

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Cízková** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **435007**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra počítačů**
Studijní program: **Otevřená informatika**
Studijní obor: **Softwarové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

On-line prostředí pro simulaci tinnitu

Název diplomové práce anglicky:

Web-based Environment for Tinnitus Simulation

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s problematikou tinnitu. Prozkoumejte existující metody demonstrace tinnitu, které se běžně využívají v komunikaci mezi lékaři a pacienty. Navrhněte on-line nástroj pro simulaci tinnitu, který poběží na HTML 5. Nástroj necht syntetizuje typické zvuky tinnitu a umožní uživatelům měnit parametry této syntézy v reálném čase a anonymně sdílet tyto parametry přes URL. Nástroj otestujte běžnými metodami testování použitelnosti (usability engineering).

Seznam doporučené literatury:

- [1] Møller, A. R. (2011). Epidemiology of tinnitus in adults. In Textbook of tinnitus (pp. 29-37). Springer, New York, NY.
- [2] David Temperley: The Cognition of Basic Musical Structures. MIT Press.
- [3] Nielsen, J. (1994). Usability engineering. Elsevier.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Adam Sporka, Ph.D., Katedra počítačové grafiky a interakce

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **04.02.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2020**

doc. Ing. Adam Sporka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačů

On-line prostředí pro simulaci tinnitu

Kateřina Cízlová

Vedoucí: doc. Ing. Adam Sporka, Ph.D.
Obor: Otevřená informatika
Studijní program: Softwarové inženýrství
Květen 2019

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce Adamu Sporkovi za odborné vedení, cenné rady a vstřícnost při vypracovávání této práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškerou použitou literaturu.

V Praze, 21. května 2019

Abstrakt

Tato práce se zabývá v poslední době velmi rozšířeným onemocněním, které se nazývá tinnitus. Především se zaměřuje na zvuky, které pacienti trpící tinnitem slyší. Cílem práce je prozkoumat existující metody pro demonstraci tinnitu, které se běžně využívají v komunikaci mezi lékaři a pacienty. Dále pak vytvořit webovou aplikaci, která bude umožňovat pacientům vytvářet zvuky, které slyší ve své hlavě. Bude možné vybírat zvuky z různých kategorií, měnit jejich parametry a kombinovat je. Výsledný zvuk lze anonymně sdílet přes URL. Po vytvoření je aplikace podrobena uživatelskému testování kvůli odhalení případných nedostatků.

Klíčová slova: tinnitus, zvuk, sluch, webová aplikace, JavaScript

Abstract

This thesis deals with the disease called tinnitus. It focuses primarily on the sounds that patients with tinnitus hear. The aim of the thesis is to explore existing methods for demonstrating tinnitus, which are commonly used in communication between doctors and patients. Then, create a web application that allows patients to create sounds they hear in their heads. It will be possible to select sounds from different categories, change their parameters and combine them. The resulting sound can be anonymously shared via URL. Once created, the application is subjected to user testing to detect any deficiencies.

Keywords: tinnitus, sound, hearing, web application, JavaScript

Obsah

Zadání práce	1	4 Realizace	25
1 Úvod	1	4.1 Tvorba zvuků v JavaScriptu	26
1.1 Zvuk	2	4.2 Kód aplikace	34
1.2 Sluch	3	4.3 URL	36
1.3 Tinnitus	5	4.4 Uživatelské rozhraní aplikace . . .	38
2 Současný stav	8	5 Testování	41
2.1 Kliniky v České republice	8	5.1 Úvod	41
2.2 Metody pro zjištění zvuku tinnitu	9	5.2 Testování s lidmi, kteří trpí tinnitem	42
2.3 Léčba tinnitu	10	5.2.1 Podmínky pro testování	42
2.4 Aplikace	11	5.2.2 Use cases	43
3 Návrh	13	5.2.3 Průběh testování	50
3.1 Zvuk tinnitu	13	5.2.4 Závěr	52
3.2 Rozbor zvuků	14	5.3 Testování použitelnosti	52
3.3 Generování zvuků	18	5.3.1 Podmínky pro testování	52
3.4 URL	23	5.3.2 Use cases	53
3.5 Uživatelské rozhraní aplikace . . .	23	5.3.3 Průběh testování	53
		5.3.4 Závěr	56

6 Úprava aplikace po testování	57
7 Závěr	61
A Uživatelská příručka	63
B Obsah CD	65
C Literatura	66

Obrázky

3.1 Graf sinusové vlny vytvořený v programu PureData	15	3.12 Rozhodovací strom pro zvuk cikády	23
3.2 Graf vlny ve tvaru pily vytvořený v programu PureData	15	3.13 Rozhodovací strom pro zvuk tlukotu srdce	23
3.3 Graf časového průběhu bílého šumu (vytvořeno v programu PureData)	16	4.1 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – konstantní pískání (jeden tón)	27
3.4 Graf časového průběhu fialového šumu (vytvořeno v programu PureData)	17	4.2 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – konstantní pískání (dva tóny)	27
3.5 Graf časového průběhu červeného šumu (vytvořeno v programu PureData)	17	4.3 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – pulzující pískání (jeden tón)	28
3.6 Graf časového průběhu zvuku cikád (vytvořeno v programu PureData)	18	4.4 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – pulzující pískání (dva tóny)	28
3.7 Rozhodovací strom pro určení počtu tónů pískání	20	4.5 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – bzučení	29
3.8 Detailní popis rozhodovacího stromu při určování výšky pískání	21	4.6 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – oznamovací tón používaný v Austrálii a Spojených státech amerických	29
3.9 Rozhodovací strom pro výběr druhu pískání	22	4.7 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – oznamovací tón používaný ve Spojeném království	30
3.10 Rozhodovací strom pro oznamovací tóny	22	4.8 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – oznamovací tón používaný v Evropě a Africe	30
3.11 Rozhodovací strom pro syčení a hučení	22		

4.9 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – zvuk při ladění televize	31	5.1 Úvodní strana aplikace s označeným textem popisujícím aplikaci	44
4.10 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – syčení	32	5.2 Úvodní strana s označeným odkazem, pomocí něhož se lze dostat do sekce s nápovědou	44
4.11 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – hučení	32	5.3 Úvodní strana aplikace s označenou položkou „nápověda“ v horním menu	45
4.12 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – cikáda	33	5.4 Sekce „nápověda“ s označeným textem popisujícím ovládání aplikace	45
4.13 Propojení komponent v rozhraní AudioContext – tlukot srdce	34	5.5 Úvodní strana s označeným odkazem, pomocí něhož se lze dostat do sekce pro vytvoření zvuku	46
4.14 Webová aplikace, záložka „o aplikaci“	39	5.6 Menu aplikace s označenou položkou „vytvořit zvuk“	46
4.15 Webová aplikace, záložka „vytvořit zvuk“ s úvodní stranou	39	5.7 Sekce pro vytvoření zvuku s označeným tlačítkem „vytvořit zvuk“	46
4.16 Webová aplikace, záložka „vytvořit zvuk“ s oknem pro nastavení parametrů zvuku cikády	39	5.8 První okno, které se zobrazí po kliknutí na tlačítko „vytvořit zvuk“ s označenými tlačítky pro odpověď	47
4.17 Webová aplikace, záložka „vytvořit zvuk“ s přidáním zvuky	40	5.9 První okno, které se zobrazí po kliknutí na tlačítko „vytvořit zvuk“ s označenou šipkou pro pokračování	47
4.18 Webová aplikace, záložka „nápověda“	40	5.10 Druhé okno, které se zobrazí po kliknutí na tlačítko „vytvořit zvuk“ s označenou šipkou pro vrácení se zpět	47
4.19 Webová aplikace, tlačítko pro návrat na domovskou stránku	40		
4.20 Webová aplikace, možnost zvolení jazyka stránky	40		

5.11 Okno, umožňující výběr kategorie zvuku s označeným seznamem kategorií	48	6.4 První okno při tvorbě zvuku s označenou šipkou, před kliknutím na tlačítko s odpovědí	59
5.12 Příklad okna, zobrazeného při tvoření zvuku, ve kterém je nutné zodpovědět dotaz, s označenými tlačítky pro odpověď	48	6.5 První okno při tvorbě zvuku s označenou šipkou, těsně po kliknutí na tlačítko s odpovědí	59
5.13 Příklad okna, zobrazeného při tvoření zvuku, ve kterém je možné upravit zvuk, s označenými posuvníky	48	6.6 První okno při tvorbě zvuku s označenou šipkou, která půl vteřinu po kliknutí na tlačítko s odpovědí změnila barvu na původní	59
5.14 Poslední okno, které se zobrazí při vytváření zvuku, s označeným tlačítkem PLAY	49	6.7 První okno při tvorbě zvuku s označeným textem, který byl změněn	60
5.15 Poslední okno, které se zobrazí při vytváření zvuku, s označeným posuvníkem pro nastavení sterea . .	49		
5.16 Poslední okno, které se zobrazí při vytváření zvuku, s označeným tlačítkem pro přidání vytvořeného zvuku	49		
5.17 Stránka s přidaným zvukem hučení, s označeným tlačítkem „+“ pro přidání dalšího zvuku	50		
6.1 Přidání textu do posledního okna zobrazeného při tvorbě zvuku	57		
6.2 Přidané zvuky pískání a hučení, s označenými defaultními hlasitostmi, kde hučení je hlasitější, než pískání	58		
6.3 Detailní popis pojmu „URL adresa“ v sekci „návod“	58		

Tabulky

3.1 Parametry, které lze měnit u pískání	19
3.2 Parametry, které lze měnit u bzučení	19
3.3 Parametry, které lze měnit u oznamovacích tónů	19
3.4 Parametry, které lze měnit u syčení	19
3.5 Parametry, které lze měnit u hučení	20
3.6 Parametry, které lze měnit u zvuku cikád	20
3.7 Parametry, které lze měnit u tlukotu srdce	20
4.1 Indexy použité pro kategorie zvuků a zvuky samotné	37
4.2 Názvy parametrů pro zaznamenání do URL adresy	37

Kapitola 1

Úvod

Tato práce se zabývá v současnosti velmi rozšířeným postižením sluchu zvaným tinnitus, neboli pískání v uších. Jedná se o poměrně rozšířené onemocnění, v současné době trpí tinnitem přibližně každý pátý člověk. Tinnitus ovlivňuje kvalitu života ve všech oblastech. Lidem, kteří jím trpí, dělá problém soustředit se, často trpí depresi a úzkostmi.

Cílem práce je zmapovat existující metody pro zjištění zvuku tinnitu, které se v současné době využívají. Dále pak vytvořit webovou aplikaci, která pacientům umožní vytvořit zvuky, které slyší ve své hlavě. Ty bude možné vybírat z několika kategorií, měnit jejich parametry a kombinovat je. Vytvořený zvuk bude možné sdílet pomocí URL adresy. Aplikace by měla pomoci pacientům vytvořit zvuk jejich tinnitu, což by mohlo vést k pochopení tohoto onemocnění od lidí, kteří tinnitem netrpí a zároveň pomoci lékařům při následné léčbě.

V první části popíši některé pojmy nezbytné k pochopení práce, jako je například zvuk, tón nebo šum. Zároveň stručně vysvětlím pojem sluch a rozeberu nejnámější vady sluchu. Na konci této části se budu věnovat tinnitu samotnému, konkrétně jeho příčinám a různým rozdělům. V další části popíši současné postupy pro diagnózu a léčbu tinnitu. Zároveň rozeberu, jak se k tomuto problému staví kliniky v České republice, a na závěr zmíním některé aplikace, které se tímto problémem zabývají. Poté vytvořím návrh konečné aplikace. Práci si rozdělím na podproblémy a pro každý naleznu, a detailněji vysvětlím, návrh pro jeho řešení. Následující část se bude zabývat samotnou realizací. Stručně popíši, jak jsem navržené podproblémy realizovala a nastíním, co dělají nejdůležitější třídy a skripty. Až bude práce hotová, podrobím ji uživatelskému testování, které mi pomůže odhalit případné nedostatky aplikace. Toto testování bude rozděleno na dvě části, přičemž v první bude testování provedeno na lidech trpících tinnitem, kteří následně vyplní dotazník, ohledně toho, jestli se jim podařilo v aplikaci vytvořit zvuk jejich tinnitu. V druhé části bude provedeno klasické testování použitelnosti na

lidech, kteří tinnitus nemají. V předposlední kapitole shrnu případné chyby a popíši, jak jsem postupovala při jejich opravě. V poslední kapitole shrnu celou práci a nastíním možná vylepšení.

1.1 Zvuk

Definice zvuku. Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, které vnímáme sluchem. Definice zvuku závisí na sluchových vlastnostech člověka, které jsou individuální. Obecně se uvádí, že frekvence, které je člověk schopen vnímat, leží v intervalu přibližně 16 Hz až 20 kHz. Mechanické vlnění s frekvencí menší než 16 Hz je infrazvuk, který používají k dorozumívání například velryby nebo sloni. Frekvenci vyšší než 20 kHz má ultrazvuk, který jsou schopni vnímat například delfíni nebo netopýři. Mechanické vlnění mimo tento frekvenční rozsah většina lidí není schopná sluchem vnímat. [Lep08] [Ash15]

Definice tónu. Za tóny považujeme zvuky, jejichž grafem závislosti intenzity na čase je periodická funkce. Základní vlastnosti tónu jsou:

- výška – určena především jeho frekvencí,
- délka – jak dlouho tón zní,
- síla – určena amplitudou,
- barva – závisí na hudebním nástroji, který tón vydává. [Lep08]

Definice šumu . Pokud mají zvuky neperiodický průběh, vnímáme je jako hluk. Mezi hluky řadíme například praskot, skřípání, vrzání, nebo právě šum. [Lep08] Šum může mít různé „barvy“. Barvy šumu se určují podle jejich frekvenčního spektra ve vztahu k spektru světla s podobnými rysy. Spektrum světla se pohybuje od červené s nejnižší frekvencí, k modré s nejvyšší frekvencí. Stejně tak šum s nízkou frekvencí bude červený, s vysokou modrý, a obdobně u dalších barev. [She13]

Bílý šum. Podobně jako u bílého světla, bílý šum vzniká náhodným zkombinováním všech frekvencí zvukového spektra. Zároveň ve všech stejně širokých frekvenčních pásmech, je stejná i energie šumu. [She13]

Červený šum. Energie červeného šumu výrazně klesá s narůstající frekvencí. V důsledku toho má červený šum mnohem větší energii u nižších frekvencí, než u vyšších. Pro lidské ucho zní červený šum podobně jako bílý šum, jen je mnohem hlubší. Červený šum je také často popisován jako hřmění nebo zvuk vodopádu. [She13] [Cas13c]

Někdy je také nazýván hnědým šumem. Toto pojmenování ale na rozdíl od červeného šumu není podle barvy světla, ale podle vědce Roberta Browna, který v 19. století objevil Brownův pohyb (náhodný pohyb částic). [She13] [Cas13b]

Růžový šum. Růžový šum se svými vlastnostmi nachází mezi bílým a červeným šumem. Čemuž odpovídá i jeho název. [She13]

Růžový šum, stejně jako bílý obsahuje všechny frekvence slyšitelné lidským uchem (20 – 20000 Hz), ale liší se rozdělením energie mezi tyto frekvence. Bílý šum má stejnou energii ve všech frekvencích, zatímco energie růžového šumu se s rostoucí frekvencí snižuje. Konkrétně o polovinu při každé další oktávě. Jelikož v každé následující oktávě je frekvence dvojnásobná oproti předchozí, lidské ucho vnímá tento šum se stejnou energií ve všech oktávách, proto člověku zní stejně jako bílý šum. [She13] [Cas13c]

Fialový šum. Fialový, nebo také purpurový, šum má opačné vlastnosti než červený šum. Jeho energie s narůstající frekvencí roste. V důsledku toho má fialový šum mnohem větší energii u vyšších frekvencí, než u nižších. [She13]

Modrý šum. Modrý šum se svými vlastnostmi nachází mezi bílým a fialovým šumem. Má opačné vlastnosti než růžový šum. Energie modrého šumu se zvyšuje s rostoucí frekvencí. Konkrétně dvojnásobně s každou další oktávou. Modrý šum stejně jako fialový zdůrazňuje vysoké frekvence, ale pokles amplitudy u nižších frekvencí není tak výrazný jako u fialového šumu. Díky tomu zní jako vysoké syčení. [She13] [Cas13a]

1.2 Sluch

Sluch je jedním z pěti smyslů. Sluchem se rozumí schopnost vnímat zvuky. Člověk je schopen vnímat zvuky v rozmezí 16 Hz až 16kHz.

Ucho. Ucho je smyslový orgán, který má na starost sluch a rovnováhu. Je složeno ze třech částí. Ze zevního ucha, středního ucha a vnitřního ucha. Každá má trochu jinou funkci.

