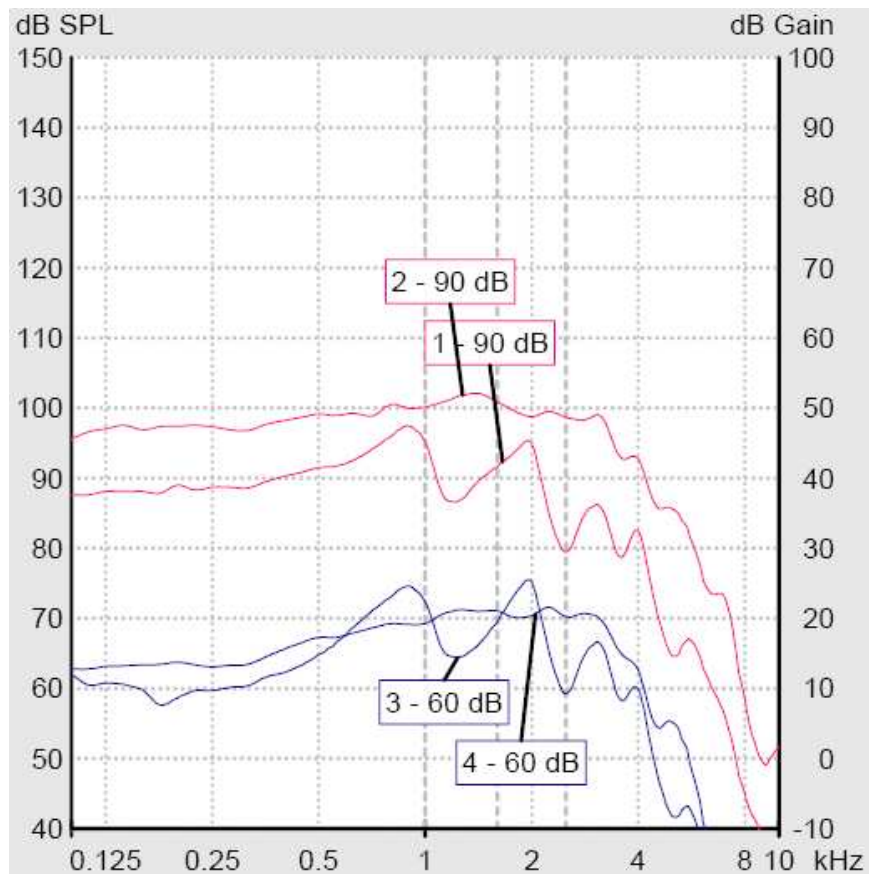
A5 pav. Silikoninio įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 6 mm, garso kanalo skersmuo 2 mm



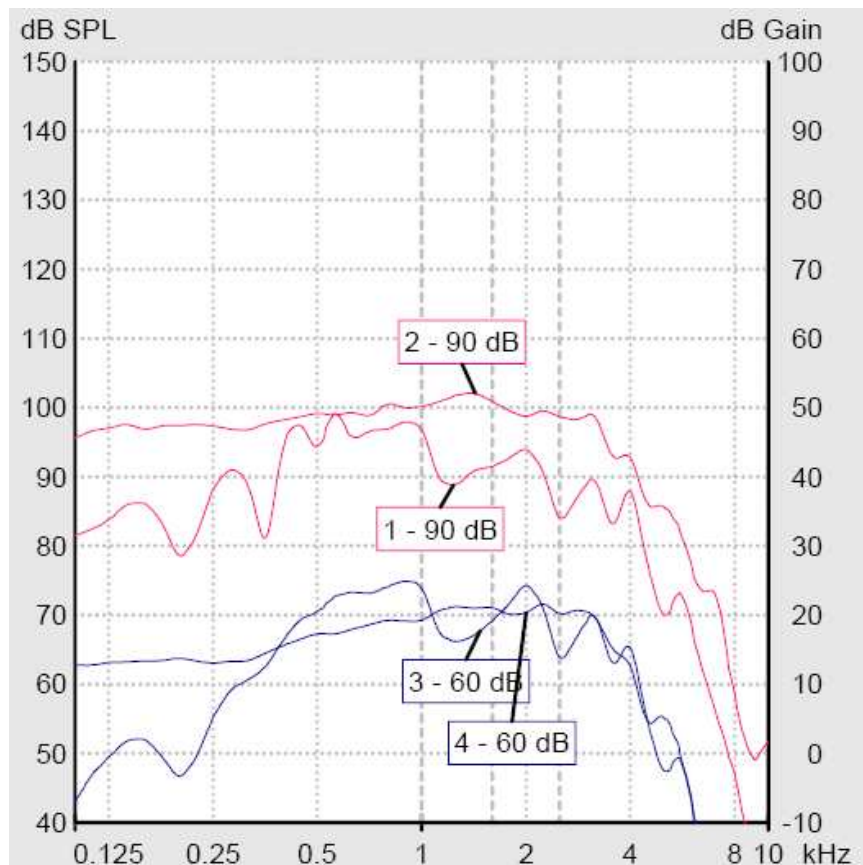
A6 pav. Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 6 mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm



