Aplikacija za audiometrijsko ispitivanje

Vujević, Josipa

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:272997

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**

Repository / Repozitorij:

FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repozitory

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 511

APLIKACIJA ZA AUDIOMETRIJSKO ISPITIVANJE

Josipa Vujević

Zagreb, lipanj 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 511

APLIKACIJA ZA AUDIOMETRIJSKO ISPITIVANJE

Josipa Vujević

Zagreb, lipanj 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Zagreb, 11. ožujka 2022.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 511

Pristupnica:	**Josipa Vujević (0054038236)**
Studij:	Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo
Modul:	Računarstvo
Mentor:	prof. dr. sc. Kristian Jambrošić

Zadatak: **Aplikacija za audiometrijsko ispitivanje**

Opis zadatka:

Prije subjektivnih ispitivanja u području psihoakustike i kvalitete audiosustava važno je dobiti informaciju da li ispitanici imaju zdrav sluh. Najjednostavniji test je audiometrijsko mjerenje praga čujnosti sluha za koje je potrebno imati tihu prostoriju, kvalitetne kalibrirane slušalice i aplikaciju koja upravlja procesom audiometriranja. Rezultat audiometriranja je tonski audiogram lijevog i desnog uha ispitanika. U ovom radu izradite web aplikaciju za audiometrijsko ispitivanje korištenjem sinusnih tonova. U aplikaciji omogućite odabir frekvencije sinusnog tona u oktavnim i tercnim koracima, te promjenu amplitude reproduciranog sinusnog tona s najmanjim korakom od 1 dB. Predvidite mogućnost programske kalibracije cijelog sustava za audiometriranje na temelju odabira slušalica od strane korisnika.

Rok za predaju rada: 10. lipnja 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. xxxx

APLIKACIJA ZA AUDIOMETRIJSKO ISPITIVANJE

Josipa Vujević

Zagreb, lipanj 2022.

Hvala svima koji su bili uz mene, a pogotovo mami, tati, baki, strini i Tomiju.

Hvala mentoru na prenesenom znanju, optimizmu i entuzijazmu.

Sadržaj

Uvod **1**

Zvuk **2**
Mjerenje zvuka 2
Decibel 2
Snaga zvuka 3
Intenzitet zvuka 4
Zvučni tlak 4
Amplituda 5
Frekvencija 5
Signal 5
Čisti ton 6
Sluh 6
Prag čujnosti 6
Prag boli 7
Glasnoća 7
Relativni prag sluha 7
Audiometrija 7
Audiogram 8
dB SPL i dB HL 9
dB FS 10
Akustika 11
Psihoakustika 11

Zahtjevi i funkcionalne specifikacije aplikacije **12**
Zahtjevi 12
Funkcionalne specifikacije 12
Test 16
Rezultati 16

Tehničke specifikacije **17**
Korištene tehnologije 17
Web tehnologije 17
Arhitektura 19

Izvedba funkcionalnosti aplikacije **21**
Kalibracija 21
Puštanje testnih zvukova 24
Rezultati testa 25
Puštanje na server i održavanje 28

Zaključak **29**

Literatura **30**

Sažetak **32**

Summary **33**

Privitak **34**

Uvod

U svakodnevnom životu većina nas se susrela sa činjenicom da ne čuju svi ljudi jednako dobro. Međutim, pokazalo se da dijagnoza nečije sposobnosti čujenja nije tako jednodimenzionalna. Uzmimo ipak za početak u obzir jednu dimenziju zvuka: frekvenciju.

U jednom trenutku internetom je kružio zvučni zapis čije su riječi različiti ljudi različito interpretirali. Ispada da neki ljudu čuju bolje visoke, a neki niske frekvencije. Spomenuti zapis ukazao je na taj fenomen sastojeći se od jednog govora na visokoj, te drugog na niskoj frekvenciji reproduciranih u isto vrijeme u jednom zvučnom zapisu.

A što je s amplitudom? Što bi se dogodilo kada bismo pojačali jedan od tih zapisa u odnosu na drugi? Ili, da krenemo od početka: Na kojoj će glasnoći netko uopće registrirati odnosno čuti zvuk određene frekvencije?

Ako uzmemo kombinacije određene frekvencije i različitih amplituda te pokušamo odgovoriti na to pitanje, ispada da je odgovor ljudskog uha kod većine ljudi sličan. Većina ljudi čuje prvi put zvuk određene frekvencije na točno određenoj glasnoći. Ta glasnoća različita je za različite frekvencije. Kombinacije tih graničnih vrijednosti glasnoća za određene frekvencije nazivamo pragom čujnosti.

Prije bilo kakvih subjektivnih ispitivanja u području psihoakustike, potrebno je dobiti informaciju imaju li ispitanici normalan, odnosno zdrav sluh.

Jedan od testova za ispitivanje sluha je audiometrijsko mjerenje upravo spomenutog praga čujnosti. Za takav test potrebno je imati tihu prostoriju, kalibrirane slušalice te aplikaciju koja upravlja procesom audiometriranja. Rezultat tog testa je audiogram, graf koji pokazuje odstupanja od spomenutog standardiziranog normalnog praga čujnosti.

U ovom radu opisat ćemo razvoj jedne takve aplikacije za upravljanje procesom audiometriranja, te objasniti iz domene zvuka nužne za razumijevanje materije.

1. Zvuk

Na fizičkoj razini zvuk kao fenomen nastaje uslijed fluktuacija atmosferskog tlaka oko statičke razine atmosferskog tlaka. [1]

Fluktuacije nastaju podražajem koji se onda širi elastičnim medijem, brzinom koja je karakteristična za taj medij.

Zvuk je dakle rezultat oscilacija u elastičnom mediju, bilo plinovitom, tekućem ili krutom.

Kada se zvuk širi zrakom, oscilacije pritiska su iznad i ispod atmosferskog tlaka okoline.

1.1. Mjerenje zvuka

Mjerenje zvuka vrši se mjeračem razine zvuka i može se prikazati ili zvučnim tlakom kojeg mjerimo u paskalima (u nastavku Pa) ili intenzitetom zvuka kojeg mjerimo u vatima po metru kvadratnom ($Watt/m^2$).

S obzirom da se ipak radi o zvuku, pitamo se koliko je odredena razina paskala ili vata po metru kvadratnom čujna ili glasna. U tu svrhu uvodimo mjernu jedinicu decibel.

1.1.1. Decibel

Decibel (dB) je decimalna jedinica brojčane jedinice bel (1).

$$1\ dB\ =\ \frac{1}{10}\ B \tag{1}$$

To je veličina koja se koristi za mjerenje razine zvuka.

Konkretnije, decibel je logaritamski način opisa omjera. Taj omjer može biti snaga zvuka, intenzitet zvuka i slično.

To je omjer stvarnog iznosa neke od tih veličina u odnosu na referentnu razinu te veličine koji nam odgovara na pitanje kolika je razlika u razini zvuka u odnosu na referentnu veličinu.

Prikaz u decibelima koristan je kada se razine koje uspoređujemo nalaze na jako velikom brojčanom rasponu. Logaritamski zapis omogućava nam prikaz omjera tih veličina na manjoj i time praktičnijoj brojčanoj skali.

Recimo da je I_s stvarni iznos neke veličine, a I_r je iznos referentne razine za tu veličinu.

U decibelima bismo omjer$R$ između dviju veličina prikazali kao:

$$R = 10log_{10}(\frac{I_s}{I_r}) = iznos\ u\ dB \qquad (2)$$

gdje faktor 10 proizlazi iz formule (1).

1.1.2. Snaga zvuka

Ukupnu količinu prisutnog zvuka zovemo energijom zvučnog vala. Međutim, općenito nas više zanima brzina prijenosa energije nego ukupna prenešena energija, odnosno količina energije koja se prenosi u jedinici vremena. [2]

Tu dolazimo do snage zvuka kao mjere ukupne energije zvuka koja se širi iz zvučnog izvora u svim smjerovima u određenom vremenu. Mjerna jedinica joj je vat (W) što je, sukladno definiciji, džul po sekundi (J/s).

Izražavamo ju u decibelima, kao logaritam omjera stvarne snage i referente razine snage od jednog pikovata ($10^{-12}W$).

Kako dakle, izračunati razinu zvuka? Mi računamo razliku u razini zvuka u odnosu na referentnu razinu.

Recimo da imamo dva zvučnika od kojih jedan emitira zvuk snage P_1, a drugi zvuk duplo veće snage P_2.

Koristeći definiciju decibela, zapisujemo razliku u razini zvuka kao:

$$SWL = 10log_{10}(\frac{P_2}{P_1}) \qquad (3)$$

gdje faktor 10 proizlazi iz formule (1).

S obzirom da je P_2 duplo veća od P_1 dobivamo (3):

$$SWL = 10log_{10}(2) = 3\ dB \qquad (4)$$

Možemo zaključiti da je razlika razine zvuka između ova dva izvora jednaka 3 decibela.

1.1.3. Intenzitet zvuka

Kako je zvuk trodimenzionalna veličina, zvučni val zauzima prostor. Zbog toga je korisno opisati brzinu prijenosa energije, spomenutu kao snaga zvuka, s obzirom na površinu, odnosno u vatima po jedinici površine. To nam daje veličinu poznatu kao intenzitet zvuka, koja je mjera gustoće snage zvučnog vala koji se širi u određenom smjeru. [2]

Intenzitet zvuka stvarnih izvora zvuka može varirati u rasponu koji je veći od milijun milijuna (10^{12}) prema jedan. Zbog toga razinu intenziteta zvuka obično izražavamo na logaritamskoj skali. Ta se ljestvica temelji na omjeru stvarnog intenziteta I_s u W/m^2 i referentnog intenziteta I_r od jednog pikovata po četvornom metru ($10^{-12} W/m^2$).