Zevní ucho se skládá z ušního boltce, zvukovodu a bubínku, který spojuje zevní ucho se středním uchem. Boltce zachytává zvukový signál a vede ho skrz zvukovod dovnitř bubínku. Zvukovod má tvar písmena „S“, je dlouhý přibližně 2,5 cm a v průměru měří přibližně 0,6 cm. Jeho vnější část je chrupavčitá a vnitřní kostěná. U mladých lidí má vnější chrupavčitá část kruhový tvar, u starších potom oválný. Zvukovod je také pokrytý kůží, v níž se nacházejí mazové žlázy, které produkuje ušní maz. [OJ] [Kre13] [Sid19]

Střední ucho začíná bubínkem, který ukončuje zvukovod, dále se v něm nacházejí tři malé kosti, takzvané sluchové kůstky (kladívko, třmínek a kovadlinka), dva příčně pruhované svaly a Eustachova trubice. Bubínek určuje hranici mezi středním a zevním uchem. Je tvořen tenkou oválnou membránou, o průměru přibližně 10 cm a tloušťce 0,1 mm. Sluchové kůstky vedou zvuk z bubínku k tekutinám ve vnitřním uchu. Zároveň působí jako páky a zvyšují tlak zvuku u vstupu do hlemýždě, který je součástí vnitřního ucha. Eustachova trubice bývá dlouhá přibližně 3,5 až 4,5 cm a spojuje střední ucho s nosem. Jejím úkolem je umožnit, aby tlak ve středním uchu byl stejný jako tlak vzduchu v okolním prostředí. Většinou je zavřená, otevírá se jen při polykání nebo žvýkání. [OJ] [Kre13] [Sid19]

Vnitřní ucho se nachází v takzvaném kostěném labyrintu a skládá ze dvou částí. Z hlemýždě, který zajišťuje sluch a z vestibulárního aparátu, který je zodpovědný za vnímání rovnováhy. Hlemýžď je stočená trubička s dvěma a půl závití. Je rozdělen na tři části, přičemž jedna z těchto částí obsahuje Cortiho orgán, ve kterém se nachází vlastní smyslové buňky. Vestibulární aparát se skládá z vejčitého a kulovitého váčku a slouží k detekci polohy a pohybů celého těla i hlavy. [OJ] [Kre13] [Sid19]

Poškození sluchu. Stejně jako ostatní smysly u člověka, i sluch může být poškozen. Může se například jednat o poškození z důvodu dlouhodobé zátěže hlukem nebo o poškození způsobené úrazem či stářím.

Zánět zevního zvukovodu. Jedná se o zánět kůže a podkoží zevního zvukovodu. Nejčastěji je způsoben bakteriemi, které do ucha vniknou při koupání ve znečištěné vodě. Projevuje se bolestmi ucha, případně otokem v oblasti boltce. [Dž18]

Zánět středouší. Jedná se o infekci nebo zanícení sliznice dutiny bubínkové. Nejčastěji začíná jako onemocnění horních dýchacích cest. Infekce poté přestoupí z nosohltanu přes Eustachovu trubici do středního ucha. Projevuje se pícháním v uších, popřípadě zhoršením sluchu. [Dž18]

Autoimunitní choroba vnitřního ucha. Jedná se o náhlou poruchu sluchu. Projevuje se nedoslýchavostí, tlakem v uchu a výjimečně bolestmi ucha. [Dž18]

Menierova choroba. Jedná se o onemocnění, které postihuje vnitřní ucho. Příčina tohoto onemocnění není známa. Projevuje se zaléháním uší, závratěmi, tlakem v uchu a tinnitem. [Dž18]

Nedoslýchavost. Nedoslýchavost může být způsobena stářím nebo nadměrným hlukem. Je způsobená vyčerpáním vláskových buněk, které následně zanikají a tím dochází k trvalému zhoršení sluchu. [Dž18]

Tinnitus. Pacient trpící tinnitem slyší ve své hlavě či uších nepříjemný zvuk, bez přítomnosti fyzického zdroje zvuku. Jedná se o symptom, nikoliv onemocnění. Většina onemocnění sluchu popsaných výše, se může projevat mimo jiné právě tinnitem. [Dž18] [Reč13]

1.3 Tinnitus

Tato část se zabývá zvoněním v uších, neboli tinnitem. Jedná se o poměrně rozšířené onemocnění, tinnitus postihuje každého pátého člověka. [kM18] Tinnitus ovlivňuje kvalitu života pacienta, který se kvůli němu může těžko soustředit, může trpět depresemi, úzkostmi, častými výkyvy nálad a v krajních případech může vést až k sebevraždě. [MLDK10] [Ass18]

Definice. Pojem tinnitus pochází z latinského slova „tinnire“, což v překladu znamená zvonit. [Har01] Projevuje se tím, že pacient slyší zvuky bez přítomnosti vnějšího zvukového podnětu. Zvuk, který pacient slyší, se nepodobá ani hudbě, ani hlasu (jako je tomu například u zvukových halucinací). Pacienti nejčastěji popisují zvuk, který slyší jako zvonění, hučení, šumění nebo pískání. Přičemž hučení nebo šumění nejčastěji slyší pacienti s onemocněním zvukovodu nebo středního ucha, zatímco pískání je typický symptom chorob vnitřního ucha [MLDK10] [Dž18]

Rozdělení. Existují hlavní dva typy tinnitu, subjektivní a objektivní. Většina pacientů trpí subjektivním tinnitem, tedy zvuk, který slyší, nemá žádný

vnější zvukový podnět, a je pro okolí neslyšitelný – jedná se o fantom. Často doprovází choroby v zevním, středním nebo vnitřním uchu. Vzácně se objevuje i objektivní tinnitus, který je způsoben zvuky generovanými v těle a vedenými k uchu. Může být způsoben špatným průtokem krve nebo svalovými kontrakcemi. Zvuk objektivního tinnitu je na rozdíl od subjektivního změřitelný. [MLDK10] [kM18] [Dž18]

Dále můžeme tinnitus rozdělit na kompenzovaný a dekompenzovaný. Toto rozdělení je hodně subjektivní, záleží zde na tom, jak tinnitus vnímá sám pacient, a jak ovlivňuje kvalitu jeho života. Tinnitus je dekompenzovaný, pokud pacientovi, který jím trpí, zásadně zhoršuje kvalitu života, je nepříjemný a nelze si na něj zvyknout. Za kompenzovaný tinnitus považujeme tinnitus, na který si pacient dokáže zvyknout a nijak výrazně neovlivňuje kvalitu jeho života. [Dž18]

Kromě těchto dvou uvedených rozdělení se dá tinnitus rozdělit mnoha jinými způsoby. Například na přechodný a trvalý nebo na akutní a chronický. Zjednodušeně lze říci, že akutní tinnitus je přechodný a klasifikuje se tak tinnitus, který trvá kratší dobu než 6 měsíců, a chronický tinnitus je trvalý a označuje se tak tinnitus trvající déle než šest měsíců. [Reč13]

Příčiny. Tinnitus je symptom spojený s řadou dalších zdravotních problémů. Jsou známy různé příčiny tinnitu, v mnoha případech však přesná příčina nikdy není nalezena. [MLDK10] [kM18]

Poškození sluchu. Výskyt tinnitu u pacienta je nejčastěji zaznamenán zároveň se ztrátou sluchu způsobenou věkem nebo hlukem. [MLDK10]

- Poškození sluchu způsobené věkem neboli presbyakuze. Sluch se často s rostoucím věkem zhoršuje. Problémy obvykle začínají s šedesátým rokem života. Poškození sluchu je často zaznamenáno u obou uší pacienta. Poškození sluchu způsobené věkem částečně vysvětluje, proč je tinnitus tolik rozšířený u seniorů (Tinnitem trpí 12 – 15 % seniorů starších 65 let.). [MLDK10] [Ass18]
- Poškození sluchu způsobené hlukem. Pokud je člověk vystaven hlasitým zvukům, může být poškozen jeho sluch, což může vést k tinnitu. Poškození může být dočasné či trvalé, také je možné, že bude poškozen sluch jen u jednoho ucha pacienta. [MLDK10] [Ass18]

Traumatické poranění mozku (TBI). Traumatické poranění mozku je jednou z hlavních příčin tinnitu u vojáků a veteránů. Podle ministerstva pro záležitosti veteránů Spojených států až 60 % případů tinnitu u vojáků a

veteránů bylo způsobeno mírným až těžkým poraněním mozku. Zároveň u 53 % lidí, kteří prodělali poranění mozku, se objevil tinnitus. [MLDK10] [Ass18]

Zranění hlavy nebo krku. Závažné poranění hlavy nebo krku může poškodit nervy, svaly nebo průtok krve. Takováto zranění často způsobí tinnitus jen v jednom uchu. [kM18] [Ass18]

Ototoxické léky. Tinnitus může vzniknout také jako vedlejší účinek některých léků na předpis. Tinnitus je ale v tomto případě často jen dočasný. [MLDK10] [Ass18]

Kapitola 2

Současný stav

V této kapitole popíši současné postupy pro diagnózu a léčbu tinnitu. Zároveň rozeberu, jak se k tomuto problému staví kliniky v České republice, a na závěr zmíním některé aplikace, které se tímto problémem zabývají.

2.1 Kliniky v České republice

Oslovila jsem několik klinik a doktorů zabývajících se tímto tématem sídlících v Praze a Českých Budějovicích s prosbou o konzultaci. Z více než deseti dotázaných odpověděla kladně jen asi čtvrtina. Je možné, že téma tinnitus není pro lékaře příliš zajímavé, jelikož se nejedná o chorobu, ale spíše symptom, který doprovází nějaké jiné onemocnění. Také je možné, že jelikož se jedná o poměrně novodobý problém, většina starších doktorů si s ním příliš neví rady. Nakonec jsem se setkala, a toto téma konzultovala, s doktorem s dlouholetou praxí v oboru otorhinolaryngologie. Zároveň jsem měla možnost podívat se jak takové vyšetření a léčba probíhá na jedné pražské klinice.

Každý z lékařů, se kterými jsem měla možnost téma tinnitus rozebrat měl na tento problém trochu jiný pohled a přistupoval k němu jiným způsobem. Zajímavé zjištění pro mě bylo, že jsem se na jedné konzultaci dozvěděla, že se tinnitus léčit nedá, na další naopak, že je to možné. Stejně tak se liší i metody diagnózy a léčby. Přesto existují určité zavedené a často používané metody, které jsou podrobněji popsány v dalších kapitolách.

2.2 Metody pro zjištění zvuku tinnitu

Měření subjektivního pocitu je vždy poněkud obtížné, zvláště když každý vnímá tinnitus trochu odlišně. V současné době doktoři zjišťují, jaký zvuk pacienti slyší několika metodami. Zjištěné informace obvykle skládají dohromady, což vede k přesnějšímu určení zvuku, který pacient slyší. Přesto ale zatím neexistuje způsob, pomocí něhož by se dal zjistit přesný zvuk, který pacient slyší. [Ass18] [Moo14]

Popis pacientem. Jednou z metod je popsání zvuku pacientem. Doktor pacienta požádá o přirovnání zvuku, který slyší, k nějakému známému zvuku. Poté zjišťuje, jestli je zvuk spíše vysoký nebo nízký, dále jestli je hlasitý nebo tichý. [Moo14]

Přirovnání k výšce tónu. Další častou a trochu přesnější metodou je přirovnání výšky zvuku tinnitu k výšce jednoduchého tónu. Doktor pustí pacientovi jednoduchý tón, který je charakterizován průběhem sinusové funkce. Poté zvyšuje a snižuje frekvenci tónu a požádá pacienta, aby určil, při jaké frekvenci byl zvuk nejpodobnější zvuku jeho tinnitu. Obvykle ale pacienti neslyší pouze jednoduchý tón, proto ani tato metoda často není dostačující. Často sice pomocí ní lze zjistit výšku tinnitu, ale ne jak přesně zvuk zní. Navíc se stává, že pacient slyší více tónů a každý z tónů má jinou výšku, v tomto případě je pro pacienty určit výšku zvuku tinnitu obtížné. Podobná metoda je také přirovnávání hlasitosti tinnitu k hlasitosti jednoduchého tónu. Zde se postupuje stejně jako u měření výšky, jen se místo frekvence upravuje hlasitost tónu. [Ass18] [Moo14]

Přirovnání k výšce tónu. Poslední z nejčastějších metod měření tinnitu je vygenerování několika nejčastěji popisovaných zvuků, které pacienti trpící tinnitem slyší (například bzučení, šumění, pískání), ty se poté pustí pacientovi, který je požádán o vybrání zvuku, který je nejpodobnější zvuku, který slyší. [Cen13] Zkombinováním této metody s dvěma předchozími metodami lze dosáhnout přibližné představě o tom, jak tinnitus zní, jelikož však každý člověk trpící tinnitem slyší trochu něco jiného, ve většině případů pomocí nich nelze stoprocentně zjistit přesný zvuk tinnitu konkrétního pacienta.

Audiometrie. Kromě výše popsaných metod také pacienti často podstupují takzvané audiometrické vyšetření sluchu. Během toho vyšetření jsou pacientovi

pouštěny do sluchátek zvuky o různých frekvencích. Zvuk o každé frekvenci postupně zvyšuje svou hlasitost a pacient má za úkol zmačknout tlačítko ve chvíli, kdy zvuk uslyší. Díky tomuto vyšetření je lékař schopný určit rozsah poruchy sluchu u pacienta. Zároveň tím také zjistí, jestli je tinnitus, kterým pacient trpí, způsoben vadou uší nebo problémem, který s ušima vůbec nesouvisí. Podle toho se také dále rozhodne, jak a kde bude pacient léčen.

2.3 Léčba tinnitu

Jak už jsem zmínila výše, tinnitus není nemoc, ale symptom. Pokud se tedy podaří zbavit pacienta choroby, která mu tinnitus způsobuje, zanikne tím zároveň i tinnitus samotný. Ne vždy je to ale možné, proto se někdy místo léčby příčin přistupuje k léčbě následků. V současné době neexistuje žádný vědecky prokázaný lék, na léčbu většiny případů tinnitu, existuje však několik zavedených terapií, které mohou zmírnit jeho účinky. [Reč13] [Ass16]

Dieta. Neexistují důkazy, které by dokazovaly, že jezením nebo naopak vynecháním určitých potravin lze vyléčit tinnitus. Zdravá strava však může zvýšit průtok krve, zvýšit hladinu energie nebo zlepšit psychiku člověka. A tyto důsledky potom mohou mít kladný dopad na tinnitus. [Ass16] Zároveň někteří pacienti pozorovali zlepšení tinnitu po snížení obsahu soli a tuků v jídle. [Mey09]

Doplňky stravy. Jak bylo zmíněno, jednou z příčin tinnitu je poškození sluchu. Existují studie, které dokazují, že užíváním vitamínů, které podporují správnou funkci nervů, jako je například hořčík nebo vitamín B12, lze zmírnit poškození sluchu a s tím i tinnitus. [Mey09]

Další vitamín, jehož užíváním lze zmírnit tinnitus je ginkgo biloba. Při studii, při které byla pacientům s onemocněním srdce podána ginkgo biloba, bylo zaznamenáno okamžité zvýšení průtoku krve. To mimo jiné může vést ke zmírnění tinnitu. [Mey09] [Hil18]

Maskování tinnitu. Jedná se o zařízení, která vydávají zvuky, často bílý nebo růžový šum, které slouží k maskování tinnitu. Pacient díky těmto zvukům nevnímá zvuk svého tinnitu. Tento způsob tinnitu neléčí, jen dočasně zmírňuje nepříjemné pocity pacienta, který si díky němu může od tinnitu „odpočinout“.

[Ass16] Pacienti obvykle využívají tato zařízení při usínání, jelikož ticho zvyšuje intenzitu tinnitu. [Mey09]

Léky. Nejčastěji používané léky jsou psychoaktivní látky a antidepresiva. Tyto léky sice neléčí tinnitus jako takový, ale mohou pomoci s depresemi, kterými pacienti často trpí a zmírnit stres a úzkosti pacienta. [Ass16] [Mey09]

Chirurgická léčba. K chirurgické léčbě tinnitu se obvykle přistupuje jen tehdy, pokud byla zjištěna příčina tinnitu. Jedná se například o odstranění nádoru, operaci středního ucha nebo operaci na cévách. Operace, při které je za účelem potlačení tinnitu vložen do vnitřního ucha kochleární implantát, je zatím pouze ve stádiu klinických pokusů. [Reč13]

Psychologická léčba. Tato léčba neléčí samotný tinnitus, pacienti, kteří tinnitem trpí, však mohou podstoupit kognitivně-behaviorální terapii, která pomáhá tinnitus utlumit nebo relaxační terapii, při které se pacienti učí jak uvolnit svaly v oblasti hlavy nebo jak potlačit vnímání nepříjemného zvuku. [Reč13]

2.4 Aplikace

V současné době trpí tinnitem čím dál více lidí. Rozrůstá se proto i počet aplikací, zabývajících se tímto tématem. Tyto aplikace se dají rozdělit do dvou hlavních kategorií. Aplikace pro zjištění zvuku tinnitu a aplikace pro maskování tinnitu.