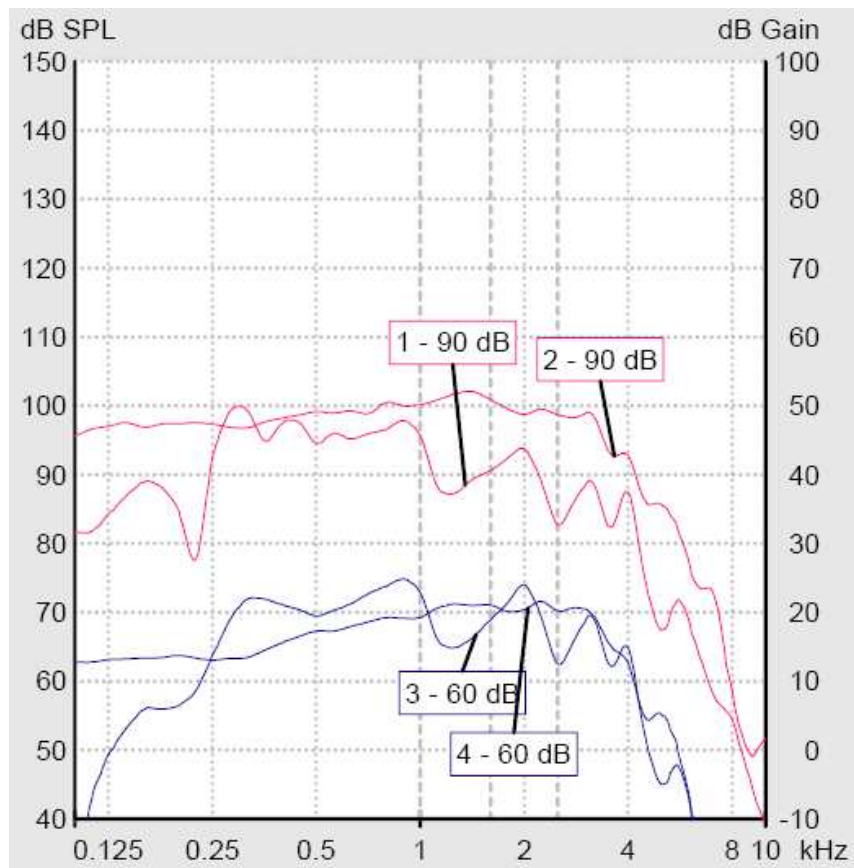
A7 pav. Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 4mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm



A8 pav. Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 5 mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm



A9 pav. Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 6 mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm



A10 pav. Kieto akrilo įdėklo parametrai. Garso kanalo ilgis 6 mm, garso kanalo skersmuo 2,4 mm, ventiliacinės angos skersmuo 1,4 mm

B priedas

B1 lentelė. Koeficiento t_{β} (Stjudento kriterijaus) reikšmės priklausomai nuo laisvės laipsnių skaičiaus φ , esant pasiklivimo tikimybei $\beta = 0,95$

$\varphi = n - 1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t_{β}	12,706	4,303	3,182	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,228	2,201	2,179	2,160
φ	14	15	16	17	18	19	20	30	40	60	120	∞	
t_{β}	2,145	2,131	2,120	2,110	2,101	2,093	2,086	2,042	2,021	2,000	1,980	1,960	

C priedas

Įdėklų vidutinės reikšmės

C1 lentelė. Minkšto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 8 mm)

Stiprinimas; dB	0	10	20	30	40	50
Dažnio galutinė riba; kHz	7.4	6.2	5.2	4.1	1.6	0.70
	7.2	6.2	5.1	3.8	1.9	0.65
	7.4	6.0	5.2	4.1	1.4	0.75
Vidurkis; kHz	7.3	6.1	5.2	4.0	1.6	0.70

C2 lentelė. Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 4 mm)

Stiprinimas; dB	0	10	20	30	40	50
Dažnio galutinė riba; kHz	9.5	8.0	7.5	5.5	4.2	1.0
	9.5	7.9	7.5	5.2	4.1	0.95
	9.4	7.9	7.4	5.3	4.0	0.96
Vidurkis; kHz	9.47	7.93	7.47	5.33	4.10	0.97