Stoga razinu intenziteta zvuka (SIL = Sound Intensity Level) definiramo kao:

$$SIL = 10log_{10}(\frac{I_s}{I_r}) \tag{4}$$

1.1.4. Zvučni tlak

Intenzitet zvuka je jedan od načina mjerenja i opisivanja amplitude zvučnog vala u određenoj točki. Međutim, iako je teoretski korisna i može se izmjeriti, to nije uobičajena veličina koja se koristi za opisivanje amplitude zvuka. [2]

Druga mjera je tlak. Zbog toga što su ljudske uši osjetljive na zvučni tlak i zbog lakšeg mjerenja, tlak se koristi kao mjera amplitude zvučnog vala.

Zvučni tlak je veličina koju definiramo kao srednji kvadratni tlak zvučnog vala u određenoj točki.

Zvučni tlak za stvarne izvore zvuka može varirati od manje od 20 mikropaskala (20 μPa ili $20 \cdot 10^{-6}$ Pa) do više od 20 paskala (20 Pa).

Ova dva tlaka uglavnom odgovaraju pragu sluha (20 μPa) i pragu boli (20 Pa) za ljudsko uho, na frekvenciji od 1000 herca (u nastavku Hz), odnosno 1 kiloherc (u nastavku kHz). Stoga stvarni zvukovi mogu varirati u rasponu amplituda tlaka koji je veći od milijun prema jedan.

Zbog toga, kao i zbog načina na koji percipiramo zvuk, razina zvučnog tlaka također se obično izražava na logaritamskoj skali. Ova se ljestvica temelji na omjeru stvarnog zvučnog tlaka i referentnog praga sluha od 20 μPa na 1 kHz.

Stoga razinu zvučnog tlaka (SPL = Sound Pressure Level) definiramo kao:

$$SPL = 10log_{10}(\frac{P_s}{P_r}) \tag{5}$$

gdje je P_s stvarni iznos pritiska u Pa, a P_r je referentni tlak u μPa.

1.1.5. Amplituda

Amplitudu promjene tlaka možemo opisati maksimalnom amplitudom tlaka P_M ili amplitudom srednjeg kvadrata P_{RMS} (*RMS = Root Mean Square*).

Izražavamo ju u paskalima (Pa). Mi ćemo ju dalje opisivati srednjim kvadratom što znači da se trenutni zvučni pritisci, koji mogu biti pozitivni ili negativni, kvadriraju, uzima im se prosjek te kvadratni korijen posjeka.

1.1.6. Frekvencija

Frekvencija (f) je broj ciklusa promjene tlaka u mediju u jedinici vremena, odnosno broj ciklusa u sekundi, a izražavamo ju u hercima (u nastavku Hz).

Ljudsko uho registrira frekvencije u rasponu od 20 Hz do 20000 Hz (20 kiloherca, u nastavku kHz).

Uho ima različitu osjetljivost na različitim frekvencijama, zbog rezonancije samog uha koje amplificira neke frekvencije, što ćemo vidjeti kao u nastavku ovog rada. Nećemo se baviti fizikom i anatomijom samog uha, već mjerenjem te osjetljivosti.

Niskofrekventni zvuk predstavljen je razinama basova, a visokofrekventni zvuk visokim tonovima. [3]

1.1.7. Signal

Registriramo li vrijednost promjene parametra zvučnog polja u prostornom položaju kao funkciju vremena, rezultat je zvučni signal.

Registriranje možemo izvesti mikrofonom ili senzorom vibracija, što rezultira električnim signalom koji se može obraditi i pohraniti.

Zvučni signali u električnom obliku mogu se ponovno pretvoriti u zvuk korištenjem zvučnika.

Signal poput zvučnog vala funkcija je vremena koja se može predstaviti ili aproksimirati na različite načine.

Mi ćemo ga predstaviti kao sinusoidni signal, odnosno čisti ton.

$$y(t) = A \cdot sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \tag{6}$$

pri čemu je y iznos trenutne amplitude vala, t je vrijeme, A je amplituda vala, f je frekvencija vala. Sinusni ton, dakle, ne nalazimo u prirodi, već ga sintetiziramo.[4]

1.1.8. Čisti ton

Zbog jednostavnosti pristupa zvuku i pojašnjenja fizikalnih pojava koje ga prate, mi ćemo pretpostavljati da zvuk sadrži samo jednu frekvenciju, odnosno da je riječ o čistom tonu. Zvuk koji se pojavljuje u prirodi sastoji se od mnogo komponenti, te ne mora uopće biti tonskog karaktera. [5]

1.2. Sluh

Za osjet sluha odgovoran je slušni organ - uho, i slušni centar u mozgu. Slušni mehanizam ima sposobnost razlučivanja različitih frekvencija zvučnog signala. On radi kao frekvencijski analizator i sposoban je detektirati oko 5000 različitih visina zvuka. [6]

U slušnom procesu se mehanički zvučni val pretvara u vibracije na opni bubnjića, koje se prenose specijaliziranim dijelovima uha sve do neuralnih senzora koji onda stvaraju neuralne impulsa koji se neuronskim putovima, odnosno slušnim živcem šire do odgovarajućih centara u mozgu.

1.2.1. Prag čujnosti

Prag čujnosti je najmanja razina tlaka zvuka koju prosječna zdrava osoba čuje. Ona je vrlo individualna i nelinearna za različite frekvencije.

1.2.2. Prag boli

Razina tlaka zvuka koja izaziva bol kod slušatelja. Puno je linearnija od praga čujnosti.

1.2.3. Glasnoća

Subjektivna percepcija intenziteta zvuka ovisno o amplitudi, frekvencijskom sastavu i vremenskom obliku zvučnog signala. To je čovjekov sud o intenzitetu zvuka i on je u linearnoj vezi sa zvučnim tlakom odnosno razinom zvučnog tlaka.

1.2.4. Relativni prag sluha

Apsolutna osjetljivost uha određena je minimalnim zvučnim tlakom, dovoljnim da pobudi osjet sluha u tihoj okolini. Ne može se čuti svaki zvuk. Ne može se čuti zvuk premalog intenziteta i zvuk previsoke ili preniske frekvencije.

Ako su nam poznata svojstva zvukova čujnih osobama s normalnim sluhom, možemo mjeriti za koliko neki pojedinci odstupaju od tog takozvanog normalnog praga sluha i na taj način određujemo relativni prag sluha.

Najjednostavniji stimulusi za mjerenje sluha su čisti tonovi jer ih je relativno jednostavno definirati samo s dvije dimenzije - intenzitetom i frekvencijom. Određujući prag sluha opisujemo osjetljivosti slušnog mehanizma. Prag sluha i osjetljivost recipročne su veličine – niži prag sluha znači veću osjetljivost.

1.3. Audiometrija

Audiometrija je znanost o mjerenju funkcioniranja slušnog sustava. Pojam audiometar odnosi se na dijelove opreme koji se koriste za provođenje testova audiometrije. [4]

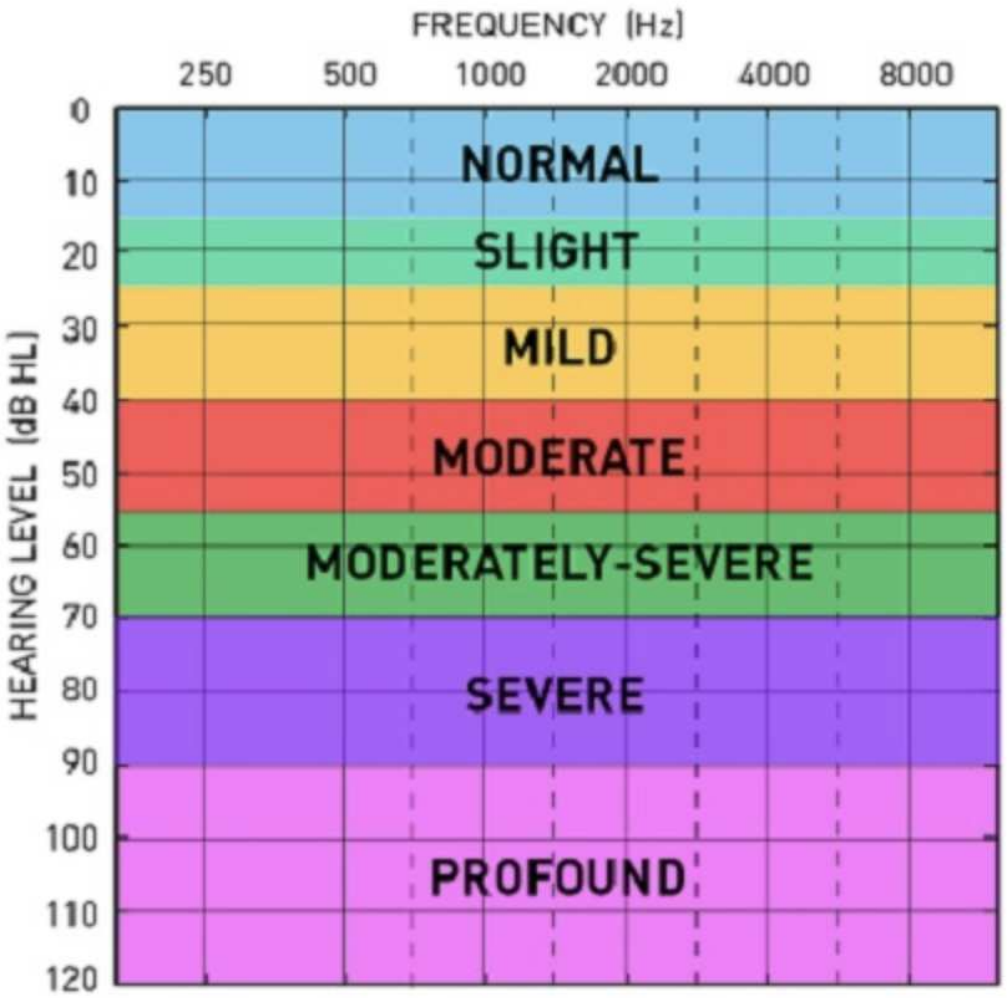
Audiometrija čistog tona, kao što ime sugerira, koristi čiste tonove ili druge uskopojasne podražaje kao testne signale za mjerenje pragova sluha specifičnih za frekvenciju. Audiometar čistog tona je uređaj koji mijenja, bilo ručno ili automatski, razinu testnog signala u prilagodljivom postupku tražeći prag sluha. Audiometrija čistog tona obično se izvodi reproduciranjem testnih podražaja putem kalibriranih slušalica, na koje pacijent odgovara usmeno ili pritiskom na tipku. Ovaj se postupak provodi zasebno za oba uha, na frekvencijama 250, 500, 750, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 i 8000 Hz. [10]