Aplikace zabývající se generováním zvuku tinnitu nejčastěji generují pouze jednoduchý tón, u kterého lze měnit jeho frekvenci. Například aplikace zvaná „Online Tone Generator“¹.

Aplikace zabývající se maskováním tinnitu obvykle generující zvuky jako je bílý šum, barevné šumy, zvuky moře a deště. Mezi tyto aplikace patří například „Relax Noise 3 – Tinnitus Mask“² nebo „SimplyNoise“³. Existují však i aplikace, u kterých lze vybírat z různých zvuků a melodií, ty mezi sebou kombinovat a vytvořit tak unikátní zvuk, který bude maskovat tinnitus

¹<https://www.szynalski.com/tone-generator/>

²<https://play.google.com/store/apps/details?id=de.xipa.rnoise>

³<https://www.simplynoise.com/appstore/>

konkrétního pacienta. Jednou z těchto aplikací je například „Neural Symphony“⁴.

Existují také sluchadla, která generují zvuky, které mají překrýt tinnitus. Některé firmy vyrábějící tato sluchadla dokonce po dlouhodobém nošení zaručují částečné nebo úplné vyléčení. Jak jsem se ale dozvěděla na konzultaci v jedné pražské klinice, tato sluchadla jsou velmi drahá a i přesto, že jejich zvuk opravdu tinnitus překryje, nikomu z pacientů této kliniky, kteří si tato sluchadla zakoupili a dlouhodobě je nosili tinnitus nevyvimizel.

Dále jsou k dispozici aplikace, které sice s tinnitem souvisí, nijak však nepomáhají v jeho léčbě a dají se využít i jako prevence nebo řešení jiných problémů se sluchem. Mezi ně se řadí například aplikace, které pomocí mikrofonu zařízení dokáží změřit jak hlučné je prostředí, ve kterém se uživatel právě nachází, nebo aplikace, které uživateli umožňují otestovat jeho sluch. Poslední kategorií jsou aplikace takzvané informativní aplikace, které sice úzce souvisí s tinnitem, nejsou však moc interaktivní a nemají co dočinění se zvukem. Uživateli však poskytují informace týkající se týkají tinnitu, ten tak může být schopen lépe porozumět problému. Jedna z těchto aplikací je například „Tinnitus Relief“⁵

⁴<https://mynoise.net/NoiseMachines/neuromodulationTonesGenerator.php>

⁵https://play.google.com/store/apps/details?id=nu.heka.tinnitusrev2&hl=en_US

Kapitola 3

Návrh

V této kapitole je popsán návrh výsledné aplikace. Před samotnou tvorbou aplikace bude nutné zjistit, jak lidé trpící tinnitem popisují zvuky, které slyší. Z nich poté vytvořit množinu zvuků, které pacienti opakovali nejčastěji a s ní dále pracovat. Poté bude nutné rozebrat zvuky z této množiny z fyzikálního hlediska a vytvořit návrh, podle kterého je pak bude možné generovat. V další části bude navržen průchod aplikací. Je nutné dbát přitom na to, aby zvuk mohl vytvořit i člověk, který nemá žádné hudební vzdělání. Nakonec bude vytvořeno uživatelské rozhraní webové aplikace, ve kterém bude možné vytvořit přesně takový zvuk, který uživatel trpící tinnitem slyší. Bude možné vybírat z různých kategorií, zvuky skládat dohromady a upravovat jejich parametry. Nakonec bude vytvořen návrh zpracování možnosti sdílení zvuků přes URL.

3.1 Zvuk tinnitu

Tinnitus je často popisován jako zvonění nebo pískání v uších. Ve skutečnosti ale každý pacient slyší trochu něco jiného. Existuje mnoho zvuků tinnitu, které se mohou měnit nebo i prolínat. Je těžké určit přesný zvuk tinnitu, protože tento zvuk není měřitelný a popis pacienta je v tuto chvíli jediný způsob ke zjištění toho, jak jeho tinnitus doopravdy zní. [Cen13] Nakonec jsem pomocí rešerše provedené v knihách a na internetu, a zároveň díky pacientům, kteří mi byli ochotni popsat zvuk svého tinnitu, vytvořila krátký seznam nejčastějších pojmů, kterými je zvuk tinnitu popisován.

- bzučení
- šumění
- syčení
- pískání
- dunění
- skřípání
- hučení
- praskání
- rachot
- zvuk při ladění televize
- zvuky cikád
- oznamovací tón

Zvuk, který pacienti slyší, se také dělí na konstantní, kdy pacient slyší nepřetržitý zvuk, a pulzující, kdy pacient slyší pulzující zvuk obvykle v rytmu tlukotu svého srdce. [MLDK10] [kM18] [Ass18] [Cen13]

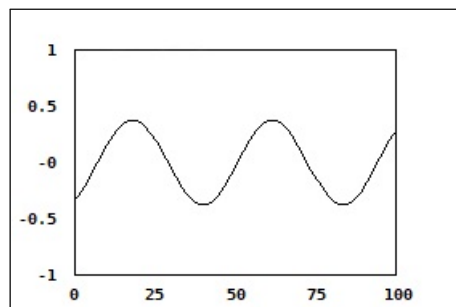
3.2 Rozbor zvuků

Nyní je nutné z popisů zvuků pacienty, které jsou vypsány v předchozí kapitole, vybrat množinu zvuků, které budou dále syntetizovány a ze kterých si bude moci uživatel při generování zvuku vybírat. Tyto zvuky dále rozebrat z fyzikálního hlediska a pro každý navrhnout způsob, jakým ho bude možné vytvořit.

Při výběru konečné množiny dat (zvuků) pro testování jsem se inspirovala zvuky z minulé kapitoly. Nakonec jsem vybrala pískání, bzučení, oznamovací tón, syčení, hučení, zvuk při ladění televize, zvuk cikád a tlukot srdce.

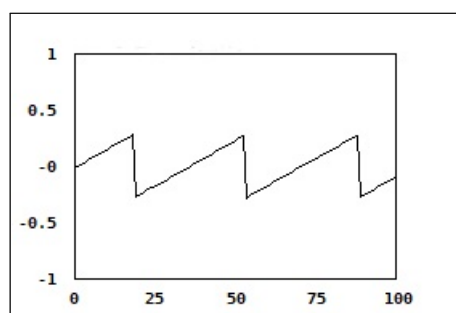
Pískání. Pískání lze vytvořit pomocí vysokého jednoduchého tónu. Tóny se liší mimo jiné tvarem kmitů (vln), podle toho, jak vlna kmitá, lze rozdělit signál do několika kategorií: sinusová vlna, čtvercová vlna, trojúhelníková vlna a pila. Sinus je dokonalý harmonický pohyb. Tento zvuk je podobný například

písknutí nebo zvuku zobcové flétny. [OJ] Pokud je tedy cílem vytvořit zvuk, který zní jako pískání, použijí tón se sinusovým tvarem vlny, který je svým zvukem pískání nejpodobnější.



Obrázek 3.1: Graf sinusové vlny vytvořený v programu PureData

Bzučení. Pro dosažení zvuku, který bude znít jako bzučení, použijí opět jeden tón. Na rozdíl od pískání však nepoužijí tón se sinusovým tvarem kmitů, ale s vlnami ve tvaru pily. Pila má nespojitý, lomený a nesymetrický pohyb. Barva tohoto tónu je velmi ostrá a průrazná. Čím budou fáze náběhu a poklesu strmější, tím bude tón ostřejší. [OJ]



Obrázek 3.2: Graf vlny ve tvaru pily vytvořený v programu PureData

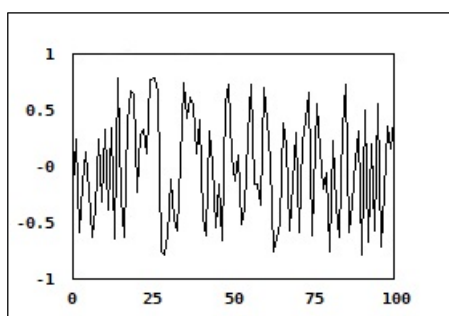
Oznamovací tón. Oznamovací tón je signál odeslaný do telefonu oznamující, že je možná výměna a lze zahájit telefonní hovor. Ve většině zemí se jedná o nepřetržitý zvuk, který se skládá z jednoho až tří tónů o určité frekvenci. Zvuk oznamovacího tónu se v závislosti na oblasti liší. cite:21 Pro účely této práce rozdělím oznamovací tón do tří kategorií.

- Tón, který je používán v Austrálii a Spojených státech amerických. Skládá se ze dvou tónů, kdy jeden má frekvenci 440 Hz a druhý 350 Hz. [Uni10]

- Tón typický pro Spojené království. Skládá se opět ze dvou tónů, jejich frekvence se ale nepatrně liší. První tón má frekvenci 450 Hz a druhý 350 Hz. [Uni10]
- A jako poslední, tón používaný ve většině Evropských států a v Africe. Zde se jedná o jediný tón, který má frekvenci 425 Hz. [Uni10]

Pro realizaci těchto zvuků použijí stejnou metodu, která je popsána v sekci pískání, jen v některých případech použijí místo jednoho tónu dva, a nastavím jim konkrétní frekvenci.

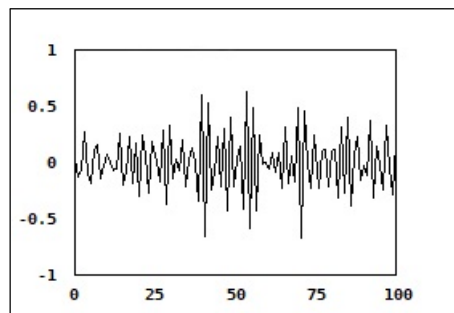
Zvuk při ladění televize. Zvuk, který je slyšet při ladění televize se také nazývá statický šum. Tento zvuk lze napodobit použitím bílého šumu.



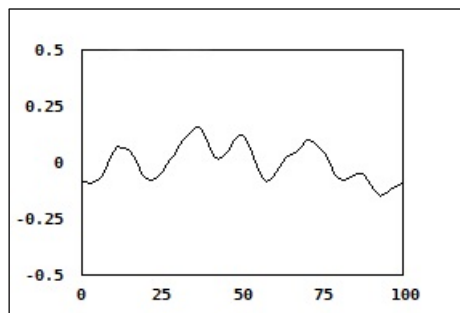
Obrázek 3.3: Graf časového průběhu bílého šumu (vytvořeno v programu Pure-Data)

Syčení a hučení. Jak je zmíněno v kapitole zabývající se šumy, různé šumy mohou být popsány pomocí barev. Fialový a modrý šum je přirovnáván k vysokému syčení, červený a šum je naopak přirovnáván k hřmění nebo hučení vodopádu. Barevný šum lze vytvořit pomocí bílého šumu a filtrů. Filtry umožňují, aby některé signály procházely, zatímco ostatní blokuje. Existují dvě možnosti, jak pomocí bílého šumu a filtru vytvořit šum barevný. První metodou je použít dva filtry, přičemž jeden filtr bude typu dolní propust, který propouští jen frekvence nižší, než zvolená frekvence a všechny vyšší potlačuje, a druhý bude typu horní propust, který naopak propouští frekvence vyšší a nízké potlačuje. [Kre13] Druhou metodou je použít jen jeden filtr, a to band-pass filtr neboli pásmovou propust. Tento filtr umožňuje projít signálů zvoleného frekvenčního rozsahu. Tento rozsah se nazývá propustné pásmo a jeho velikost šířka pásma. Bude tedy blokováno (zeslabeno) jakékoliv vyšší nebo nižší frekvence než zvolený frekvenční rozsah. U toho filtru je potřeba zvolit dva parametry, takzvanou střední frekvenci, která určuje průměrnou hodnotu frekvencí, které budou propuštěny a faktor kvality, který určuje, jak velká bude šířka pásma. Čím je faktor kvality vyšší, tím je propustné pásmo

užší a projde tak méně signálů s nežádoucími frekvencemi, naopak čím je tento faktor nižší, tím je pásmo širší a propustí více frekvencí. [Hea17] Při rozhodování jaké frekvence nechat filtry propouštět při jaké barvě šumu, jsem využila jejich pojmenování podle barvy světla. Různé frekvence světla vnímáme jako různé barvy. Například frekvence v rozmezí přibližně od 430 do 480 THz vnímáme jako červenou a v rozmezí 670 – 750 THz jako fialovou. [Sid19] Frekvence, které je člověk schopen vnímat, leží v intervalu přibližně 16 Hz až 16 kHz. Spektrum viditelného světla je tedy přibližně 430 – 750 THz. Převeďme intervaly pro barvy světla na intervaly barvy šumu. Tedy interval pro červený šum odpovídá 16 – 2513 Hz a fialový šum 12004 – 16000 Hz. Při realizaci bude použit band-pass filtr, přičemž pro syčení bude střední frekvence 14000 Hz a pro hučení 300 Hz. V obou případech bude mít faktor kvality hodnotu 5.



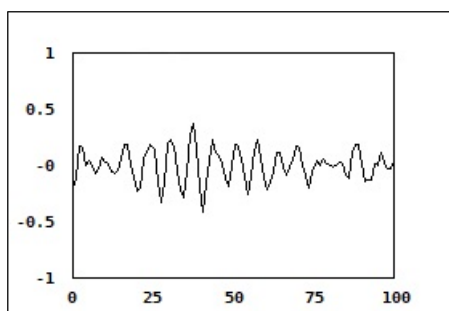
Obrázek 3.4: Graf časového průběhu fialového šumu (vytvořeno v programu PureData)



Obrázek 3.5: Graf časového průběhu červeného šumu (vytvořeno v programu PureData)

Zvuk cikád. Základem tohoto zvuku bude opět bílý šum. Na něj pak bude použit filtr typu horní propust, který nepropustí frekvence nižší než 5000 Hz a filtr typu dolní propust, který nepropustí frekvence vyšší než 8000 Hz. Pro umocnění efektu bude použit filtr typu band-pass se střední frekvencí 6500 Hz a faktorem kvality 10. Zvuk, který vznikne použitím těchto filtrů lze popsat jako šumění s prvky skřípání a bzučení. Aby zvuk zněl opravdu

jako zvuk, který vydává cikáda, bude nutné vytvořit snižování a zvyšování hlasitosti zvuku. Aby bylo zeslabování a zesilování plynulé, použijeme funkci sinus. Hlasitost zvuku se tak bude v intervalech, ve kterých je funkce rostoucí, zvyšovat, naopak v klesajících intervalech se bude zvuk zeslabovat. Důležité je zvolit velice nízkou frekvenci této funkce, v tomto případě 8 Hz. Čím bude frekvence nižší, tím bude opakování zvuku pomalejší a naopak. Funkci je dále možné vynásobit konstantou k pro zvýšení intenzity zvuku. Obor hodnot funkce tak nebude interval $\langle -1, +1 \rangle$, ale $\langle -k, +k \rangle$. Nakonec, pro efekt vyššího zvuku, bude přidán filtr typu horní propust s frekvencí 4000 Hz.



Obrázek 3.6: Graf časového průběhu zvuku cikád (vytvořeno v programu Pure-Data)

Tlukot srdce. Vytvoření tohoto zvuku lze rozdělit na dva podproblémy. Nejdříve je potřeba vytvořit zvuk podobný úderu bubnu, poté tento zvuk opakovat v určitém rytmu. Pro vytvoření zvuku, který se podobá úderu do bubnu lze použít jednoduchý tón, který byl použit u pískání. V tomto případě ale bude mít nízkou frekvenci a bude znít jen zlomek vteřiny. Tyto údery se poté budou opakovat v určitých intervalech. Pro stanovení rychlosti jejich opakování jsem se inspirovala reálnou rychlostí tlukotu srdce. Normální klidová tepová frekvence pro dospělé a děti starší 10 let je mezi šedesáti a sty tepy za minutu. [Mac17] Proto i opakování tohoto zvuku simulujícího tlukot srdce bude v rozmezí těchto rychlostí.

3.3 Generování zvuků

Cílem této práce je vytvořit aplikaci, která bude umožňovat lidem trpícím tinnitem vytvořit zvuk, který slyší. Jeden z předpokladů je, že uživatel nemá žádné hudební vzdělání, proto mu popsání zvuku, který slyší, může dělat značné problémy a nakonec popis tohoto zvuku nemusí být přesný. Z tohoto důvodu jsem se rozhodla udělat aplikaci jednoduchou a názornou. Tvorba zvuku bude rozložena na jednoduché podotázky a podproblémy, které by měl

zvládnout i uživatel, který nemá žádné hudební vzdělání.

Parametry. U každého zvuku bude možné nastavit jeho hlasitost a poměr hlasitosti zvuku mezi ušima. Pro lepší dosažení co nejpřesnějšího zvuku, který slyší pacient ve své hlavě, bude u většiny zvuků navíc možné v určitém rozsahu měnit i další parametry jako jsou například výška, rychlost nebo intenzita. V následujících tabulkách jsou uvedeny parametry, které lze u jednotlivých zvuků měnit a rozmezí hodnot ze kterého je možné vybírat.