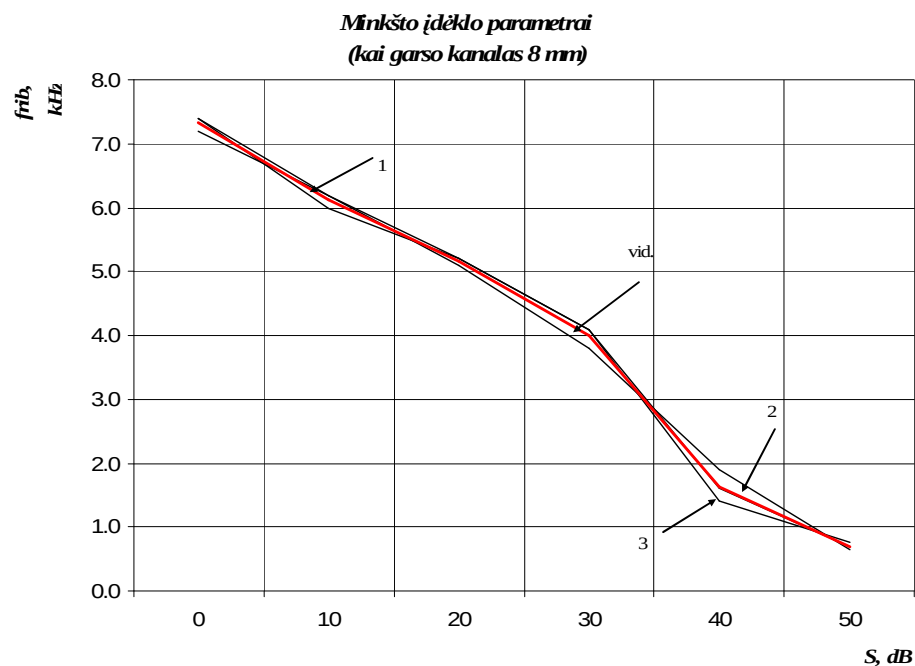
C3 lentelė. Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 5 mm)

Stiprinimas; dB	0	10	20	30	40	50
Dažnio galutinė riba; kHz	9.0	7.9	7.2	5.4	4.2	1.6
	9.2	7.8	7.3	5.4	4.4	1.7
	9.1	7.7	7.2	5.5	4.2	1.6
Vidurkis; kHz	9.10	7.80	7.23	5.43	4.27	1.63

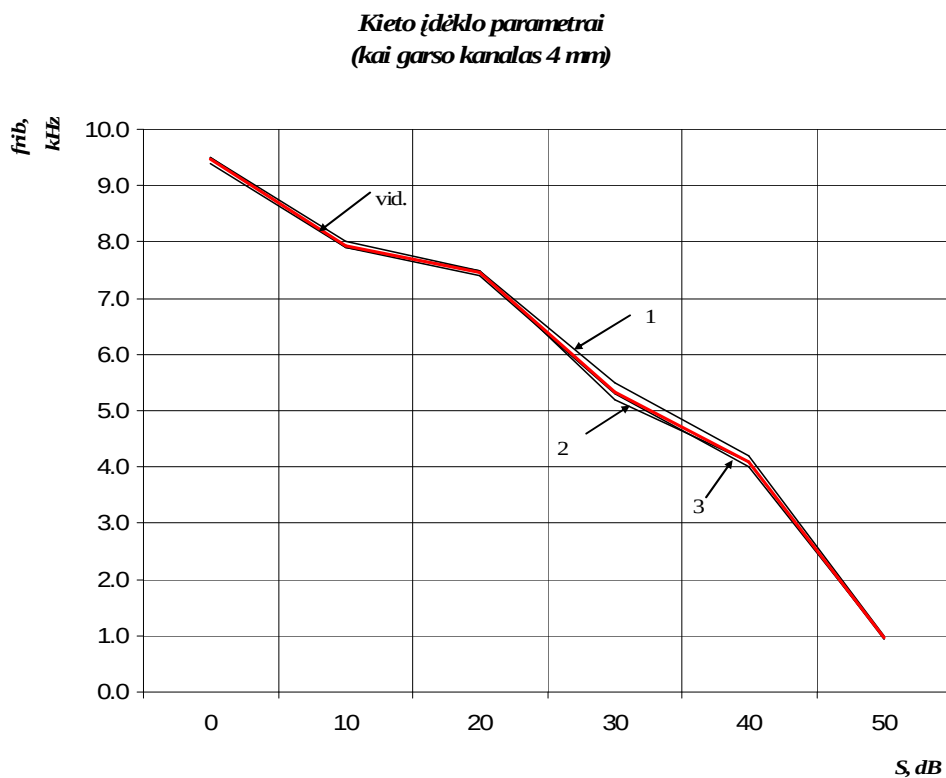
C4 lentelė. Kieto įdėklo vidutinės reikšmės (garso kanalo ilgis 6 mm)

Stiprinimas; dB	0	10	20	30	40	50
Dažnio galutinė riba; kHz	9.5	7.9	7.2	5.5	4.2	1.6
	9.4	7.8	7.1	5.4	4.1	1.5
	9.3	7.8	7.2	5.4	4.1	1.6
Vidurkis; kHz	9.40	7.83	7.17	5.43	4.13	1.57

Įdėklo parametrai, priklausomybė tarp stiprinimo ir dažnio galutinės ribos



C1 pav. Minkšto įdėklo parametrai, kai garso kanalo ilgis 8 mm: 1 – pirmo bandymo rezultatai; 2 – antro bandymo rezultatai; 3 – trečio bandymo rezultatai; vid. (raudona kreivė) – vidutinė reikšmė trijų bandymų



C2 pav. Kieto įdėklo parametrai, kai garso kanalo ilgis 4 mm: 1 – pirmo bandymo rezultatai; 2 – antro bandymo rezultatai; 3 – trečio bandymo rezultatai; vid. (raudona kreivė) – vidutinė reikšmė trijų bandymų