Za pouzdane rezultate, potrebno je osigurati da učinak maskiranja pozadinske buke ne povećava izmjerene pragove sluha, te da su pretvarači ispravno kalibrirani. Krivulja praga sluha kao funkcija frekvencije izmjerena u audiometriji čistog tona naziva se audiogram. Kao što smo već spomenuli, zvučni tlak koji se može čuti iznosi približno 0.00002 Pa. Zapravo, u frekvencijskoj zoni u kojoj je ljudsko uho najosjetljivije, između 1000 i 5000 Hz neki ljudi mogu čuti zvučni tlak i manji od referentnog. Podataka o apsolutnom pragu sluha ima toliko koliko ima različitih mjerenja. Razlike u rezultatima pojedinih mjerenja imaju različite uzroke. Veliku raznolikost unosi način mjerenja zvučnog tlaka. Mjerenje zvučnog tlaka može se izvršiti na raznim mjestima: unutar slušalice, na početku slušnog kanala, unutar slušnog kanala ili kod bubnjića. Drugačijim postavljanjem mjernog mikrofona dobivaju se različiti rezultati. [7]

1.3.1. Audiogram

Rezultati ispitivanja sluha prikazuju se na audiogramu. Audiogram je grafikon koji prikazuje najtiše zvukove koje osoba može čuti na različitim visinama ili frekvencijama. Što su oznake bliže vrhu grafikona, to osoba može čuti tiše zvukove. Gdje rezultati pacijenta padaju na audiogramu ukazuju na različite stupnjeve gubitka sluha. Audiogram

prikazan u nastavku ukazuje na različite stupnjeve gubitka sluha (Sl. 1.1).



Sl. 1.1 Stupnjevi gubitka sluha prikazani na audiogramu

1.3.2. dB SPL i dB HL

Tijekom testiranja sluha audiogramom koristimo više decibel ljestvica. Objasnit ćemo odnos dviju takvih ljestvica: ljestvice razine zvučnog tlaka (u nastavku dB SPL, *Sound pressure level*), te ljestvice razine sluha (u nastavku dB HL, *Hearing level)*.

Zvukomjeri su kalibrirani u dB SPL jer su mikrofoni koji se koriste u mjeračima zvuka osjetljivi na promjene zvučnog tlaka u zraku, baš kao i naše uši. Nasuprot tome, audiometri su kalibrirani u dB HL.

To je zato što naše uši ne čuju jednako dobro na svim frekvencijama. Kad bi naše uši jednako dobro čule sve frekvencije zvuka, onda nam dB HL ljestvica ne bi trebala.

Naše uši ne percipiraju niskofrekventne i visokofrekventne zvukove jednako kao i zvukove između 500 i 4000 Hz. Na primjer, najslabiji zvuk koji mlada osoba normalnog sluha može čuti na 2500 Hz je 0 dB SPL. Za razliku od toga, na 20 Hz (zvuk vrlo niske frekvencije), zvuk mora biti mnogo glasniji, oko 72 dB dB SPL kako bi se samo slabo čuo. Na drugom kraju frekvencijskog spektra, zvuk vrlo visoke frekvencije od 15.000 Hz potrebno je povećati na 20 dB SPL kako biste ga jednostavno otkrili. [8]

Dakle, normalan sluh, ako se ucrta na audiogram pomoću SPL skale, bila bi zakrivljena, valovita linija te bi na audiogramu bilo teško reći koliki gubitak sluha osoba ima na određenoj frekvenciji. Puno je lakše vizualizirati stupanj gubitka sluha kada bi se normalan sluh pokazao kao ravna linija postavljena na 0 dB na audiogramu. Tada bi svako odstupanje od ove linije ukazivalo na stupanj gubitka sluha. To je razlog zašto je razvijena HL ljestvica.

Zakrivljena SPL ljestvica normalizirana je tako da postaje ravna, ravna linija pri 0 dB. Koristeći HL skalu, savršen sluh je ravna linija na vrhu audiograma. Kada vas audiolog testira, svako odstupanje od linije 0 dB HL ukazuje na gubitak sluha ako padne ispod linije od 0 dB. Isto tako, ako vaš sluh odstupa iznad linije od 0 dB, na toj frekvenciji imate bolji sluh od normalnog.

Za pretvaranje očitanja SPL u očitanja HL, audiometri se kalibriraju da dodaju određenu količinu svakoj testiranoj frekvenciji.

Rezultat je da sada vaš audiogram lako grafički prikazuje vaš gubitak sluha u dB HL, umjesto da pokušavamo vizualizirati stupanj gubitka sluha ako je prikazan u dB pomoću SPL ljestvice.

1.3.3. dB FS

Decibeli u odnosu na punu skalu (*dB FS*) mjerna su jedinica za razinu amplitude u digitalnim sustavima. Razina od 0 dBFS dodijeljena je maksimalnoj mogućoj digitalnoj razini. Sve ostale razine zvuka prikazane su negativnim iznosom decibela. [9]

Ova skala bit će ključna kod kalibracije slušalica tijekom audiometrijskog ispitivanja što ćemo vidjeti u dijelu o izvedbi same aplikacije.

Rezultat je da sada vaš audiogram lako grafički prikazuje vaš gubitak sluha u dB HL, umjesto da pokušavamo vizualizirati stupanj gubitka sluha ako je prikazan u dB pomoću SPL ljestvice.

1.3.4. Akustika

Akustika je znanost o zvuku, odnosno valnom gibanju u plinovima, tekućinama i krutim tijelima, te učincima takvog valnog gibanja. [5]

1.3.5. Psihoakustika

Psihoakustika je interdisciplinary grana znanosti koja se bavi pitanjima ljudske percepcije zvuka. [2]

2. Zahtjevi i funkcionalne specifikacije aplikacije

U nastavku rada opisana je izrada aplikacije za audiometrijsko ispitivanje sluha koja korisnika vodi kroz proces kalibracije slušalica za testiranje, te kroz sam proces ispitivanja sluha. Na kraju kao rezultat prikazuje audiogram, odnosno graf praga čujnosti za jedno i drugo uho, te dodatan tablični zapis rezultata testa.

2.1. Zahtjevi

Aplikacija je napravljena za potrebe ispitivanja zdravlja sluha. Glavni korisnici su ljudi koji će ispitivati svoj sluh sami kod kuće ili uz vodstvo ispitivača u laboratoriju, te sami ispitivači, koji će moći rezultate koristiti u svrhu daljnjih istraživanja. Tijekom istraživanja potreba korisnika, došli smo do sljedećih zahtjeva:

Zahtjevi za ispitivače:

- Da aplikacija bude pokrenuta na serveru koji je dostupan svima
- Da se slušalice pomoću kojih korisnik radi test mogu kalibrirati
- Da postoji mogućnost slanja podataka pazeći na GDPR

Zahtjevi za korisnike:

- Da aplikacija bude dostupna
- Da bude koristiva
- Da mogu interpretirati vlastite rezultate
- Da mogu poslati audiogram i tablicu rezultata ispitivaču.

2.2. Funkcionalne specifikacije

Jednom kada imamo funkcionalne zahtjeve, možemo razmišljati o tome kako ih sve uklopiti u jednu priču, odnosno aplikaciju.

Kružnim procesom ideacije upriličenja te položaja pojedinačnih funkcionalnih dijelova aplikacije; kako u odnosu jedni na druge na ekranu, tako i u vremenskom slijedu korištenja

aplikacije, nakon kojeg slijedi ideacije tehničke izvedbe odabrane konfiguracije, dolazimo do konačnog slijeda funkcionalnosti:

Aplikacija se sastoji od dva prozora. U prvom prozoru nalazi se generalni opis testa te upute za kalibraciju (Sl. 3.1).