PÍSKÁNÍ		
Parametr	Rozmezí (od – do)	
Frekvence (výška)	16 Hz	20000 Hz
Nízkofrekvenční oscilátor (LFO)	5 Hz	25 Hz
Rychlost pískání	60 bpm	100 bpm
Délka jednoho písknutí	0,1 s	0,55 s

Tabulka 3.1: Parametry, které lze měnit u pískání

BZUČENÍ		
Parametr	Rozmezí (od – do)	
Frekvence (výška)	16 Hz	20000 Hz
Rychlost pískání	60 bpm	100 bpm
Délka jednoho písknutí	0,1 s	0,55 s

Tabulka 3.2: Parametry, které lze měnit u bzučení

OZNAMOVACÍ TÓNY		
Parametr	Rozmezí (od – do)	
USA, Austrálie – výška prvního tónu	335 Hz	365 Hz
USA, Austrálie – výška druhého tónu	425 Hz	455 Hz
UK – výška prvního tónu	335 Hz	365 Hz
UK – výška druhého tónu	435 Hz	465 Hz
Evropa, Afrika – výška	410 Hz	440 Hz

Tabulka 3.3: Parametry, které lze měnit u oznamovacích tónů

SYČENÍ		
Parametr	Rozmezí (od – do)	
Střední frekvence pásmové propusti	9000 Hz	20000 Hz

Tabulka 3.4: Parametry, které lze měnit u syčení

HUČENÍ		
---------------	--	--

Parametr	Rozmezí (od – do)	
Střední frekvence pásmové propusti	150 Hz	500 Hz

Tabulka 3.5: Parametry, které lze měnit u hučení

ZVUK CIKÁD		
Parametr	Rozmezí (od – do)	
Rychlost (frekvence funkce použité k zesilování a zeslabování zvuku)	3 Hz	15 Hz
Intenzita	1	10

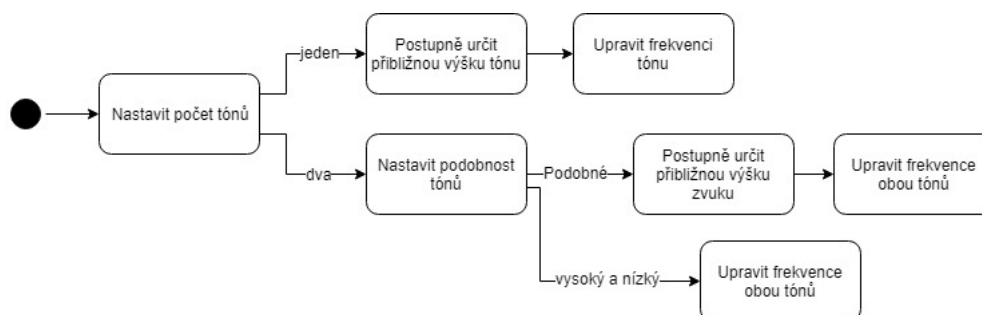
Tabulka 3.6: Parametry, které lze měnit u zvuku cikád

tlukot srdce		
Parametr	Rozmezí (od – do)	
Rychlost úderů	60 bpm	100 bpm

Tabulka 3.7: Parametry, které lze měnit u tlukotu srdce

Průchod aplikací. Jak již bylo zmíněno, generování zvuku bude rozděleno na podotázky a podproblémy. Na začátku bude uživatel dotázán, jestli slyší zvuk konstantní nebo přerušovaný. Dále jestli slyší zvuk v obou uších stejně hlasitě. Odpovědi na tyto otázky budou zaznamenány a podle nich se uživateli vytvoří nabídka až osmi zvuků, ze kterých bude moci vybírat a dále měnit jejich parametry. Celý průchod aplikací při vytváření zvuku lze popsat rozhodovacím stromem. V následujících příkladech předpokládám, že uživatel na začátku zvolil, že neslyší zvuk v obou uších stejně hlasitě. V posledním okně tak bude možné nastavit poměr hlasitosti mezi ušima.

Pískání. Na začátku bude nutné zvolit, jestli uživatel slyší jeden tón nebo souzvuk více tónů, dále pak jestli tóny zní podobně nebo je jeden vysoký a druhý nízký.

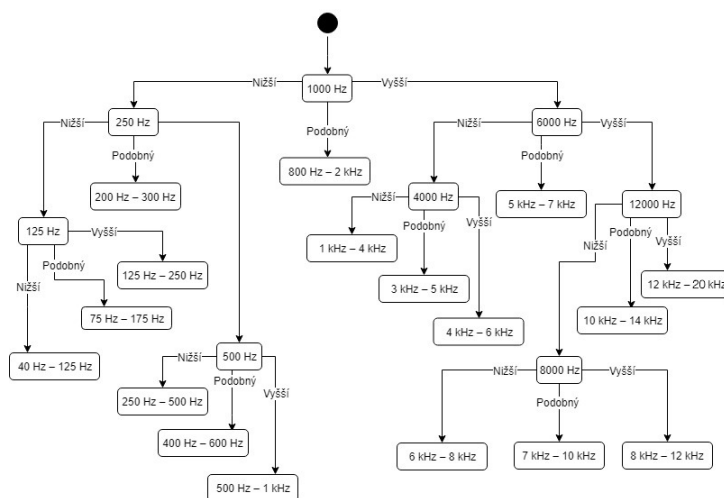


Obrázek 3.7: Rozhodovací strom pro určení počtu tónů pískání

Při audiometrickém vyšetření se nejčastěji začíná frekvencí 1000 Hz a postupně se frekvence snižuje nebo zvyšuje (nejčastěji o oktávu nebo polovinu oktávy) a přibližuje se tak k výšce tónu, který pacient slyší. Frekvence tinnitu je většinou kolem 4000 Hz. [Reč13] [Sno04]

Určení výšky pískání tedy bude také založeno na pouštění ukázek tónů o různých frekvencích a dotazování uživatele, jestli je zvuk, který slyší, nižší nebo vyšší. První ukázka bude mít frekvenci 1000 Hz. Uživatel si přehraje tento zvuk a určí, jestli zvuk, který slyší je nižší, vyšší nebo podobný. Podle toho se zobrazí další okno se stejným dotazem, ale jinou frekvencí tónu. Takto bude uživatel dotazován, dokud tón nebude podobný zvuku jeho tinnitu. Nakonec bude moci tento zvuk finálním přidáním ještě mírně upravit. Frekvence budou zvoleny tak, aby byly vždy o oktávu vyšší nebo nižší, než frekvence minulého tónu. Počet oktáv mezi dvěma frekvencemi se spočítá podle vzorce $\log_2(\frac{f_2}{f_1})$. [Wij09] Proto pokud uživatel zvolí frekvenci nižší než 1000 Hz, budou mu postupně nabídnuty tóny o oktávu nižší, tedy o frekvenci 500 Hz, 250 Hz a 125 Hz. Naopak pokud je zvuk, který slyší vyšší než 1000 Hz, další tón bude o dvě oktávy vyšší, bude mít tedy frekvenci 4000 Hz a poté o jednu oktávu vyšší, tedy 8000 Hz. Dále budou pro menší rozestupy přidány tóny o frekvenci 6000 Hz a 12 kHz.

Následující rozhodovací strom ukazuje, podle jakých frekvencí se bude muset uživatel rozhodnout, jestli je zvuk nižší nebo vyšší. Listy tohoto stromu znázorňují, v rozmezí jakých frekvencí bude mít uživatel možnost konečný zvuk upravit.

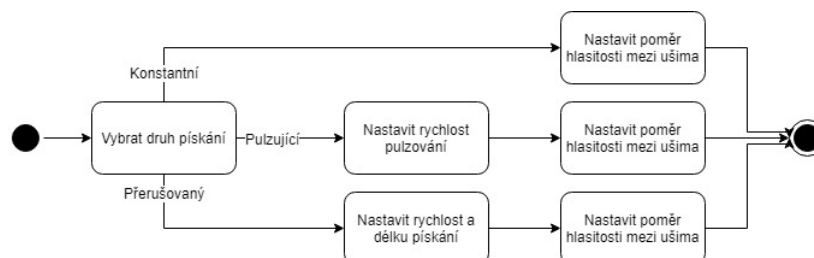


Obrázek 3.8: Detailní popis rozhodovacího stromu při určování výšky pískání

Nakonec bude možné vybrat až ze tří kategorií pískání, a to konstantní, pulzující nebo přerušovaný zvuk. Přerušovaný zvuk bude v nabídce jen v případě, že byl na začátku tvoření vybrán přerušovaný zvuk.

Pokud bude zvolena první možnost, tedy konstantní zvuk, nebude nutné další nastavování. Pokud však uživatel vybere druhou možnost, tedy pulzující zvuk,

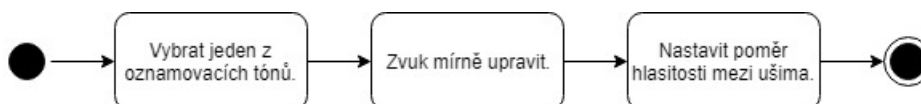
bude nutné nastavit rychlost pulzování. V posledním případě, tedy pokud bude vybrán přerušovaný zvuk, bude možné nastavit rychlost a délku pískání. Pro dosažení co nejpřesnějšího výsledku se budou nastavovat ve stejném okně. Tyto dva parametry spolu souvisí a pro uživatele bez hudebního vzdělání by mohlo být složité nastavit každý parametr zvlášť.



Obrázek 3.9: Rozhodovací strom pro výběr druhu pískání

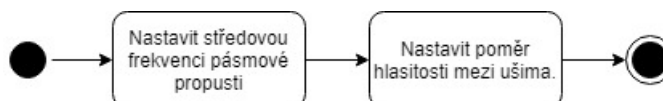
Bzučení. Průběh vytváření bzučení je skoro stejný jako u pískání. U bzučení, ale na rozdíl od pískání nelze vybrat souzvuk tónů nebo možnost pulzujícího zvuku.

Oznamovací tón. Pokud uživatel zvolí oznamovací tón, má na výběr ze třech zvuků, které pak může mírně upravit.



Obrázek 3.10: Rozhodovací strom pro oznamovací tóny

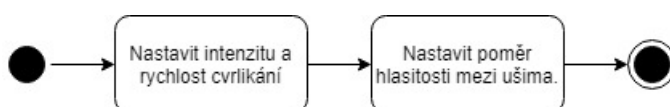
Syčení a hučení. U syčení a hučení lze měnit jen jeden parametr a tím je střední frekvence pásmové propusti. Pokud tedy uživatel zvolí jeden z těchto zvuků, zobrazí se okno s možností nastavení tohoto jediného parametru.



Obrázek 3.11: Rozhodovací strom pro syčení a hučení

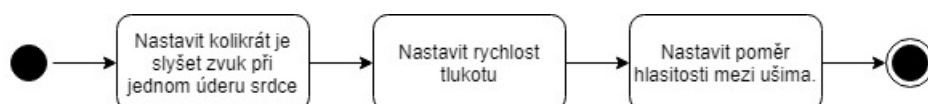
Zvuk cikád. Pro zvuk cikády je možné nastavit dva parametry. Pro dosažení co nejpřesnějšího výsledku, se budou nastavovat ve stejném okně. Tyto dva parametry jsou si totiž hodně podobné a myslím, že pro uživatele bez

hudebního vzdělání by bylo složité nastavovat každý zvlášť a mohlo by tak dojít k nepřesnostem v konečném zvuku.



Obrázek 3.12: Rozhodovací strom pro zvuk cikády

Tlukot srdce. Tento zvuk bude zobrazen v nabídce, jen pokud uživatel při první otázce zvolí, že slyší přerušovaný zvuk. Nejprve uživatel nastaví, jestli slyší při jednom úderu srdce bouchnutí jednou nebo dvakrát. V dalším kroku nastaví rychlost tlukotu.



Obrázek 3.13: Rozhodovací strom pro zvuk tlukotu srdce

3.4 URL

Po zodpovězení prvních dvou otázek, jestli je zvuk konstantní nebo přerušovaný a jestli je v obou uších stejně hlasitý, budou tyto údaje zaznamenány do URL adresy. Dále pak po přidání každého zvuku, bude do URL adresy přidán jeden index přiřazený určité kategorii zvuku, a druhý index určující konkrétní zvuk v dané kategorii. Pokud budou některé z parametrů změněny, do URL adresy se zároveň zapíše název parametru a jeho hodnota. Díky tomu bude pomocí URL možné zvuk vytvořený v aplikaci sdílet.

3.5 Uživatelské rozhraní aplikace

Jako poslední část práce bude vytvořeno uživatelské rozhraní aplikace. Webová stránka bude mít tři sekce: úvod, nápovědu a sekci pro tvorbu samotného zvuku. V úvodu bude popsána aplikace a zároveň bude uživateli stručně vysvětleno, jak ji lze používat. V nápovědě se uživatel dozví detailnější informace o ovládání aplikace. V sekci pro tvorbu zvuku bude možné vytvořit samotný zvuk, který pacient trpící tinnitem slyší. Bude možné vybírat z

3. Návrh

osmi kategorií, zvuky skládat dohromady a měnit jejich parametry. Webová aplikace bude k zobrazení ve dvou jazycích – češtině a angličtině.

Kapitola 4

Realizace

V této části je popsáno, jak byla aplikace realizována, jaké byly použity postupy a techniky.

Technické specifikace

- **HTML:** Pro tvorbu webové aplikace je použito HTML5¹. Jedná se o značkovací jazyk používaný pro tvorbu webových stránek.
- **php:** Pro tvorbu webové aplikace je použito php². Jedná se o populární skriptovací jazyk, který je vhodný pro vývoj webových aplikací. Verze php je 7.3.3.
- **JavaScript:** Pro tvorbu webové aplikace a všech zvuků je použit skriptovací jazyk JavaScript³
- **CSS:** Pro popis způsobu zobrazení elementů v aplikaci jsou použity kaskádové styly CSS⁴.
- **PureData:** Přestože žádná část aplikace není vytvořena v tomto grafickém programovacím jazyku, PureData⁵ byla použita při návrhu aplikace, a také v nich byly vytvořeny všechny grafy zobrazující časový průběh vytvářených zvuků.

¹<https://html.com/>

²<http://php.net/>

³<https://www.javascript.com/>

⁴<http://www.w3.org/Style/CSS/Overview.en.html>

⁵<https://puredata.info>

4.1 Tvorba zvuků v JavaScriptu

Pro vytváření zvuků jsem se rozhodla použít skriptovací jazyk JavaScript. Konkrétně jeho rozhraní `BaseAudioContext`⁶. To slouží pro základní definování on-line a off-line zpracování zvuku. Je reprezentováno rozhraními `AudioContext` a `OfflineAudioContext`. `BaseAudioContext` se nepoužívá přímo, ale přes jedno z těchto dvou zděděných rozhraní. Já jsem pro svou práci použila rozhraní `AudioContext`⁷. To představuje graf zpracování zvuku, který je vytvořen z audio modulů, které jsou navzájem propojené. Zároveň řídí vytváření uzlů, které obsahuje a zpracování zvuku. Níže rozeberu, jak jsem při tvorbě jednotlivých zvuků postupovala. Jaké jsem použila komponenty, jaké parametry a jak jsem komponenty propojila.

Pískání.

Konstantní. Na začátku tvorby pískání bylo nutné vytvořit oscilátor, který bude tvořit vlny ve tvaru funkce sinus. Toho jsem docílila pomocí rozhraní `OscillatorNode`, tedy rozhraní představujícího periodický průběh. Jedná se o modul, který vytváří tón o dané frekvenci a tvaru vlny. Nastavila jsem zde dva parametry, a to frekvenci a typ. Typ oscilátoru jsem nastavila na sinus a defaultní frekvenci na 1000 Hz. Frekvence je poté dále upravována uživatelem. Pro možnost úpravy hlasitosti jsem použila rozhraní `GainNode`, které má přesně jeden vstup a jeden výstup, a zaručuje, že bude zvýšení hlasitosti aplikováno na vstupní data před tím, než se dostanou na výstup. Zde jsem nastavila jen jeden parametr, a to `gain`, na hodnotu 0,1. Tuto hodnotu dále může měnit uživatel.

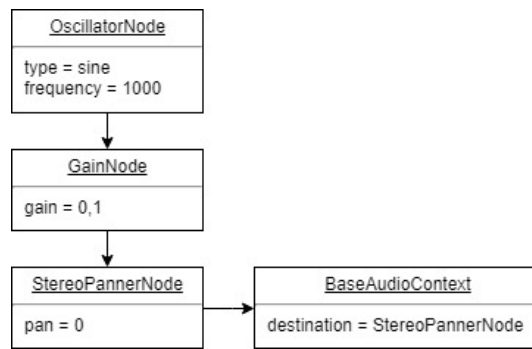
Nakonec jsem použila rozhraní `StereoPannerNode`, které umožňuje posouvání zvukového toku vlevo nebo vpravo. Uživatel tak pomocí něho může nastavit zvuk tak, aby odpovídal poměru hlasitosti zvuku tinnitu mezi ušima. V tomto případě se upraví pouze jeden parametr, kterému lze přiřadit hodnotu v rozmezí -1 až 1. Pokud bude hodnota rovná -1, bude zvuk slyšet jen vlevo, pokud 1, bude slyšet jen vpravo a pokud 0, bude slyšet z obou stran rovnoměrně. Hodnotu jsem defaultně nastavila na 0, uživatel ji opět může upravovat.

Každý zvuk vytvářený v rozhraní `BaseAudioContext` musí být na úplném konci napojen na objekt `BaseAudioContext`, konkrétně musí být přiřazen jeho parametru `destination`. Jen tak ho bude možné přehrát.

Nakonec jsem všechny komponenty propojila tak, jak je ukázáno v následujícím grafu.

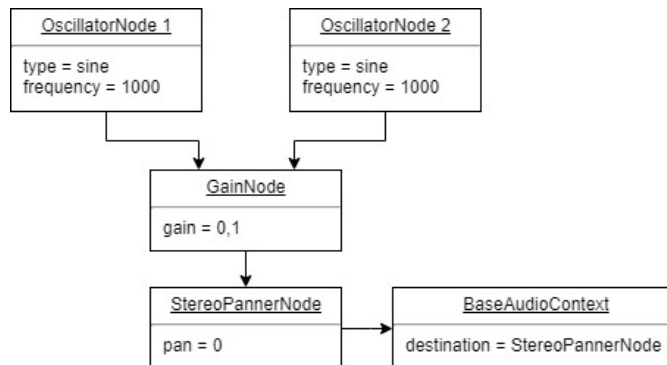
⁶<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/BaseAudioContext>

⁷<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/AudioContext>



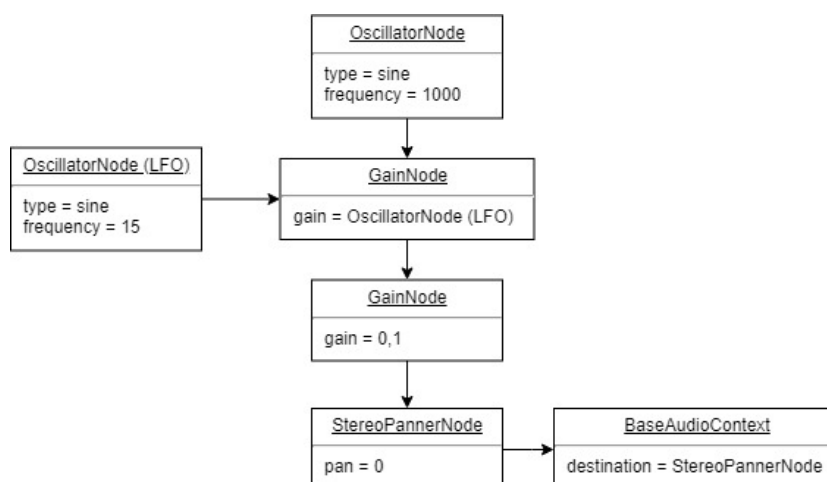
Obrázek 4.1: Propojení komponent v rozhraní AudioContext – konstantní pískání (jeden tón)

Pokud bude místo jednoho tónu zvolen souzvuk, místo jednoho oscilátoru budou vytvořeny oscilátory dva a budou se zbytkem komponent propojeny tak, jak je ukázáno v následujícím grafu.

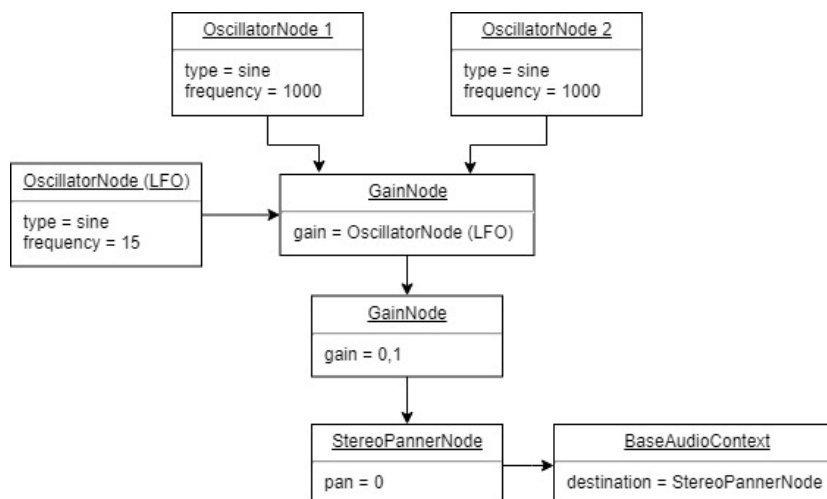


Obrázek 4.2: Propojení komponent v rozhraní AudioContext – konstantní pískání (dva tóny)

Pulzující. Postup při tvorbě pulzujícího pískání byl podobný jako u konstantního pískání. Pro dosažení pulzujícího zvuku jsem použila nízkofrekvenční oscilátor (LFO). Přidala jsem tedy do grafu další objekt `OscillatorNode` a jeho frekvenci jsem nastavila na 15 Hz. Uživatel tuto hodnotu může opět upravovat. Dále jsem vytvořila novou komponentu `GainNode` a jako její parametr `gain` jsem zvolila právě výstup nízkofrekvenčního oscilátoru. Tím bylo dosaženo postupného zvyšování a snižování hlasitosti tónu, a výsledný zvuk tedy zní jako pulzující pískání.



Obrázek 4.3: Propojení komponent v rozhraní `AudioContext` – pulzující pískání (jeden tón)

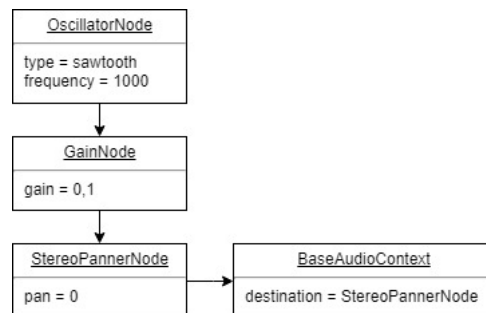


Obrázek 4.4: Propojení komponent v rozhraní `AudioContext` – pulzující pískání (dva tóny)

Přerušované. Graf v rozhraní `AudioContext` pro vytvoření tohoto zvuku bude totožné s konstantním pískáním. Přerušovaného pískání lze dosáhnout opakovaného vytváření, spouštění a vypínání zvuku pískání. Vytvořila jsem tedy funkci, ve které vytvořím všechny komponenty zvuku tak, jak bylo popsáno v části o konstantním pískání a navzájem je propojím. Dále zvuk zapnu a po určitém časovém intervalu snížím hlasitost zvuku tak, že nakonec vůbec není slyšet. Namísto obyčejného vypnutí zvuku jsem použila toto zeslabení, přechod tak bude plynulejší a nebude slyšet nepříjemné „kliknutí“. Na konec funkce jsem umístila metodu `setTimeout`, která tuto funkci po určitých časových intervalech opakovaně volá. Defaultně jsem nastavila, aby se zvuk pískání ozval 80× za minutu. Hodnota časového úseku, po jehož

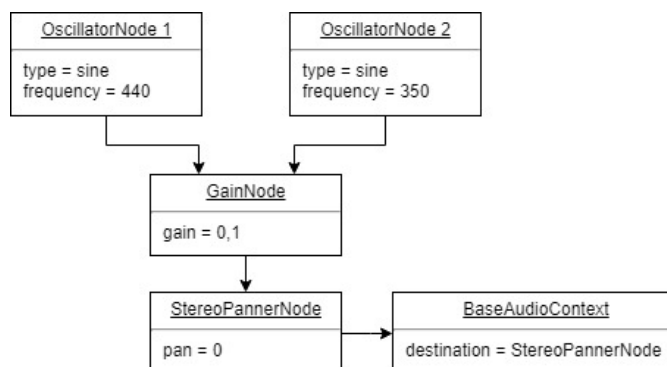
uběhnutí se opět funkce zavolá je tedy 0,75 sekund. Tuto hodnotu může uživatel rovněž měnit.

Bzučení. Při tvorbě zvuku bzučení jsem postupovala stejně jako při vytváření pískání. Jediný rozdíl mezi těmito zvuky je typ použitého oscilátoru. V tomto případě totiž nebude tvořit vlny ve tvaru funkce sinus, ale ve tvaru pily. Typ oscilátoru tedy bude „sawtooth“.

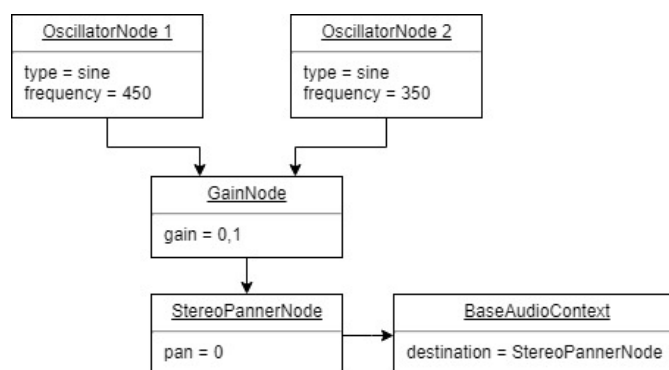


Obrázek 4.5: Propojení komponent v rozhraní AudioContext – bzučení

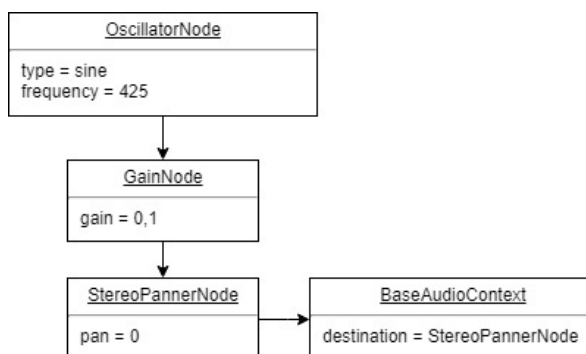
Oznamovací tón. Pro oznamovací tón lze použít stejný potup, který byl použit u souzvuku dvou tónů při pískání. V čem se však oznamovací liší, jsou jasně dané frekvence, které uživatel může jen lehce poupravit.



Obrázek 4.6: Propojení komponent v rozhraní AudioContext – oznamovací tón používaný v Austrálii a Spojených státech amerických

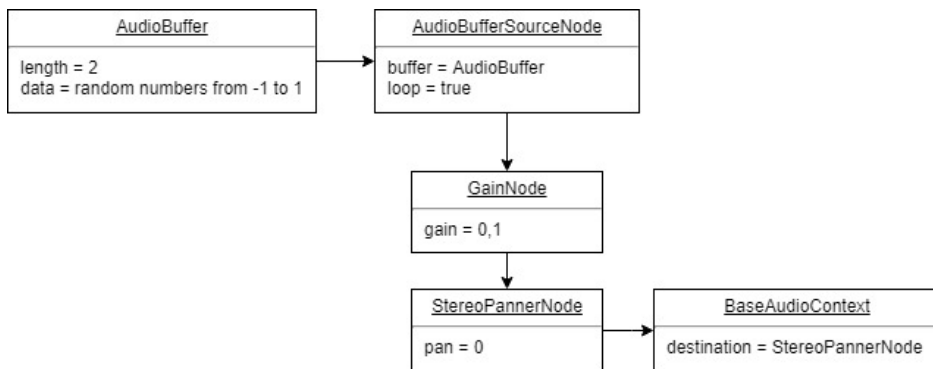


Obrázek 4.7: Propojení komponent v rozhraní AudioContext – oznamovací tón používaný ve Spojeném království



Obrázek 4.8: Propojení komponent v rozhraní AudioContext – oznamovací tón používaný v Evropě a Africe

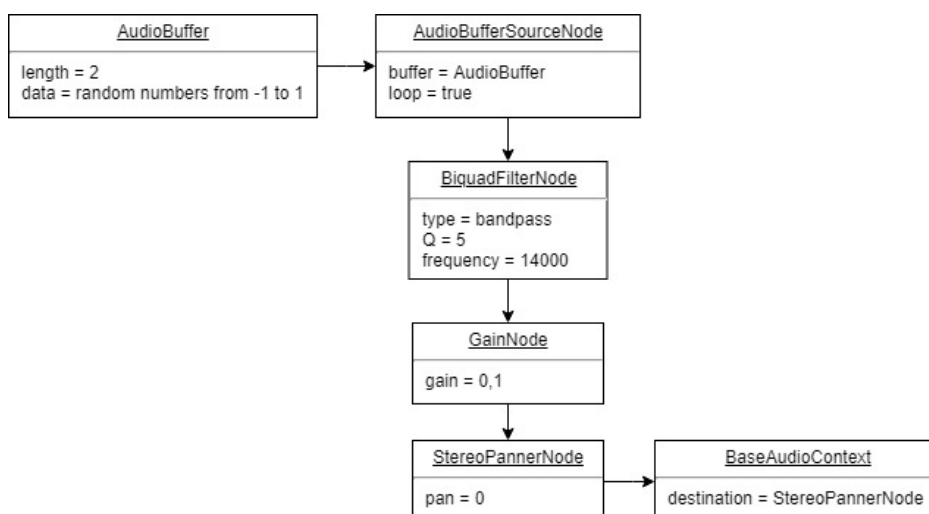
Zvuk při ladění televize . Jak bylo zmíněno v kapitole rozbor zvuků, bílý šum zní stejně jako zvuk při ladění televize. Cílem tedy je vytvořit bílý šum. Ten vzniká náhodným zkombinováním všech frekvencí zvukového spektra. Vytvořila jsem proto prázdný objekt `AudioBuffer`, který představuje krátký úryvek zvuku, který obvykle netrvá déle než 45 vteřin. Mnou vytvořený buffer trvá 2 vteřiny. Poté jsem ho naplnila náhodnými čísly v intervalu $\langle -1, +1 \rangle$, tedy pomocí příkazu `Math.random() * 2 - 1`. Dále jsem vytvořila objekt `AudioBufferSourceNode`, pomocí něhož bude možné buffer naplněný náhodnými čísly přehrát. Jeden z parametrů tohoto objektu je parametr `buffer`, tomu jsem přiřadila hodnotu mnou vytvořeného bufferu. Další parametr, který jsem nastavila, byl parametr `loop`. Tomu jsem nastavila hodnotu `true`, která zaručuje, že se zvuková nahrávka nezastaví po dvou vteřinách, ale bude se opakovat, dokud nebude ukončena. Nakonec jsem tento objekt opět napojila na objekt `GainNode`, aby bylo možné ovládat hlasitost, ten pak na objekt `StereoPannerNode`, aby bylo možné ovládat, na jaké straně bude zvuk hrát, a nakonec na `BaseAudioContext`.



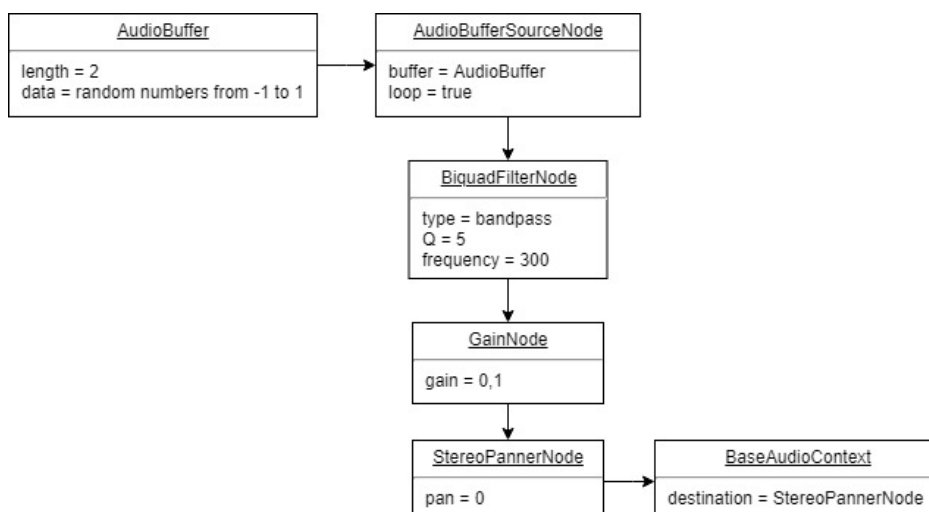
Obrázek 4.9: Propojení komponent v rozhraní AudioContext – zvuk při ladění televize

Syčení a hučení. Jak již bylo popsáno v kapitole rozbor zvuků, zvuk podobný syčení lze vytvořit pomocí fialového šumu, zvuk podobný hučení zase pomocí šumu červeného. V obou případech bude nutné vytvořit bílý šum a poté použít band-pass filtr. Bílý šum jsem vytvořila obdobně, jako je popsáno v předchozí podkapitole Zvuk při ladění televize. Band-pass filtr, neboli pásmovou propust, jsem vytvořila pomocí rozhraní `BiquadFilterNode`. Jedná se o rozhraní, které může reprezentovat různé druhy filtrů jako například low-pass, high-pass nebo právě band-pass filtr. Objekt je vytvořen pomocí metody `AudioContext.createBiquadFilter()`.