Kada je kalibracija napravljena, korisnik može upisati razinu zvučnog tlaka na koji je kalibrirao svoje slušalice te stisnuti gumb Test koji ga zatim vodi u drugi prozor u kojem se nalazi sam test. (Sl. 3.2).

Test je predviđeno raditi sa stereo slušalicama jer je zvuk koji se pušta stereo zvuk, te će interaktivno sučelje za reprodukciju tonova za testiranje lijevog uha (označena sa L) puštati zvuk na lijevu slušalica, a ono za desno uho (označena sa R) će puštati na desno.

Ispod testa nalaze se tablica i graf rezultata koji se dinamički popunjavaju podacima o sluhu korisnika, u realnom vremenu kako on rješava test. Tijekom procesa testiranja, korisnik može u bilo kojem trenutku poništiti trenutne rezultate gumbom Reset te krenuti ispočetka (Sl. 3.3).

U trenutku kada je završio s testiranjem, pritiskom na gumb Download korisnik može na svoje računalo preuzeti audiogram sa svojim rezultatima, te ih po potrebi proslijediti e-poštom ispitivaču. Tablicu je predviđeno kopirati te zalijepiti u e-poštu prije slanja.

Sl. 3.1 Prva stranica

Audiogram

Upute za koristenje:

Pred Vama je simulacija audiometra.
Ovaj test se koristi za određivanje praga sluha ispitanika za skup frekvencija.
Testni tonovi poredani su u dva stupca, "L" za lijevo uho i "R" za desno uho.
Najglasniji tonovi nalaze se na vrhu, a najtiši na dnu. Nemojte kretati od gornje prve trecćine tonova!
Za svaki stupac odredite najtiši zvuk koji možete čuti.
Krenite od frekvencije 1000Hz prema vecćim, te nakon toga od 1000 Hz prema manjim frekvencijama.
Na svakoj frekvenciji krenite od donje trećine i prenjite se pritiskanjem gumbi prema gore
sve dok ne registrirate zvuk. Zapamtite tu visinu. Zatim krenite od gore i spuštajte se pritiscima
gumbi prema dolje sve dok više ne čujete ton.
Vaša granica sluha bit će srednji od tog te prvotno zabiljezženog tona.
Označite taj ton i nastavite na sljedeću frekvenciju.
Rezultati su vrijednosti u odnosu na normalni prag sluha predstavljen s 0 dB.

L

dBHL												dBFS
86	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0
85	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-1
84	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-2
83	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-3
82	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-4
81	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-5
80	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-6
79	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-7
78	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-8
77	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-9
76	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-10
75	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-11
74	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-12
73	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-13
72	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-14
71	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-15
70	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-16
69	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-17
68	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-18
67	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-19
11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-75
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-76
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-77
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-78
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-79
6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-80
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-81
4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-82
3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-83
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-84
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-85
0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-86
-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-87
-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-88
-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-89
-4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-90
-5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-91
-6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-92
-7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-93
-8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-94
-9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-95
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	

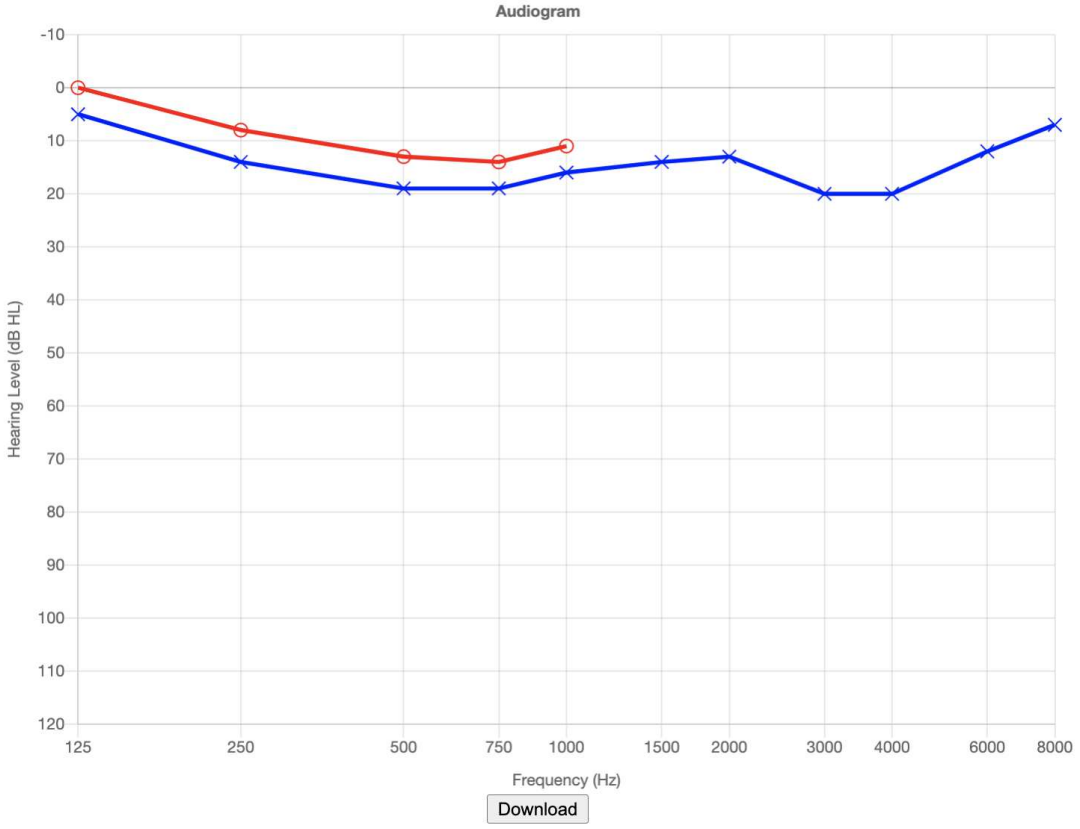
R

dBHL												dBFS
86	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0
85	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-1
84	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-2
83	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-3
82	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-4
81	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-5
80	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-6
79	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-7
78	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-8
77	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-9
76	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-10
75	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-11
74	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-12
73	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-13
72	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-14
71	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-15
70	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-16
69	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-17
68	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-18
67	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-19
11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-75
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-76
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-77
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-78
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-79
6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-80
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-81
4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-82
3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-83
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-84
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-85
0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-86
-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-87
-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-88
-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-89
-4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-90
-5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-91
-6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-92
-7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-93
-8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-94
-9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-95
	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	

Sl. 3.2 Test

Results

f	L (db SPL)	R (dB SPL)	L (dB HL)	R (dB HL)
125	27	22	5	0
250	25	19	14	8
500	23	17	19	13
750	21	16	19	14
1000	18	13	16	11
1500	15		14	
2000	12		13	
3000	14		20	
4000	15		20	
6000	17		12	
8000	19		7	



Sl. 3.2 Rezultati

2.2.1. Test

Test se izvodi puštanjem zvukova po nizu frekvencija. Frekvencije su redom: 125, 250, 500, 750, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 Hz kako nalaže ISO 226:2003 norma. Sam proces testiranja određen je ISO 8253-1:2010 normom. Odabrali smo metodu zagrađivanja (*bracketing method*) koja je opisana i na stranici testa (Sl. 3.2), a koja nalaže da ispitanik krene od frekvencije 1000 Hz i prvo reproducira jako tih ton, te se penje puštajući sve glasnije tonove sve dok ne dođe do tona koji čuje. Ispitanik mora zapamtiti na kojoj je visini čuo taj ton. Zatim radi ograđivanje od gore tako da na istoj toj frekvencije ponovi postupak, ali ovaj put krenuvši od tona koji sigurno čuje i spuštajući se sve dok više ne čuje. Na tonu kada više ne čuje, treba otići za jedan ton više, odnosno na zadnji koji je čuo. U tom trenutku uzima ton između trenutnog i prvog zapamćenog. To je njegova granica čujnost na toj frekvenciji i taj gumb treba ostaviti označen. Postupak treba nastaviti prema višim frekvencijama, a kada smo završili s najvišom, treba se ponovo vratiti na 1000 Hz te ponoviti postupak, ovaj put se krećući prema nižim frekvencijama. Test treba napraviti za oba uha. [10] [11]

2.2.2. Rezultati

Rezultati testa pokazuju relativan prag sluha, odnosno odmak vrijednosti praga sluha za pojedinačne frekvencije od normalne vrijednosti praga sluha za svaku od tih frekvencija. Te normalne vrijednosti poravnate su na liniji grafa od 0 dB HL. S obzirom da se za svaku frekvenciju očekuje druga razina tona na kojoj ju prvi put čujemo, frekvencije su na 0 dB HL sa dB SPL skale poravnate prema vrijednosti iz ISO 226:2003 norme. Za navedene frekvencije 125, 250, 500, 750, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 Hz ti iznosu su redom: 22, 11, 4, 2, 2, 1, -1, -6, -5, 5, 12 dB. [10]

Rezultati se prikazuju u grafu. Plava linija predstavlja rezultat za lijevo uho, a crvena za desno. To definira norma ISO 8253-1:2010 koja također preporuča korištenje zarotiranog plusa za označavanje odabrane točke na grafu za lijevo uho, odnosno kružića za desno.

(Sl, 3.2)

3. Tehničke specifikacije

3.1. Korištene tehnologije

Aplikacija je ostvarena u NodeJS okruženju. Na strani servera korišten je modul JS Express. Na klijentskoj strani korišten je HTML, CSS i JavaScript. Implementacija testova ostvarena je pomoću JavaScripta, a za grafički prikaz podataka korištena je JavaScript biblioteka ChartJS. Za dizajn aplikacije korišten je Bootstrap, dok je za deployment korišten Heroku.

3.1.1. Web tehnologije

HTML

HTML je kratica za HyperText Markup Language, što znači prezentacijski jezik za izradu web stranica. Temeljna zadaća HTML jezika jest uputiti web preglednik kako prikazati dokument. U aplikaciji imamo dva html dokumenta, za dvije stranice. Oba se dinamički dopunjavaju pokretanjem i korištenjem aplikacije pomoću DOM (Document Object Model) i JavaScript-a.

Model objekta dokumenta (DOM) je programsko sučelje za web dokumente. Predstavlja stranicu tako da programi mogu promijeniti strukturu, stil i sadržaj dokumenta. DOM predstavlja dokument kao čvorove i objekte; na taj način programski jezici mogu komunicirati sa stranicom. Web stranica je dokument koji se može prikazati u prozoru preglednika ili kao HTML izvor. U oba slučaja radi se o istom dokumentu, ali prikaz modela objekta dokumenta (DOM) omogućuje manipulaciju njime. Kao objektno orijentirani prikaz web stranice, može se mijenjati skriptnim jezikom kao što je JavaScript. [12]

JavaScript

JavaScript je skriptni programski jezik koji se izvršava u web pregledniku na strani korisnika.

V8 je naziv JavaScript motora koji pokreće Google Chrome. On uzima naš JavaScript i izvršava ga tijekom pregledavanja s Chromeom. V8 je JavaScript motor, dakle on analizira i izvršava JavaScript kod. Sve ostalo što sačinjava okolinu za izvršavanja našeg koda osigurava preglednik.

JavaScript motor neovisan je o pregledniku u kojem se nalazi. [13] [14]

Chart.js

Chart.js besplatna je JavaScript biblioteka za izradu grafikona temeljenih na HTML-u. To je jedna od najjednostavnijih knjižnica vizualizacije za JavaScript.[15]

Node.js

Node.js je okruženje za izvršavanje JavaScript koda koje se temelji na Chromeovoj V8 JavaScript mašini. Trenutna verzija node.js koja se može skinuti je 16.15.1.
Node instaliramo globalno na svom računalu. Na službenoj stranici dostupni su linkovi za skidanje paketa za sve najveće operacijske sisteme.
Nakon instalacije, iz komandne linije možemo koristiti naredbu `npm`.
To je skraćenica za node packet manager.
`npm` su zapravo dvije stvari: prije svega, to je online biblioteka za objavljivanje Node.js projekata otvorenog koda. Drugo, to je pomoćni program naredbenog retka za interakciju s navedenom bibliotekom koji pomaže u instalaciji paketa, upravljanju verzijama i upravljanju ovisnostima. Na npm-u su objavljenje sve Node.js knjižnice i aplikacije, koje se razvijaju svakodnevno. Ove aplikacije mogu se potražiti na https://www.npmjs.com/. Nakon što imamo paket koji želimo instalirati, instalirati ga možemo jednom naredbom naredbenog retka `npm install` iza koje slijedi naziv paketa. [16]

Express.js

Jedan od takvih paketa je i Express.js. To je minimalan i fleksibilan Node.js okvir web aplikacije koji pruža robustan skup značajki za web i mobilne aplikacije. Vrlo je jednostavno napraviti malu aplikaciju pomoću Express.js-a. Sve što je potrebno imati je datoteku proizvoljnog imena, zovimo ju index.js, te u njoj minimalno sljedeći kod:

```
const express = require("express");
const path = require("path");
const app = express();
const port = 3000;

app.listen(port, () => console.log(`Listening on port
${port}... ));
```

Prije nego što pokrenemo svoj server koji sluša na portu 3000, moramo napraviti novo okruženje za svoju aplikaciju, što je opisano u nastavku.

3.2. Arhitektura

Jednom kad imamo instaliran node.js, pozicioniramo se u direktorij u kojem ćemo izgraditi svoj projekt te pokrenemo naredbu `npm init`.

Tom naredbom node upravljač paketima unutar naše datoteke za projekt stvara novo virtualno okruženje te sljedeće datoteke:

Sl. 4.1 - datoteke inicijsliziranog node.js projekta

Datoteka package.json sadrži metapodatke o projektu i funkcionalne ovisnosti koje zahtijeva aplikacija dok je package.lock.json kreiran za zaključavanje ovisnosti projekta. On omogućuje budućim programerima da instaliraju iste ovisnosti.

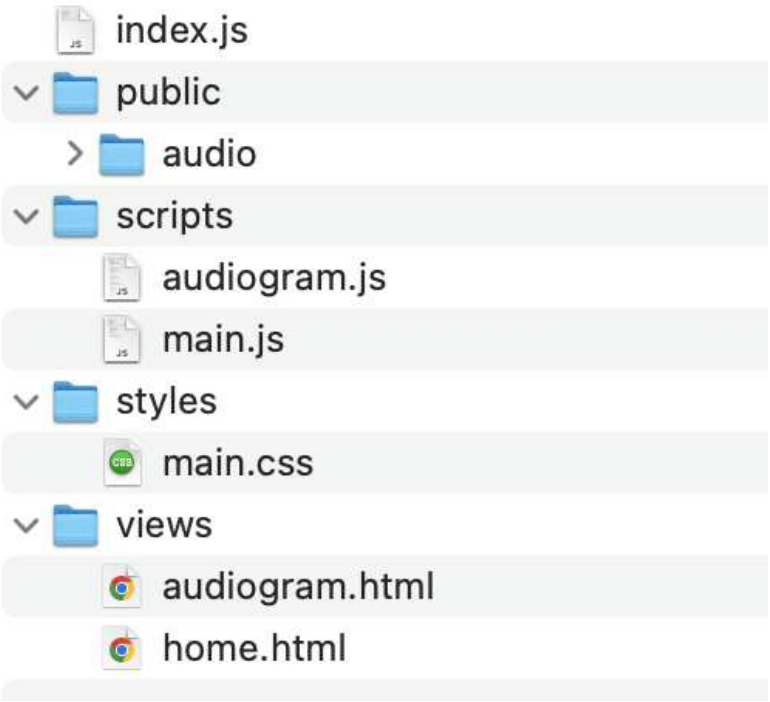
Sada možemo dodati spomenutu index.js datoteku. Tada ćemo dobiti sljedeću strukturu foldera:

Sl. 4.2 - Dodavanje index.js datoteke u direktorij

Svoju aplikaciju sada možemo pokrenuti pozicionirajući se u sučelje naredbenog retka, te upisujući narebu `node index.js`.

Ova naredba pokreće server na adresi http://localhost:3000/ ako smo za port postavili 3000, te ako upišemo tu adresu u internetsku tražilicu, pristupit ćemo svojoj aplikaciji.

Sada želimo svojoj aplikaciji dati izgled te funkcionalnost. Za to, osim već dodane datoteke index.js, dodajemo sljedeće direktorije i datoteke u njima (direktorij node_modules i spomenute package.json te package-lock.json ovdje ne prikazujemo):



Sl. 4.3 - Arhitektura aplikacije

Direktorij views sadrži html opis dviju stranica, direktorij scripts sadrži javascript datoteke koje daju funkcionalnost tim stranicama, a direktorij styles sadrži datoteku koja sadrži opis stilova za obje stranice.

U cijeli projekt potrebno je još dodati direktorij sa resursima potrebnim za prikaz željenog sadržaja. U ovoj aplikaciji to su zvučni zapisi u direktoriju audio koji se nalazi u public.

U nastavku je detaljno objašnjeno kako su unutar tih datoteka u kodu izvedene željene funkcionalnosti aplikacije.

4. Izvedba funkcionalnosti aplikacije

Slijedi detaljan opis izvedbe traženih funkcionalnosti aplikacije.

4.1. Kalibracija

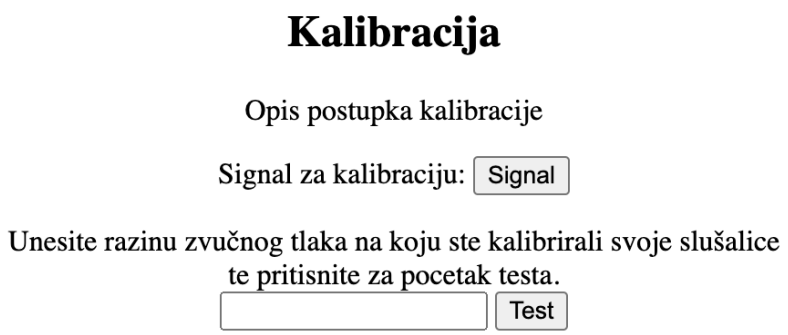
Kao što smo rekli, za izvedbu testa sluha potrebno je imati dobro kalibrirane slušalice.

Kalibracija je u kontekstu aplikacije izvedena kao crna kutija. Crna kutija odnosi se na činjenicu da sama aplikacija nema uvid u to je li i kako proveden proces kalibracije.

Detaljan opis kako izvesti kalibraciju dodan je kao veza na datoteku u samoj aplikaciji, a detaljan opis postupka kalibracije također se može naći u privitku ovog rada.

Ono što aplikacija pruža su detaljne upute za kalibraciju, signal za kalibraciju, te polje za unos razine zvučnog tlaka na koji smo kalibrirali svoje slušalice.