Nejdříve jsem tedy nastavila parametr `type`, definující ty parametru na hodnotu `bandpass`. Poté jsem nastavila parametr `Q`, který určuje faktor kvality na hodnotu 5. V hodně posledního nastaveného parametru se syčení a hučení liší. Jedná se o parametr `frequency`, který reprezentuje střední frekvenci filtru. Pro zvuk podobný syčení jsem parametr nastavila na hodnotu 14 kHz a v pro hučení 300 Hz. V obou případech může být tento parametr dodatečně změněn uživatelem.



Obrázek 4.10: Propojení komponent v rozhraní AudioContext – syčení



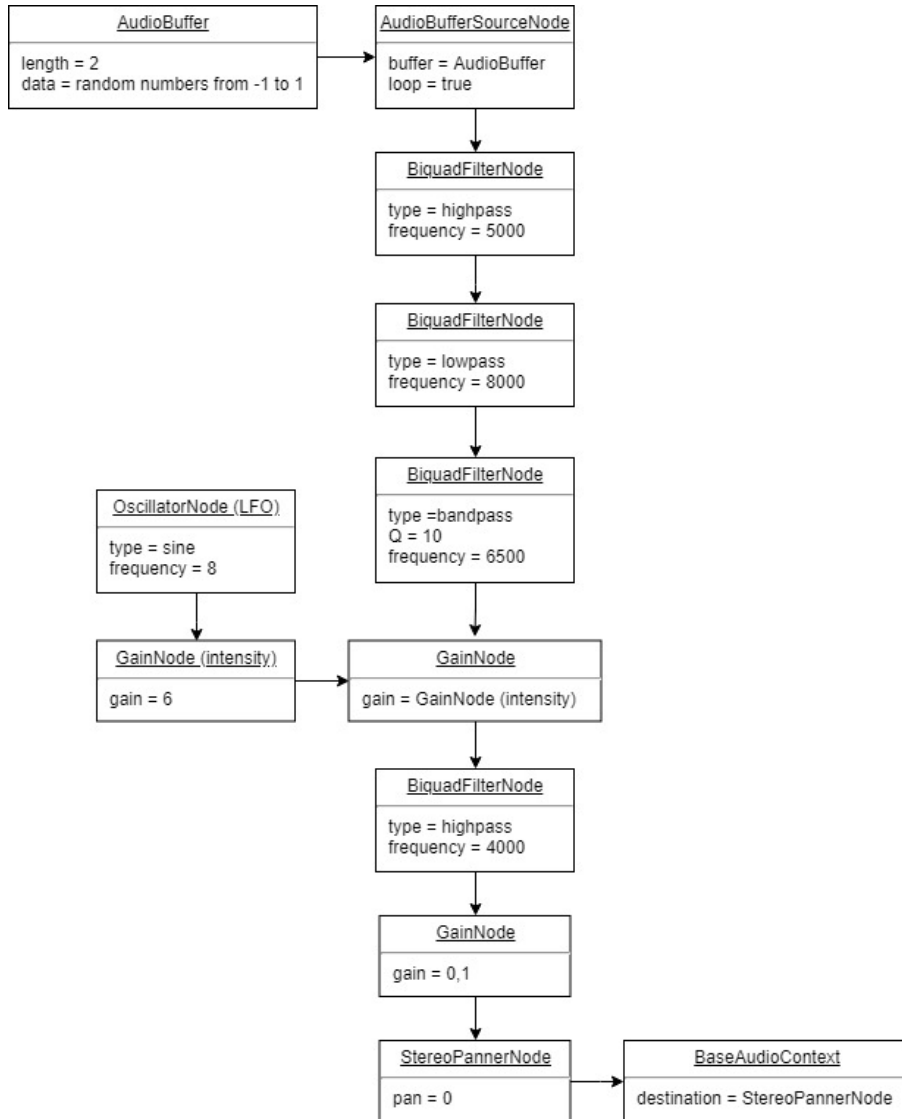
Obrázek 4.11: Propojení komponent v rozhraní AudioContext – hučení

Zvuk cikád. K tvorbě zvuku cikád je opět nutné začít bílým šumem. Ten jsem dále upravila pomocí filtrů. Nejdříve jsem k stávajícímu grafu reprezentující bílý šum připojila low-pass filtr s mezní frekvencí 8000 Hz, dále pak high-pass filtr s mezní frekvencí 5000 Hz a nakonec band-pass filtr se střední frekvencí 6500 Hz a faktorem kvality 10.

Aby vytvořený zvuk zněl co nejpodobněji zvuku, který vydává cikáda, bylo nutné vytvořit snižování a zvyšování jeho hlasitosti. Použila jsem nízkofrekvenční oscilátor, tedy objekt `OscillatorNode`, a jeho frekvenci nastavila na 8 Hz. Přičemž uživatel tuto hodnotu může dále upravovat. Poté jsem vytvořila objekt `GainNode`, díky němuž bude možné změnit intenzitu zvuku, hodnotu jeho parametru `gain` jsem nastavila na 6, a tuto hodnotu opět bude

možné změnit. Nakonec jsem vytvořila další objekt `GainNode` a jako jeho parametr `gain` jsem zvolila právě výstup naposledy vytvořeného objektu `GainNode`, který byl přidán pro účel nastavení intenzity.

Jako poslední jsem vytvořila nový high-pass filtr, tentokrát s mezní frekvencí 4000 Hz. Díky tomu byly eliminovány některé nízké frekvence a zvuk je tak podobnější reálnému zvuku vydávanému cikádami.



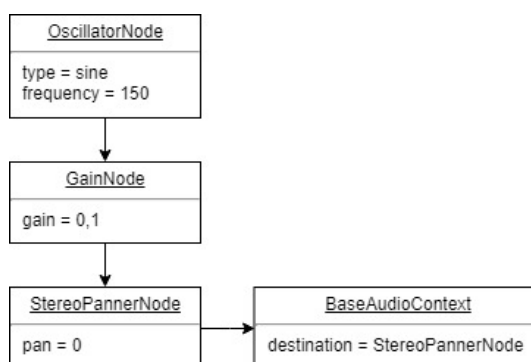
Obrázek 4.12: Propojení komponent v rozhraní `AudioContext` – cikáda

Tlukot srdce. Na začátku jsem pomocí rozhraní `OscillatorNode` vytvořila oscilátor s vlnou ve tvaru funkce sinus. Jeho frekvenci jsem nastavila na 150 Hz. Na rozdíl od všech předchozích nastavení, jsem tentokrát frekvenci nenastavila přímo, ale použila metodu `setValueAtTime()`, která změní hodnotu v přesně daném čase. Tato metoda má dva parametry, `value` představující

hodnotu, která se bude v daném čase měnit a `startTime` představující čas, ve kterém dojde ke změně. Pomocí stejné metody jsem nastavila i hlasitost, tedy parametr `gain` objektu `GainNode`.

Jelikož se jedná o přerušovaný zvuk, je nutné oscilátor po určitém časovém úseku zase vypnout. Aby bylo dosaženo zvuku, který zní podobně jako úder bubnu, použila jsem metodu `exponentialRampToValueAtTime()`, která provede exponenciální změnu hodnoty zadané v prvním parametru metody `value`. Změna začíná v čase uvedeném pro předchozí událost a končí v čase, který je uveden v jejím druhém parametru `endTime`. Tuto metodu jsem použila pro oba objekty `OscillatorNode` a `GainNode`. V obou případech jsem parametru `value` přiřadila hodnotu 0,1 a parametru `endTime` hodnotu, která odpovídá součtu současného času v sekundách a délky trvání jednoho úderu. Aby zvuk zněl jako úder, musí být časový úsek, ve kterém zvuk zní, velmi malý. V opačném případě by byl vytvořený zvuk podobný spíše hlubokému přerušovanému tónu. Zvolila jsem tedy délku 0,25 sekund.

Tímto postupem lze vytvořit zvuk jednoho úderu. Pro zvuk cyklicky se opakujících úderů jsem vytvořila funkci, ve které jsem znovu vytvořila a propojila všechny objekty popsané výše a na konec funkce jsem umístila metodu `setTimeout`, která tuto funkci po určitých časových intervalech opakovaně volá. Uživatel bude mít možnost nastavit rychlost úderů, defaultně je však nastaveno 80 úderů za minutu, tedy úder se ozve vždy po 0,75 sekundách. Pokud uživatel vybere dva údery za jeden úder srdce, zopakují po třetině uběhnutého času, defaultně tedy po 0,25 sekundách, ještě před opětovným zavoláním funkce, celý postup znovu. Výsledkem je tedy zvuk, při kterém se střídavě po 0,25 a 0,5 sekundách cyklicky ozývají údery.



Obrázek 4.13: Propojení komponent v rozhraní `AudioContext` – tlukot srdce

4.2 Kód aplikace

Aplikaci tvoří 22 souborů naprogramovaných ve skriptovacím jazyce `php`, přičemž polovina je v anglickém jazyce a polovina v českém, tedy co se týče

funkcionality, jsou tyto dvě skupiny 11 souborů totožné. Ve třech z těchto jedenácti souborů jsou naprogramovány tři základní sekce aplikace. V souboru `introduction.php` se nachází kód pro úvodní stránku, v `info.php` kód pro sekci s nápovědou a v souboru `createSound.php` pro úvodní stránku tvorby zvuku. Na stránce zabývající se tvorbou zvuku se však dále zobrazují okna, ve kterých uživatel zodpovídá dotazy a nastavuje zvuk. První tři tato okna, tedy dvě úvodní otázky a výběr kategorie zvuku, jsou taktéž naprogramována v souboru `createSound.php`. Okna, která se zobrazují po výběru kategorie, jsou však pro lepší přehlednost rozdělena do osmi souborů, přičemž každá kategorie zvuku má svůj vlastní soubor a okna zobrazená po výběru této kategorie jsou naprogramována právě v daném souboru. Jelikož se všechna okna zobrazují na stránce tvorby zvuku, soubor `createSound.php` includeje všech těchto osm souborů.

Generování zvuků je vytvořeno ve skriptovacím jazyce JavaScript. Pro každou kategorii zvuku, jsem vytvořila jeden JavaScriptový soubor. V každém z těchto souborů se nachází metody pro úvodní nastavení zvuků z dané kategorie, pro jejich spuštění a zastavení. Jelikož určitá nastavení zvuku, jako například hlasitost, stereo nebo frekvence, se často opakují, byl vytvořen soubor `settings.js`, obsahující metody pro nastavení daného parametru na danou hodnotu, které jsou volány z těchto osmi souborů.

JavaScript byl dále použit i pro naprogramování funkcionality oken, které se zobrazují při vytváření zvuku. Pro tento účel jsem vytvořila dalších osm JavaScriptových souborů, tedy znovu pro každou kategorii zvuku jeden, díky nimž lze například přehrávat v oknech ukázky zvuků nebo měnit jejich parametry. Pořadí, ve kterém budou okna zobrazována, je popsáno v souboru `graph.js`, ve kterém je vytvořen graf, jehož vrcholy jsou objekty třídy „Node“, která je naprogramována v souboru `node.js`. Každý objekt reprezentuje jedno okno a obsahuje jméno daného okna, odkaz na předešlé okno, odkaz na všechna okna, která mohou být zobrazena po tomto oknu a doplňující informace, které jsou vytvořeny při průchodu grafu. Jako například jaké následující okno bylo nakonec vybráno nebo hodnota parametru nastavená v daném okně. Přechody mezi jednotlivými okny jsou naprogramovány v souboru `decisions.js`.

Poté co uživatel přidá zvuk, na stránku sloužící k tvorbě zvuku bude přidán řádek tabulky, ve kterém bude název daného zvuku a dále posuvníky, pomocí nichž bude možné všechny parametry daného zvuku dále upravovat. HTML kódy pro tyto jednotlivé řádky jsou zapsány v trojrozměrném poli, které se nachází v dalším JavaScriptovém souboru s názvem `htmlSounds.js`. Další soubor naprogramovaný v JavaScriptu se nazývá `urlOperations.js`. Kód tohoto souboru zajišťuje například změnu jazyka stránky nebo skutečnost, že pokud uživatel vytvoří zvuk a poté klikne na jinou záložku, a nakonec se opět vrátí na záložku se zvukem, v této záložce bude stále zobrazen vytvořený zvuk. Zbývající tři JavaScriptové soubory obsahují metody, které například na začátku nastaví celou aplikaci, pomocí URL adresy načtou a zobrazí zvuk nebo slouží k ovládání tlačítek nesouvisejících s nastavováním zvuku. Zároveň také volají metody ze souborů popsanych výše.

Pro přidání stylu do webové aplikace byly použity kaskádové styly. Dohromady bylo vytvořeno šest CSS souborů, přičemž každý z nich se zabývá jinou kategorií elementů. Například v jednom souboru jsou zapsány způsoby zobrazení tabulek, v jiném tlačítek, v dalším například posuvníků. Rozdělení do více souborů jsem zvolila kvůli přehlednosti.

4.3 URL

Jedním z cílů této práce je mimo jiné možnost sdílení vytvořených zvuků pomocí URL. Tento problém jsem vyřešila postupným přidáváním informací za původní URL adresu. Ta bude od těchto dodatečných informací oddělena pomocí znaku #.

První dvě informace zapsané do adresy budou uživatelovy odpovědi na první dvě otázky. Tedy pokud na první otázku, jestli je zvuk konstantní nebo přerušovaný, odpoví, že je konstantní, za URL se připiše hodnota 0, pokud přerušovaný, připiše se 1. Obdobně u druhé otázky, pokud uživatel slyší zvuk v obou uších stejně hlasitě, připiše se 0, v opačném případě 1. Pro následné jednodušší čtení informací budou tyto dvě informace odděleny podtržítkem. Další důležitou částí, kterou bude nutné zaznamenat, jsou informace o přidávaných zvucích, tedy jaký zvuk byl konkrétně přidán a jaké u něj byly nastaveny parametry. Po přidání každého zvuku se za stávající URL adresu připiše znak & a za něj o jaký zvuk se jedná. Konkrétně dvě čísla oddělená podtržítkem, kde první bude reprezentovat kategorii zvuku a druhé pak konkrétní zvuk v dané kategorii. Indexy, kterými byly pro tyto účely označeny jednotlivé zvuky, jsou zapsány v následující tabulce.

Název kategorie	Index kategorie	Finální zvuk	Index zvuku
Pískání	0	1 konstantní tón	0
		1 pulzující tón	1
		1 přerušovaný tón	2
		2 konstantní tóny	3
		2 pulzující tóny	4
		2 přerušované tóny	5
Oznamovací tón	1	Austrálie, USA	0
		UK	1
		Evropa, Afrika	2
Syčení	2	–	0
Bzučení	3	Konstantní	0
		Přerušované	1
Tlukot srdce	4	1×	0
		2×	1
Cikáda	5	–	0
Ladění televize	6	–	0
Hučení	7	–	0

Tabulka 4.1: Indexy použité pro kategorie zvuků a zvuky samotné

Nakonec bylo nutné přidat ke každému zvuku nastavené parametry. Pokud uživatel některý z parametrů vůbec nezměnil, tento parametr do URL přidán nebude, a při načtení mu bude přiřazena defaultní hodnota. Pokud uživatel parametr při vytváření zvuku nebo kdykoliv později upraví, bude tento parametr zaznamenán do URL adresy pomocí jeho zkráceného názvu a hodnoty. Názvy pro konkrétní parametry použité pro zápis do URL jsou zapsány v následující tabulce. Název parametru a jeho hodnota budou opět odděleny znakem `_`. Jednotlivé zvuky od sebe budou odděleny pomocí znaku `&`.