Kalibracijski signal je sinusni signal od 1 kHz V_{RMS} -6 dBFS.



Sl. 5.1 - Kalibracija

Kada osoba unese razinu zvučnog tlaka u za to predviđeno polje, te klikne na gumb Test, uneseni parametar šalje se na sljedeću stranicu, stranicu samog testa. To je izvedeno sljedećim kodom u datoteci home.html:

```
<form action="audiogram" method="get">
        <div>
             <label for="headphones">Unesite razinu zvučnog tlaka na
                        koju ste kalibrirali svoje slušalice</br>
                              te pritisnite za pocetak testa.
```

```
            </label>
        </div>
            <div>
                <input type="number" id="spl" name="spl">
                <input type="submit" value="Test">
            </div>
</form>
```

Atributi html elementa “form”, “action” i “method” označavaju redom: gdje će se poslati upisani parametri jednom kad se ta forma podnese, te koja http metoda se pritom koristi.

Ono što podnosi formu definirano je u elementu “input” kao atribut i vrijednost “type=’submit’” koji je u našem slučaju reprezentiran gumbom s tekstom “Test”.

Metodi “get” svojstveno je to da u url-u stranice definirane u atributu “action” šalje podatke o unesenim informacijama u obliku `name=value`, kao što možemo vidjeti u nastavku:

/audiogram?spl=72

Sl. 5.3 - prenošenje kalibracijskog parametra

gdje je atribut “name” s vrijednošću “spl” definiran u elementu “input” koji je tipa svojstvenog podatku koji upisujemo, u ovom slučaju “number”.

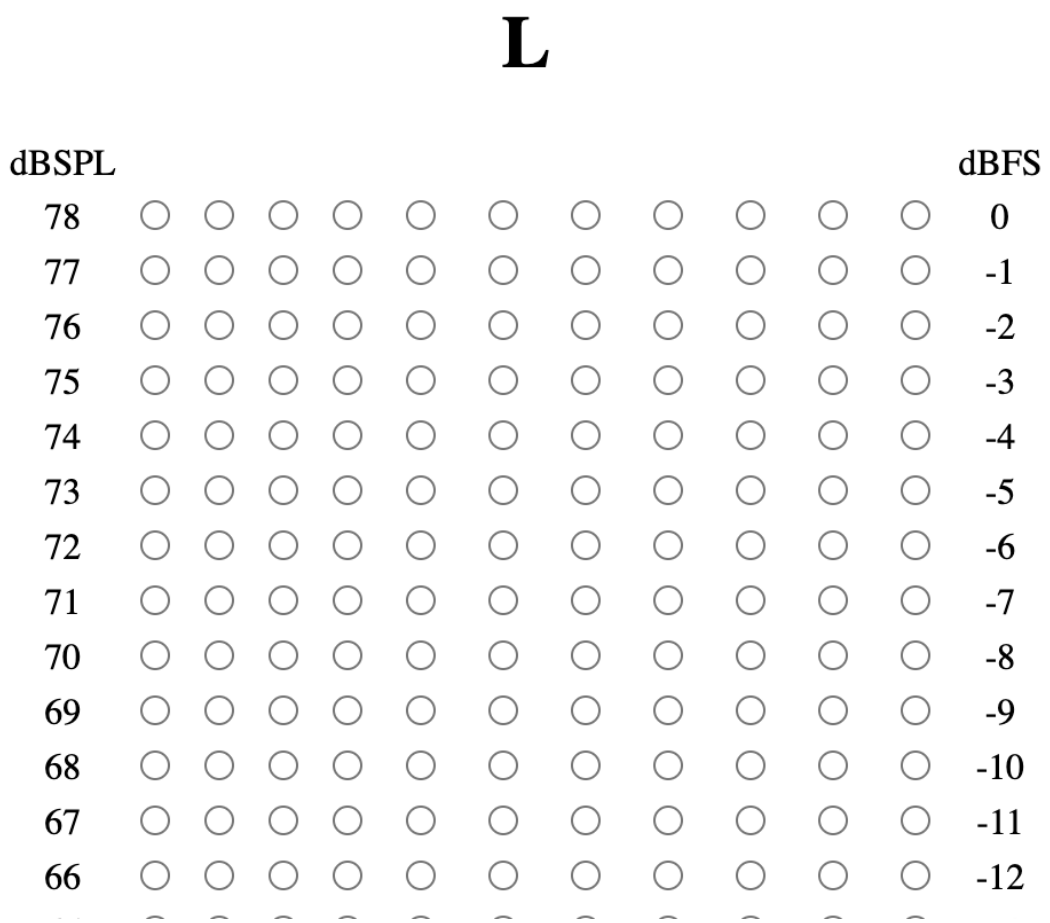
Jednom poslanu vrijednost razine zvučnog tlaka uzimamo iz url-a na sljedeći način:

```
function getCalibrationParameter() {
        const queryString = window.location.search;
        const urlParams = new URLSearchParams(queryString);
        spl = urlParams.get('spl');
        if (spl == '') {
            return 80;
        }
        return spl;
}
```

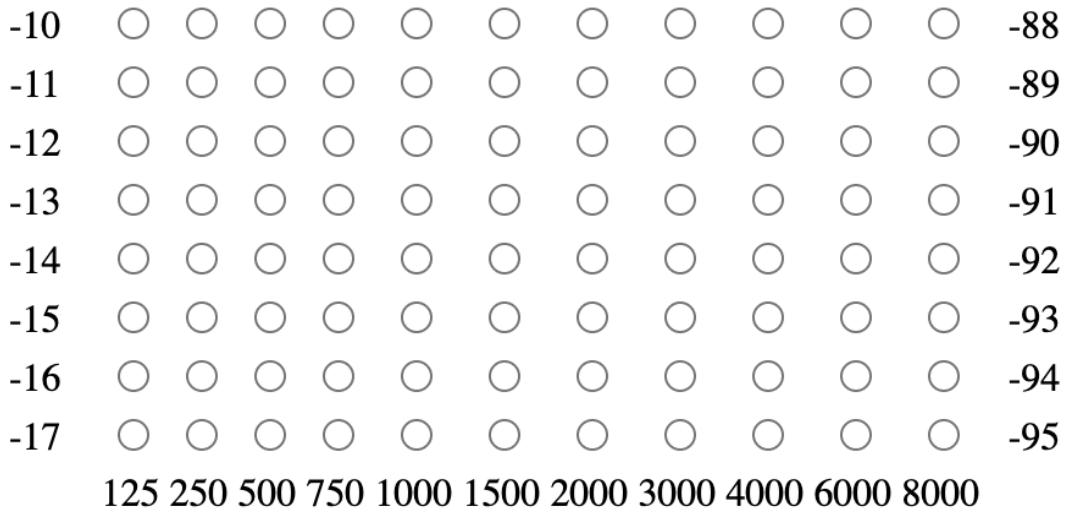
Treba primjetiti da, ukoliko parametar nije unesen, vraćamo pretpostavljaju vrijednost 80.

Nakon dohvaćanja vrijednosti parametra, trebamo ga iskoristiti. To radimo tako da pomičemu svoju dB SPL skalu tako da se unesena vrijednost poklapa sa -6 dB FS, jer znamo da je naš kalibracijski signal 1 kHz V_{RMS} -6 dB FS.

Sljedeća slika prikazuje mrežu tonova različitih frekvencija i razina. S desne strane je iznos amplitude u dB FS, a s lijeve strane je poravnata s tim iznos dB SPL. Ako je osoba kalibrirala slušalice na na primjer SPL = 72, onda znamo da ta glasnoća broj odgovara broju -6 na dBFS.



`



Sl. 5.4 - Interaktivno sučelje za puštanje tonova

4.2. Puštanje testnih zvukova

Kada osoba izvodi test, pritišće gumbe koji reproduciraju signal određene frekvencije i amplitude. Ti signali su stereo zvukovi što znači da se u tablici za testiranje lijevog uha oni puštaju samo na lijevoj slušalici, a u tablici za testiranje desnog uha puštaju se samo na desnoj slušalici.

Stereo audio

Općenito, stereo audio datoteke, kao što su stereo MP3 i WAV datoteke, sadrže informacije o lijevom i desnom kanalu koje govore lijevom i desnom zvučniku kada treba gurnuti i povući zrak. [17]

WAV datoteka

U ovoj aplikaciji koristimo wav datoteke za zapis tona. WAV, poznat po WAVE (Waveform Audio File Format), podskup je Microsoftove specifikacije Resource Interchange File Format (RIFF) za pohranjivanje digitalnih audio datoteka. Bio je i jest jedan od standardnih formata audio zapisa.

[18]

Glasnoća

Standardna rezolucija wav datoteke je 16 bita. To znači da datoteka može spremiti $2^{16} = 65536$ različitih vrijednosti. Ako prebacimo to u dB FS ljestvicu, znajući da ona počinje od 0, dobijemo da je zadnja vrijednost na db FS jednaka 94 dB, prema formuli:

$$20 \cdot log_{10}(65535) = 96\, dBFS$$

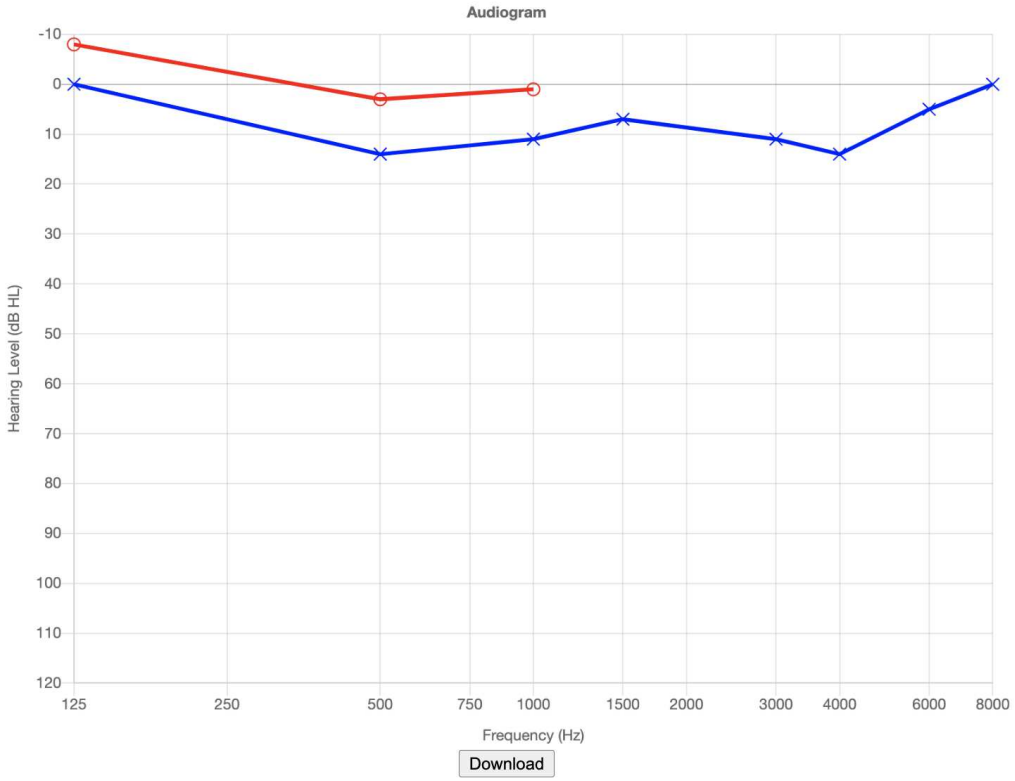
Faktor 20 ovdje je prisutan jer je snaga zvuka kvadrat intenziteta, te eksponent 2 vadimo ispred logaritma.

4.3. Rezultati testa

Kada osoba pritišće gumbe i testira svoj sluh, rezultati se dinamički prikazuju u tablici, te na grafu.

Results

f	L (db SPL)	R (dB SPL)	L (dB HL)	R (dB HL)
125	22	14	0	-8
250				
500	18	7	14	3
750				
1000	13	3	11	1
1500	8		7	
2000				
3000	5		11	
4000	9		14	
6000	10		5	
8000	12		0	



Sl. 5.5 - Izvedba rezultata testova

Tablica i graf izvedeni su manipulacijom DOM-a. Tablica dohvaća atribut “id” stisnutog gumba, te u ćeliju za određenu frekvenciju upisuje vrijednost glasnoće:

```
let idSPL = id + 'SPL';

        let tableCellSPL = document.getElementById(idSPL);

        tableCellSPL.innerText = dBSPL.toString();
```

Graf je izveden pomoću Chart.js biblioteke JavaScript koja ima ugrađene stilove grafova. Ono što je potrebno da bismo dobili graf jest u html datoteci, u ovom slučaju audiogram.html dodati element “canvas”.

```
<div>
      <canvas id="audiogram"><canvas>
</div>
```

Zatim moramo u JavaScript datoteci dizajnirati svoj graf:

```
var chart;
function createGraph() {
        var ctx = document.getElementById("audiogram").getContext("2d");
        chart = new Chart(ctx, {
             type: "line",
             data: {
             …
             }
        …
        }
…
}
```

Funkcija Chart ima parametre kao što su type, data i slično kojima definiramo izgled svog grafa. [19]

Po završetku testa korisnik klikom na gumb “Download” može skinuti pdf grafa na svoje računalo.

To je izvedeno tako da je u datoteci audiogram.html definiran gumb:

```
<input type="button" value="Download" onclick="download('Audiogram')">
```

a u datoteci audiogram.js definirana je funkcija download:

```
function download(name) {
        var a = document.createElement("a");
        a.href = chart.toBase64Image();
        a.download = name;
```

```
        a.click();
}
```

Stvoren je html element “a” koji označava poveznicu, te je na njegov atribut “href” koji označava destinaciju poveznice cijeli chart enkodiran pomoću funkcije `toBase64Image()`.

Sheme kodiranja Base64 obično se koriste kada postoji potreba za kodiranjem binarnih podataka koje je potrebno pohraniti i prenijeti preko medija koji su dizajnirani za rad s ASCII. Time se osigurava da podaci ostaju netaknuti bez izmjena tijekom transporta.

4.4. Puštanje na server i održavanje

Jedan od zahtjeva aplikacije bio je da ona bude dostupna na mreži svakome.

Za to smo odabrali platformu Heroku. Heroku je platforma koja omogućuje izgradnju, pokretanje i rad aplikacija u potpunosti u oblaku.[20]

Za postavljanje aplikacije na server potrebno je prvo staviti aplikaciju u projekt na GitLab, zatim napraviti profil na Heroku stranici te stvoriti novu aplikaciju.

Aplikaciji je u korijenski direktorij potrebno dodati Procfile koji specificira naredbe koje aplikacija izvršava pri pokretanju.

Aplikaciju je potrebno povezati s našim GitLab projektom. Za to je potrebno u CI/CD postavkama GitLab-a dodati dvije varijable. HEROKU_API_KEY koja kao vrijednost sadrži ključ profila na Heroku. Taj ključ možemo naći u Heroku postavkama profila. Druga varijabla HEROKU_APP kao vrijednost sadrži me aplikacije. [21]

Aplikacija će u svom životnom ciklusu doživljavati nove verzije. Kako bi svaka promjena bila što bezbolnija, za kraj smo dodali .gitlab-ci.yml datoteku. Ta datoteka opisuje GitLabu da na svaku push naredbu na naš direktorij projekta na server odmah stavi novu verziju projekta. [22] Aplikacija je sada pokrenuta na adresi https://audiogram-fer.herokuapp.com.

Zaključak

Za izradu aplikacije koja poput ove zadire duboko u određenu domenu, u ovom slučaju zvuka, potrebno je skupiti određeno znanje iz te domene kako bi se moglo razumjeti što i kako napraviti. Trenutna verzija aplikacije izrađena je na temelju proučavanja odgovarajuce literature i normi iz područja audiometrije i tehnički točno obavlja svoju funkciju Audiograma. Primijenjeni princip kontinuirane integracije i kontinuiranog razvoja (CI/CD) omogućuje vrlo lako nadograđivanje bilo kakvih funkcionalnosti ili estetike te vjerujem da će u budućnosti ova aplikacija doživjeti bolje korisničko iskustvo te novo ruho.

Literatura

[1] Hansen, C. H., Goelzer, B., Sehrndt, G. *Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control*. Geneva: World Health Organization, 2001.

[2] Howard, David M., Angus, Jamie A. B. *Acoustics and psychoacoustics*. 4. izdanje. Oxford: Elsevier Ltd, 2009.

[3] Acoustics.no, *Sound Theory*, Noise reduction solution company. Poveznica: https://acoustics.no/sound-measurement/sound-theory; pristupljeno 10. svibnja 2022

[4] Pulkki, V., Karjalainen, M. *Communication acoustics*. Finland: Wiley, 2015.

[5] Jambrošić K., *Osnovne značajke zvuka,* Sveučilište u Zagrebu FER. Poveznica: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/GLAK01_Osnovne_znacajke_zvuka_2021-22.pdf; pristupljeno 15. svibnja 2022

[6] Jambrošić K., *Sluh (2. poglavlje doktorske dizertacije)*, Sveučilište u Zagrebu FER, 2004.

[7] Moore, B. J. *Psychology of hearing*. Academic Press, 1994.

[8] Bauman N. *Understanding the Difference Between Sound Pressure Level (SPL) and Hearing Level (HL) in Measuring Hearing Loss*, Center for hearing loss help. Poveznica: https://hearinglosshelp.com/blog/understanding-the-difference-between-sound-pressure-level-spl-and-hearing-level-hl-in-measuring-hearing-loss/; pristupljeno 28.svibnja 2022

[9] *dBFS,* Wikipedia. Poveznica: https://en-m-wikipedia-org.translate.goog/wiki/DBFS?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=hr&_x_tr_hl=hr&_x_tr_pto=op,sc; pristupljeno 20. svibnja 2022

[10] ISO 8253-1:2010

[11] ISO 226:2003

[12] *HTML,* Wikipedia. Poveznica: https://hr.wikipedia.org/wiki/HTML; pristupljeno 1. lipnja 2022

[13] *JavaScript,* Wikipedia. Poveznica: https://hr.wikipedia.org/wiki/JavaScript; pristupljeno 1. lipnja 2022

[14] *The V8 JavaScript engine,* Node.js. Poveznica: https://nodejs.dev/learn/the-v8-javascript-engine; pristupljeno 1. lipnja 2022

[15] https://www.w3schools.com/js/js_graphics_chartjs.asp

[16] *Node.js,* Node.js. Poveznica: https://nodejs.org/en/; pristupljeno 1. lipnja 2022

[17] Hoffman C. *Mono vs. Stereo Sound*, Blackghostaudio. Poveznica: https://www.blackghostaudio.com/blog/mono-vs-stereo-sound-the-difference-explained-with-audio-examples; pristupljeno 28.svibnja 2022

[18] *What is a WAV file?*, FILEFORMAT. Poveznica: https://docs.fileformat.com/audio/wav/; pristupljeno 12.svibnja 2022

[19] *Chart.js,* Chart.js. Poveznica: https://www.chartjs.org/docs/latest/; pristupljeno 1. lipnja 2022

[20] *Heroku,* HEROKU. Poveznica: https://www.heroku.com/what; pristupljeno 1. lipnja 2022

[21] Barros S. *How do I deploy my code to Heroku using GitLab CI/CD?*, Medium. Poveznica:https://medium.com/swlh/how-do-i-deploy-my-code-to-heroku-using-gitlab-ci-cd-6a232b6be2e4; pristupljeno 29.svibnja 2022

Sažetak

APLIKACIJA ZA AUDIOMETRIJSKO ISPITIVANJE

Prije subjektivnih ispitivanja u području psihoakustike i kvalitete audiosustava važno je dobiti informaciju imaju li ispitanici zdrav sluh.