Paramter	Název pro URL
frekvence	f
frekvence prvního tónu	f1
frekvence druhého tónu	f2
hlasitost	v
střední frekvence	b
stereo	st
frekvence nízkofrekvenčního oscilátoru	lfo
délka pípnutí	lob
rychlost	sp
intenzita	i

Tabulka 4.2: Názvy parametrů pro zaznamenání do URL adresy

Pokud tedy například uživatel nastaví, že slyší konstantní zvuk v každém uchu jinak hlasitě, dále přidá konstantní pískání o frekvenci 440 Hz s poměrem hlasitosti -0,5 a nakonec přidá hučení o střední frekvenci 150 Hz, které bude znít jen na pravé straně, bude k URL přidán následující řetězec: `0_1&0_0_f_440_st_-0.5&7_0_b_150_st_1`

4.4 Uživatelské rozhraní aplikace

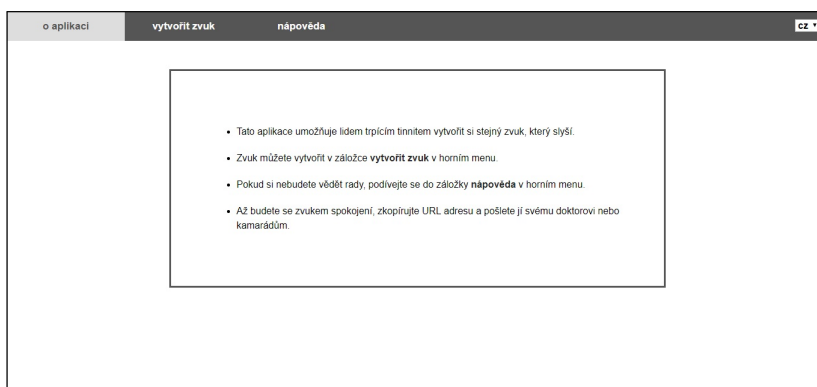
Webová stránka se skládá ze tří sekcí: „o aplikaci“, „vytvořit zvuk“ a „nápopověda“. Menu pro výběr z těchto sekcí je zobrazeno v horní části stránky.

V záložce „o aplikaci“ (viz obrázek 4.14) je aplikace uživateli uvedena, je popsáno, co dělá a jak ji používat. Zdrojový kód této úvodní stránky se nachází ve skriptu „introduction.php“.

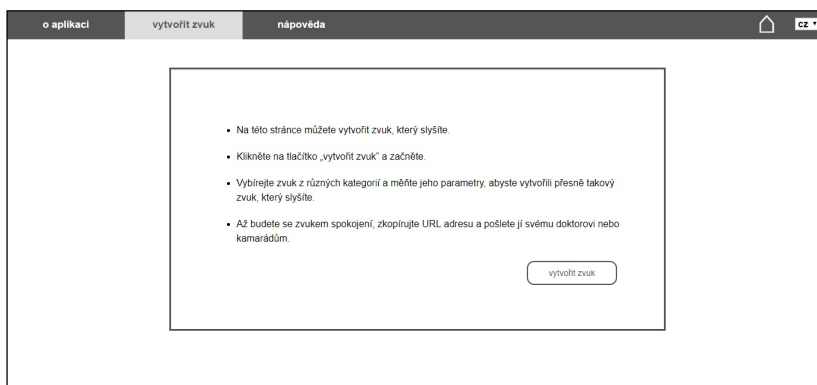
Nejdůležitější záložkou aplikace se nazývá „vytvořit zvuk“ (viz obrázek 4.15), uživatel v ní může vytvořit zvuk, který je stejný jako jeho tinnitus. Při tvorbě zvuku se postupně zobrazují okna (viz obrázek 4.16), ve kterých uživatel kliknutím na tlačítko vybírá odpovědi na otázky nebo nastavuje různé parametry zvuku tak, aby výsledný zvuk zněl co nejpodobněji tomu, který slyší ve své hlavě. Mezi okny se pohybuje pomocí šipek umístěných v dolní části okna nebo pomocí šipek na klávesnici. Po vytvoření prvního zvuku se zobrazí stránka, ve které lze již přidané zvuky dodatečně upravovat nebo je úplně odstranit. (viz obrázek 4.17). Zdrojový kód stránky pro tvorbu zvuků se nachází ve skriptu „createSound.php“.

Bližší návod k používání aplikace se nachází v záložce „nápopověda“ (viz obrázek 4.18). Zdrojový kód této stránky se nachází ve skriptu „info.php“.

V pravém horním rohu se nachází tlačítko ve tvaru ikony „domů“ (viz obrázek 4.19). Pokud uživatel klikne na toto tlačítko, zobrazí se úvodní stránka sekce „vytvořit zvuk“. Všechny provedené změny ale budou ztraceny. Proto se po kliknutí na tuto ikonu zobrazí dialogové okno, varující před touto skutečností. Vedle tlačítka „domů“ se navíc nachází rozbalovací nabídka, pomocí níž lze změnit jazyk stránky (viz obrázek 4.20). Na výběr je český a anglický jazyk. Defaultně je celá aplikace načtena v českém jazyce.



Obrázek 4.14: Webová aplikace, záložka „o aplikaci“



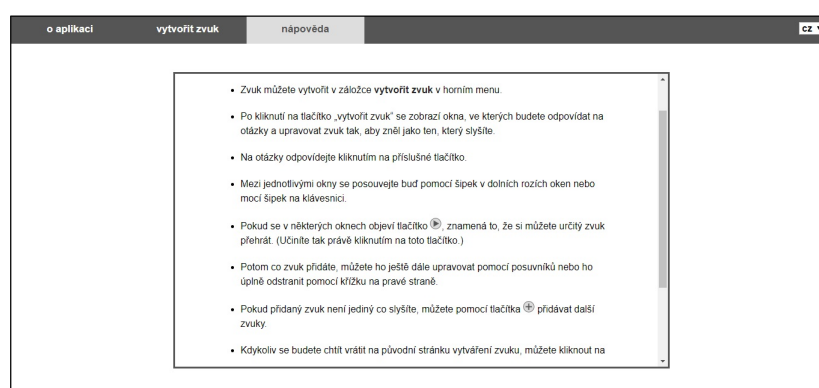
Obrázek 4.15: Webová aplikace, záložka „vytvořit zvuk“ s úvodní stranou



Obrázek 4.16: Webová aplikace, záložka „vytvořit zvuk“ s oknem pro nastavení parametrů zvuku cikády



Obrázek 4.17: Webová aplikace, záložka „vytvořit zvuk“ s přidávanými zvuky



Obrázek 4.18: Webová aplikace, záložka „nápověda“



Obrázek 4.19: Webová aplikace, tlačítko pro návrat na domovskou stránku



Obrázek 4.20: Webová aplikace, možnost zvolení jazyka stránky

Kapitola 5

Testování

5.1 Úvod

Z důvodu odhalení případných nedostatků, bude webová aplikace podrobena uživatelskému testování. Testování jsem rozdělila na dvě části. V první bude vybrána skupina účastníků trpících tinnitem, kteří dostanou odkaz na aplikaci, seznam úkolů a dotazník, který po splnění úkolů vyplní. V druhé části absolvuje skupina účastníků, kteří tinnitem netrpí, testování použitelnosti. Tento postup jsem zvolila, z toho důvodu, aby byla otestována zároveň použitelnost aplikace i správnost mnou vybraných zvuků, které v aplikaci lze vytvořit. Zároveň však nebylo možné se osobně sejit s účastníky, kteří tinnitem trpí, proto jsem testování rozdělila do dvou částí a lidé testující použitelnost aplikace tinnitus nemají.

Popis aplikace. Aplikace je určena ke generování typických zvuků tinnitu. Při vytváření lze vybírat z několika kategorií zvuků, zvuky lze přidávat a odebírat, skládat je dohromady a měnit jejich parametry. Po dokončení lze tento zvuk sdílet pomocí URL.

■ 5.2 Testování s lidmi, kteří trpí tinnitem

Cíle testu. Testování umožňuje zpětnou vazbu od uživatelů, pro které je aplikace určena. Otestuje se díky tomu správnost výběru zvuků, ze kterých lze v aplikaci vybírat. Cílem je odhalit případné nesrovnalosti v oblasti zvuku před finálním dokončením aplikace.

Cílová skupina. Aplikace je určena pro uživatele trpící tinnitem, kteří umějí číst, rozumějí textu psanému v českém nebo anglickém jazyce a dokáží ovládat počítač na základní úrovni. Bylo vybráno jedenáct osob ve věku 20 až 60 let. Všichni tito lidé trpí tinnitem, mají znalost českého jazyka na vysoké úrovni a splňují i všechny ostatní výše vypsané podmínky.

■ 5.2.1 Podmínky pro testování

V této sekci jsou popsány výchozí podmínky, které budou mít všichni účastníci při testování aplikace.

Použitý software a hardware. Testování bude probíhat na vlastních strojích uživatelů a ve webových prohlížečích, na které jsou zvyklí. Jediný zakázaný prohlížeč bude Internet Explorer, ve kterém aplikace nefunguje. Důvodem je předejití nepřesností v případě, že by uživatelé dělali problém pracovat na jiném počítači s jiným softwarem nebo v jiném prohlížeči než v tom, na který je zvyklý.

Výchozí stav. Účastníkům bude zaslán odkaz na úvodní stránku aplikace, tedy <http://tinnitus.felk.cvut.cz>. Dále obdrží odkaz na on-line dotazník, který budou mít za úkol vyplnit, a který bude sloužit k získání zpětné vazby. Nakonec jim bude zaslán seznam úkolů, které musí při testování aplikace splnit. Předpokládá se, že uživatelé vybraní k testování nebudou mít se zapnutím aplikace problém, proto tento úkon nebude uveden v seznamu úkolů.

Dotazník. Pro co nejjednodušší sběr informací byl pomocí aplikace „Formuláře Google“ vytvořen on-line dotazník. Otázky byly tvořeny tak, aby byly

snadno srozumitelné, a aby na ně dokázala odpovědět většina respondentů. Tyto otázky jsou vypsány v následujícím seznamu.

1. „Věková kategorie“. Povinná otázka s těmito možnostmi odpovědí.
 - méně než 20 let
 - 20 – 30
 - 30 – 40
 - 40 – 50
 - více než 50 let
2. „Podařilo se vám vygenerovat přesně takový zvuk, který slyšíte?“ Povinná otázka s následujícími možnostmi pro odpověď.
 - ano
 - skoro
 - ne, kvůli problému s ovládáním
 - ne, protože zvuk, který slyším, v aplikaci vygenerovat nešel
3. „Pokud zvuk, který slyšíte, v aplikaci vygenerovat nejde, pokuste se popsat, jaký zvuk slyšíte.“ Nepovinná otázka bez předepsaných možností pro odpověď.
4. „Pokud jste měli problémy s ovládáním aplikace, napište, co vám přišlo nejjasné.“ Nepovinná otázka bez předepsaných možností pro odpověď.
5. „Jestli se vám podařilo zvuk vygenerovat a nevádí vám se podělit, vložte sem prosím odkaz.“ Nepovinná otázka bez předepsaných možností pro odpověď.

■ 5.2.2 Use cases

V této části jsou vypsány úkoly, které budou mít účastníci testování splnit a zároveň popsáno, jak by měli optimálně postupovat.

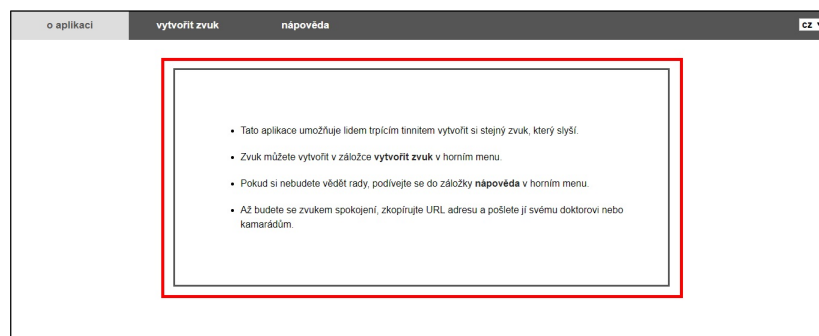
Seznam úkolů.

- use case 0: Spustit aplikaci
- use case 1: Seznámit se s ovládáním aplikace

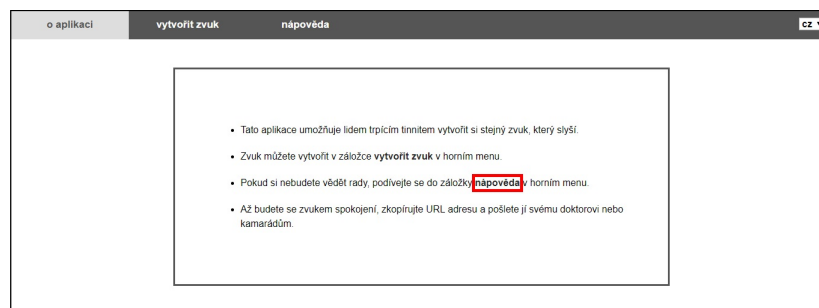
- use case 2: Vytvořit zvuk, který zní jako jejich tinnitus
- use case 3: Zkopírovat a poslat odkaz na stránku, a tím i na vygenerovaný zvuk

Optimální průchod. V této sekci je popsáno, jak by účastníci měli postupovat při plnění jednotlivých úkolů.

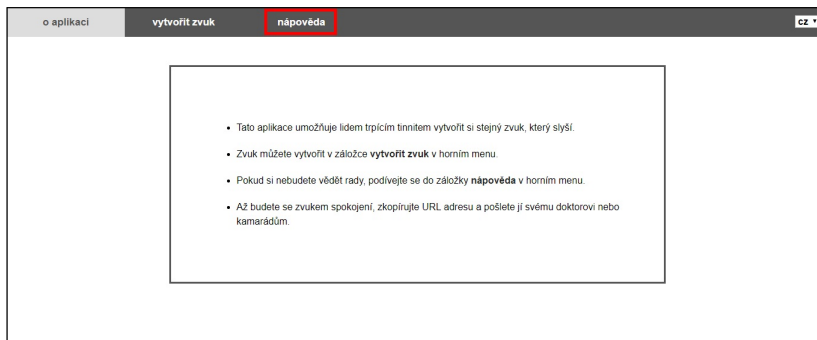
1. **use case 1** Po vložení odkazu `http://tinnitus.felk.cvut.cz` do webového prohlížeče bude uživatel přeměřován na úvodní stránku „o aplikaci“, jejíž text bude psaný v češtině. Uživatel se seznámí s popisem a ovládáním aplikace, který je v této záložce zobrazen (Obrázek 5.1). Případně se kliknutím na odkaz „náповěda“ v úvodním textu (Obrázek 5.2) nebo na položku „náповěda“ v horním menu (Obrázek 5.3) přesune do záložky, ve které je detailně popsáno ovládání aplikace (Obrázek 5.4).



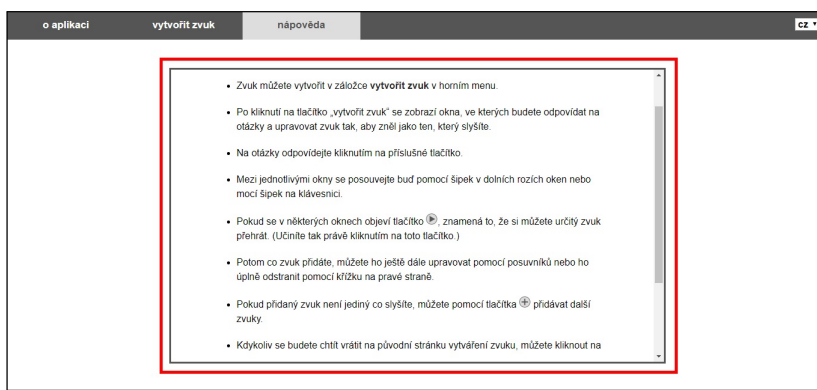
Obrázek 5.1: Úvodní strana aplikace s označeným textem popisujícím aplikaci



Obrázek 5.2: Úvodní strana s označeným odkazem, pomocí něhož se lze dostat do sekce s náповědou



Obrázek 5.3: Úvodní strana aplikace s označenou položkou „náповěда“ v horním menu



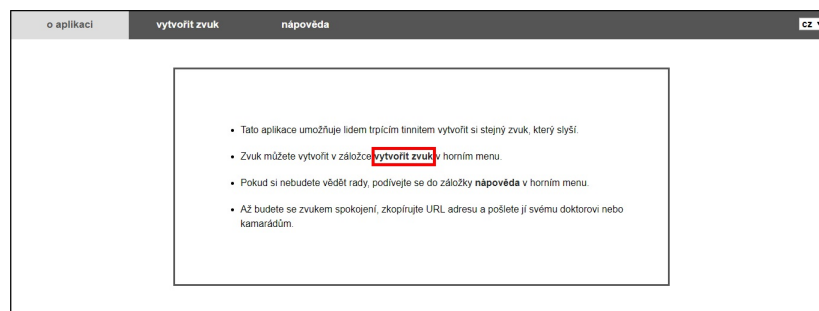
Obrázek 5.4: Sekce „náповěда“ s označeným textem popisujícím ovládání aplikace

2. **use case 2** Uživatel se kliknutím na odkaz „vytvořit zvuk“ v úvodním textu (Obrázek 5.5) nebo na položku „vytvořit zvuk“ v horním menu (Obrázek 5.6) přesune do správné záložky. Zde je nutné kliknout na tlačítko na „vytvořit zvuk“ (Obrázek 5.7). Poté se objeví první okno s dotazem, jestli je zvuk, který uživatel slyší konstantní nebo přerušovaný. Uživatel na tento dotaz odpoví kliknutím na jedno ze dvou tlačítek (Obrázek 5.8) a přesune se do dalšího okna pomocí kliknutí na šipku vpravo dole (Obrázek 5.9). V dalším okně se zobrazí otázka, jestli je zvuk v obou uších stejně hlasitý. Na tuto otázku odpoví uživatel obdobným způsobem, jako v minulém případě. V tomto okně, a ve všech následujících, je navíc možné použít šipku v levém dolním rohu a vrátit se pomocí ní o jedno okno zpět (Obrázek 5.10).