Razvijena je web aplikaciju za audiometrijsko ispitivanje.

Korisnik rješavanjem testa određuje vlastiti prag čujnosti za određeni spektar frekvencija. Korisnik testira oba uha te je predviđeno da aplikacija upotrebljava stereo slušalice.

Predviđena je mogućnost kalibracije slušalica, te je moguće preuzeti rezultate testa na vlastito računalo.

Aplikacija je ostvarena u Node.js okruženju s modulom Express.js Na klijentskoj strani korišten je HTML, CSS i JavaScript. Implementacija testova je ostvarena pomoću JavaScripta, a grafički prikaz podataka je napravljen koristeći JavaScript biblioteku Chart.JS.

Aplikaciji je moguće pristupiti na adresi https://audiogram-fer.herokuapp.com.

KLJUČNE RIJEČI

audiometrija, audiogram, zvuk, sluh, web, aplikacija

Summary

AUDIOMETRIC TEST APPLICATION

Before subjective examinations in the field of psychoacoustics and audio system quality, it is important to obtain information on whether subjects have healthy hearing.

A web application for audiometric testing has been developed. By solving the test, the user determines his own threshold of audibility for a certain frequency spectrum. The user tests both ears and is intended to use stereo headphones. The possibility of calibrating the headphones is provided, and it is possible to download the test results on your own computer.

The application was implemented in the Node.js environment with the Express.js module. On the client side, HTML, CSS and JavaScript were used. The tests were implemented using JavaScript, and a graphical representation of the data was created using the JavaScript library Chart.JS.

Visit the application on the web: https://audiogram-fer.herokuapp.com.

KEY WORDS

audiometry, audiogram, sound, hearing, threshold, web, app

Privitak

Upute za kalibraciju

Kalibracija se vrši kako bi se identificirao izlazni napon pojačala za slušalice koji odgovara određenoj razini zvučnog tlaka (SPL) na izlazu slušalica.

Potrebna oprema:

- Računalo za reprodukciju snimljenih zvučnih datoteka
- Vanjska zvučna kartica s izlazom za slušalice (npr. Focusrite Scarlett 2i2 ili slično)
- Opcionalno: distributivno pojačalo za slušalice (npr. Samson S-phone ili slično), potrebno samo ako zvučna kartica ne može postići dovoljno visoku razinu napona na izlazu za slušalice
- Voltmetar/multimetar s rasponom mjerenja AC RMS napona ispod 1 V
- Slušalice (Sennheiser HD650, ili slične visoke kvalitete, otvorene slušalice za uši)

Postupak kalibracije:

Slušalice moraju biti priključene na izlaz za slušalice zvučne kartice, slika 1 lijevo.
Ako postupak kalibracije pokaže da izlaz za slušalice ne pruža dovoljno visoku razinu napona da bi se postigla odgovarajuća razina zvučnog tlaka, pojačalo za slušalice mora biti spojeno na izlaz zvučne kartice, a slušalice se zatim utaknu u pojačalo, (Sl. 1 desno).

Sl. 1 - Postava za reprodukciju preko slušalica

Kalibracija se vrši izvođenjem sljedećih koraka:

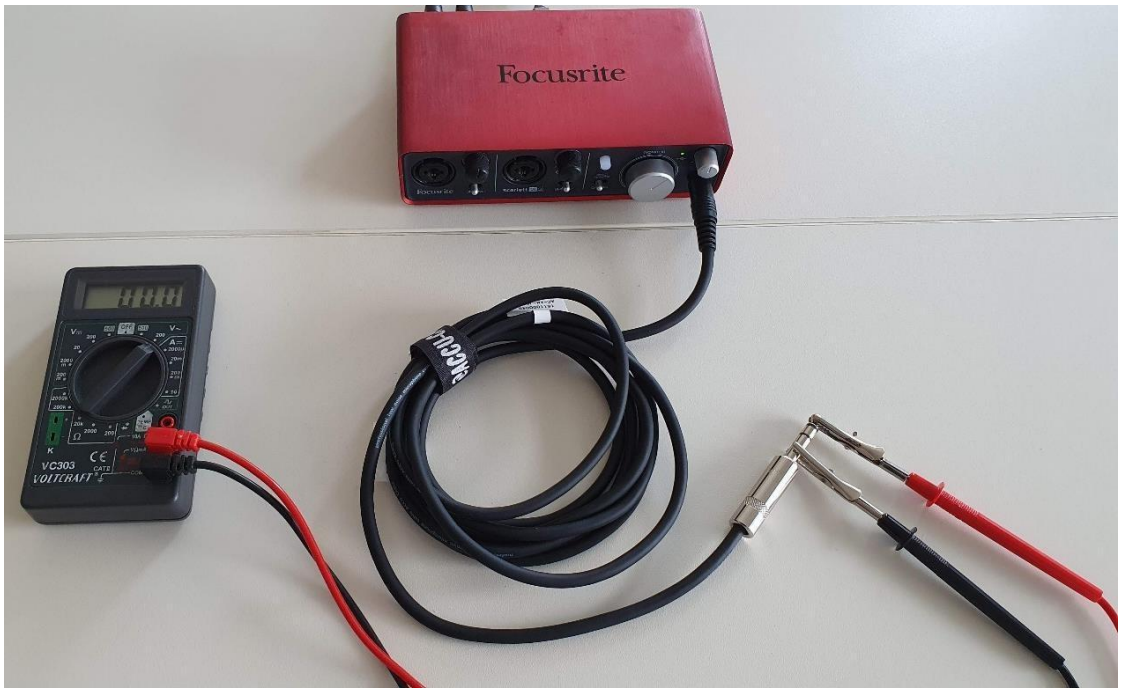
- Osjetljivost slušalica SPLosjetljivost mora biti poznata iz tehničkih specifikacija. Sennheiser HD650 ima osjetljivost od 103 dB (1 V_{RMS}) na 1 kHz. To znači da će slušalice proizvoditi razinu zvučnog tlaka od 103 dB na 1 kHz kada se na njih primijeni napon od 1 V_{RMS} . Druge slušalice mogu imati drugačiju osjetljivost (npr. AKG K240 MKII imaju osjetljivost od 104 dB pri 1 V_{RMS}). Kalibracijski signal $SPL_{calibration}$ je sinusni signal od 1 kHz snimljen pri SPL 94 dB. Budući da moramo postići isti SPL sa našim slušalicama, napon koji se mora primijeniti na priključak za slušalice može se izračunati pomoću sljedećeg izraza:

$$V_{RMS} = \frac{10^{\frac{SPL_{calibration}}{20}}}{10^{\frac{SPL_{sensitivity}}{20}}} = \frac{10^{\frac{94}{20}}}{10^{\frac{103}{20}}} = 0.355\ mV \tag{7}$$

Ako se koriste bilo koje druge slušalice, njihova odgovarajuća osjetljivost se mora unijeti u izraz iznad.

- Pokrenite reprodukciju kalibracijske audio datoteke s računala.
- Kako biste podesili pojačanje izlaza za slušalice, prvo spojite balansirani (stereo) 1/4" TRS muški do 1/4" TRS muški audio kabel za izlaz za slušalice (Sl. 2).
- Zatim spojite multimetar na drugi kraj kabela (Sl. 3).
- Spojite negativnu sondu (obično crni kabel spojen na COM port voltmetra) na navlaku TRS konektora (posljednji cilindar) i pozitivna sonda (obično crveni kabel spojen na V port voltmetra) na vrh TRS konektora. Voltmetar mora biti postavljen na mjerno područje “AC napon”.
- Okrećite gumb pojačanja na izlazu za slušalice dok se na voltmetru ne pojavi napon prikazuje vrijednost izračunatu u koraku 2 (355 mV ili bilo koji napon koji izračunate za svoj određeni model slušalica).
- Kada je pojačanje postavljeno, NE MIJENJATE više gumb pojačanja na izlazu za slušalice dok SATP testovi su završeni. Ako gumb pojačanja (ili bilo koje druge postavke pojačanja u audio lanac) slučajno promijenite, ponovite postupak kalibracije.
- Odspojite TRS na TRS audio kabel i priključite slušalice. Spremni ste za test!

Sl. 2 - Balansirani 1/4" TRS muški na 1/4" TRS muški audio kabel



Sl. 3 - Podešavanje mjerenja izlaznog napona slušalica