Po úvodních dvou oknech se zobrazí okno pro výběr kategorie zvuku (Obrázek 5.11), ze kterého uživatel vybere ten, o kterém si myslí, že zní jako jeho tinnitus. Dále pak projde dalšími okny, ve kterých buď pomocí tlačítek odpoví na další otázky (Obrázek 5.12) nebo pomocí posuvníků upravuje parametry zvuku (Obrázek 5.13). V posledním okně uživatel přehraje výsledný zvuk pomocí tlačítka ve tvaru ikony PLAY (Obrázek 5.14), eventuálně pomocí posuvníku nastaví poměr hlasitosti mezi ušima

(Obrázek 5.15) a tlačítkem „přidat zvuk“ (Obrázek 5.16) potvrdí, že chce daný zvuk přidat.

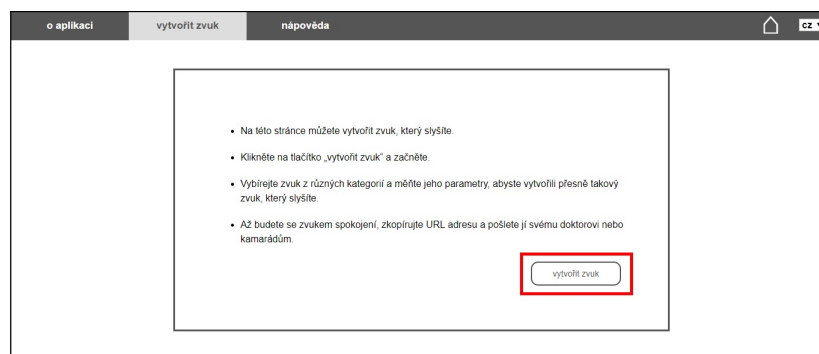
Pokud je přidáný zvuk jediný, který uživatel slyší, tvorba zvuku tímto končí. Pokud se zvuk uživatele tinnitu skládá z více zvuků, je nutné přidat další zvuk pomocí tlačítka „+“ (Obrázek 5.17).



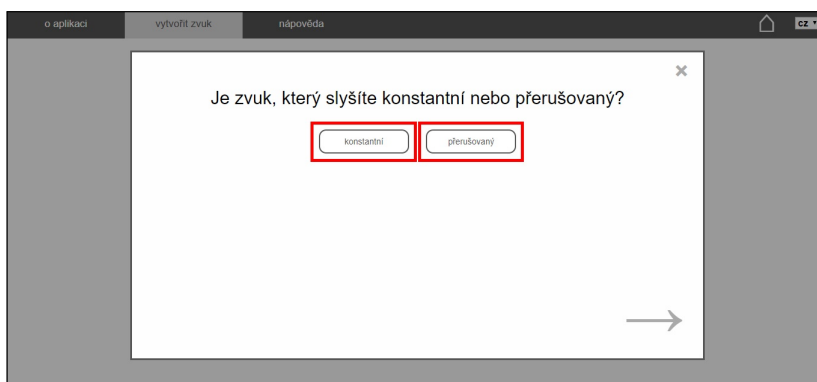
Obrázek 5.5: Úvodní strana s označeným odkazem, pomocí něhož se lze dostat do sekce pro vytvoření zvuku



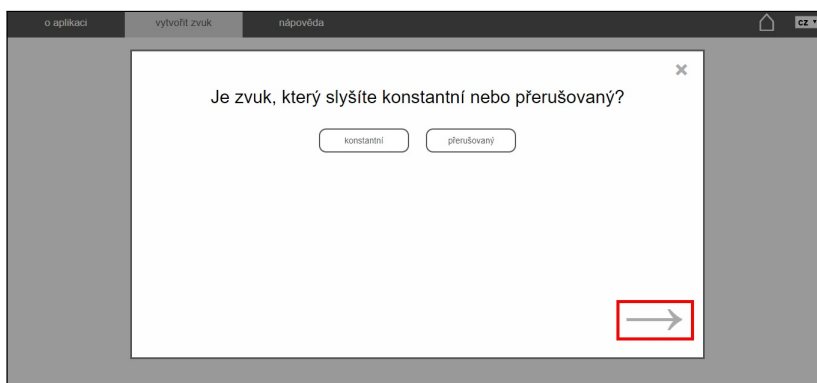
Obrázek 5.6: Menu aplikace s označenou položkou „vytvořit zvuk“



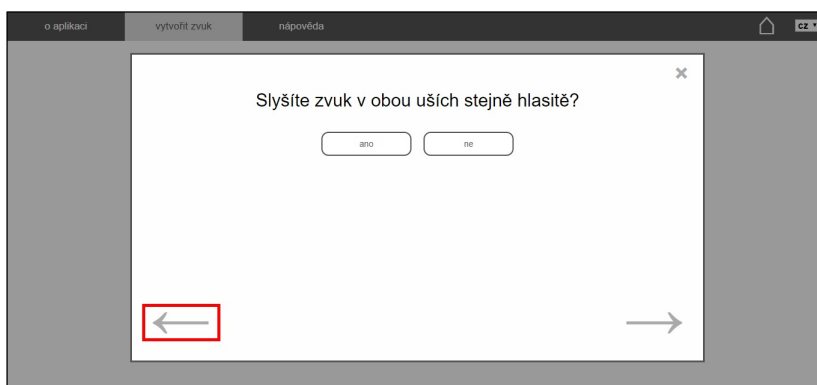
Obrázek 5.7: Sekce pro vytvoření zvuku s označeným tlačítkem „vytvořit zvuk“



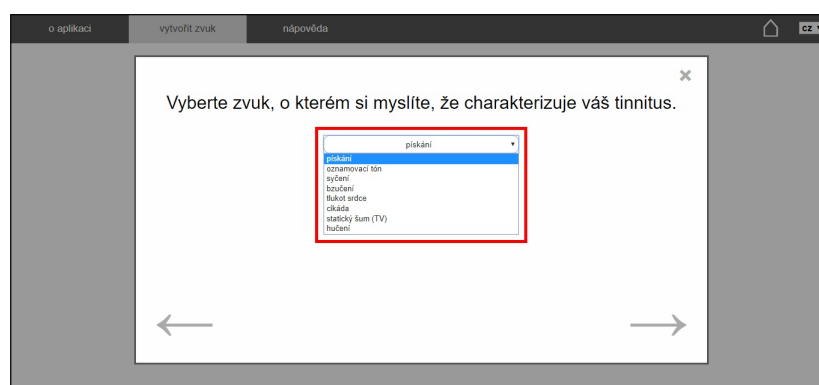
Obrázek 5.8: První okno, které se zobrazí po kliknutí na tlačítko „vytvořit zvuk“ s označenými tlačítky pro odpověď



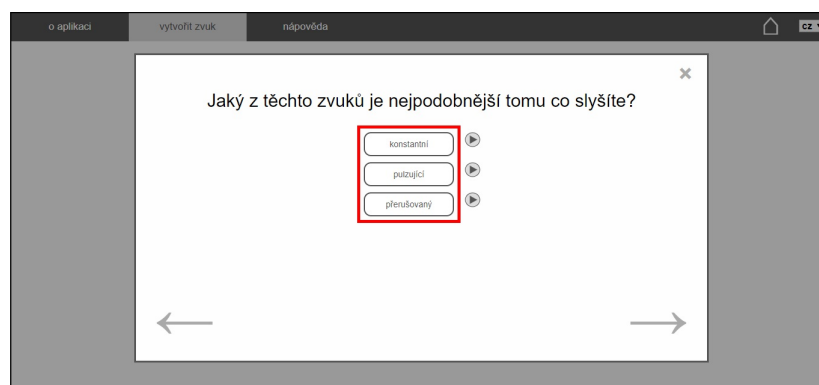
Obrázek 5.9: První okno, které se zobrazí po kliknutí na tlačítko „vytvořit zvuk“ s označenou šipkou pro pokračování



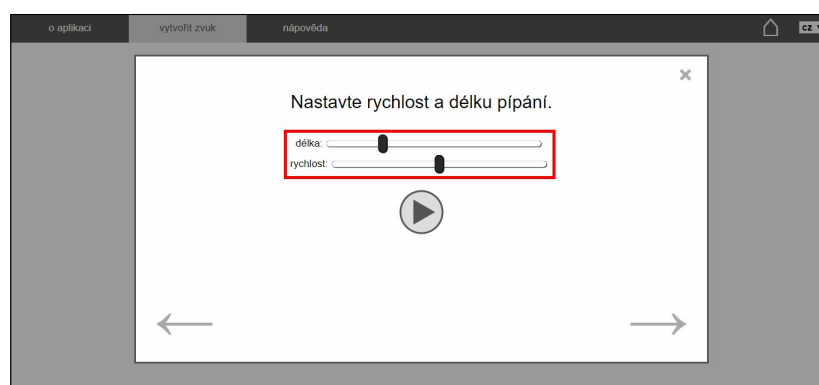
Obrázek 5.10: Druhé okno, které se zobrazí po kliknutí na tlačítko „vytvořit zvuk“ s označenou šipkou pro vrácení se zpět



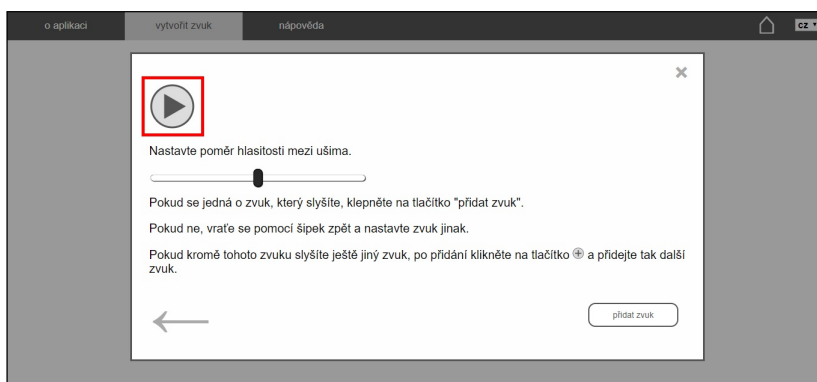
Obrázek 5.11: Okno, umožňující výběr kategorie zvuku s označeným seznamem kategorií



Obrázek 5.12: Příklad okna, zobrazeného při tvoření zvuku, ve kterém je nutné zodpovědět dotaz, s označenými tlačítky pro odpověď



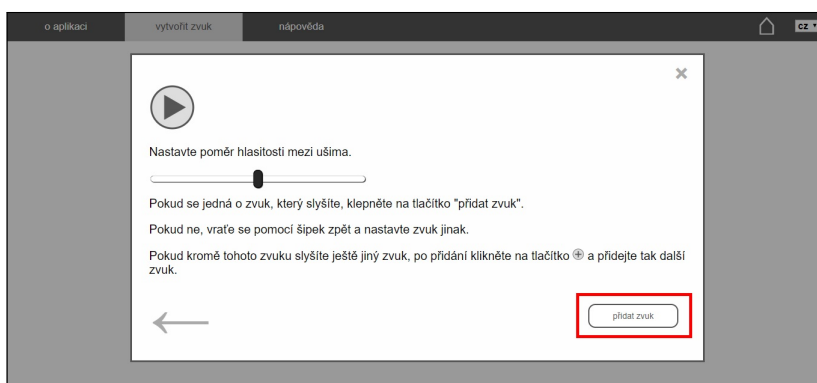
Obrázek 5.13: Příklad okna, zobrazeného při tvoření zvuku, ve kterém je možné upravit zvuk, s označenými posuvníky



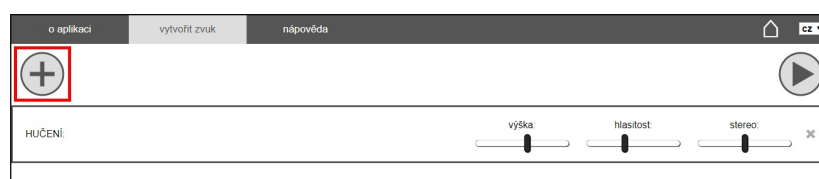
Obrázek 5.14: Poslední okno, které se zobrazí při vytváření zvuku, s označeným tlačítkem PLAY



Obrázek 5.15: Poslední okno, které se zobrazí při vytváření zvuku, s označeným posuvníkem pro nastavení stera



Obrázek 5.16: Poslední okno, které se zobrazí při vytváření zvuku, s označeným tlačítkem pro přidání vytvořeného zvuku



Obrázek 5.17: Stránka s přidáním zvukem hučení, s označeným tlačítkem „+“ pro přidání dalšího zvuku

3. **use case 3** Po ukončení tvorby zvuku zkopíruje URL adresu z adresního řádku, který se zpravidla nachází v horní části prohlížeče. Tuto adresu vloží do on-line dotazníku, což bude simulovat její poslání.

5.2.3 Průběh testování

Zde jsou uvedeny odpovědi z vyplněných on-line dotazníků. Tyto odpovědi jsou následně vyhodnoceny a je udělán závěr tohoto testování.

1. účastník. První účastník se řadí do věkové kategorie 20 – 30 let. Podařilo se mu vygenerovat téměř stejný zvuk, který slyší, ne však úplně stejný. Vygenerovaný zvuk byl konstantní pískání jednoho tónu o frekvenci 6459 Hz, které zní spíše v levém uchu.

2. účastník. Druhý účastník je z věkové kategorie 30 – 40 let. Uvedl, že se mu podařilo vygenerovat téměř stejný zvuk, který slyší. Dále však uvádí, že je pro něj velice složité najít totožný zvuk a vlastně není schopen říci, jestli je zvuk totožný nebo není. Vygenerovaný zvuk byl souzvuk dvou tónů, přičemž jeden je o frekvenci 13847 Hz a druhý 5210 Hz.

3. účastník. Třetímu účastníkovi je mezi 40 a 50 lety. Podařilo se mu vygenerovat téměř stejný zvuk, který slyší, ne však úplně stejný. Odkaz na vytvořený zvuk neuměl vložit.

4. účastník. Čtvrtému účastníkovi je opět mezi 40 a 50 lety a opět se mu nepodařilo vygenerovat úplně přesný zvuk, který slyší, ale hodně podobný. Tomuto účastníkovi se však na rozdíl od předešlého podařilo vložit odkaz. Vytvořil zvuk z jednoho tónu o frekvenci 4244 Hz a druhého tónu o frekvenci 9761 Hz. Zvuk zní jen na levé straně.

5. účastník. Pátý účastník se řadí do kategorie 30 – 40 let. Uvedl, že se mu podařilo vytvořit téměř stejný zvuk, který slyší, ale odkaz na vytvořený zvuk neuložil.

6. účastník. Šestý účastník se je mezi 40 a 50 lety, a stejně jako většině testovaných osob se mu podařilo vytvořit podobný zvuk tomu, který slyší. Jeho zvuk je souzvuk dvou tónů. První má frekvenci 9889 Hz a druhý 9924 Hz. Zvuk je slyšet pouze z pravé strany.

7. účastník. Sedmému účastníkovi je více, než 50 let. V dotazníku uvedl, že se mu povedlo vytvořit úplně stejný zvuk, který slyší. Odkaz na zvuk však do dotazníku neuložil. Zároveň uvedl, že by nebylo špatné mít možnost zvuk uložit do úložiště ve vlastním zařízení.

8. účastník. Osmému účastníkovi, kterému je více než 50 let, se zvuk vygenerovat nepovedlo. Jako důvod uvedl skutečnost, že zvuk, který slyší, v aplikaci nenašel. Na doplňující dotaz, jaký zvuk tedy slyší, odpověděl, že se zvuk jeho tinnitu mění, někdy slyší šum, jindy hukot nebo zvuk obrazovky, dále například šustění papíru nebo proud vody.

9. účastník. Devátému účastníkovi testování je mezi 20 a 30 lety. Zvuk se mu podařilo vygenerovat jen z části. Uvedl, že slyší zvonění o vysoké frekvenci, cyklicky se opakující. Pravděpodobně se mu nepodařilo vytvořit cyklicky se opakující efekt. Zvuk, který vygeneroval, se skládá ze dvou tónů o frekvenci 2702 Hz a 2243 Hz a je slyšet spíše na levé straně.

10. účastník. Desátému účastníkovi je více než 20 a méně než 30 let. Povedlo se mu vygenerovat zvuk velice podobný jeho tinnitu. Jako jediný ze všech účastníků nevytvořil pískání, ale syčení.

11. účastník. Posledním účastníkem byla osoba, starší 50 let, které se zvuk vygenerovat nepodařilo. Dále tento účastník uvedl, že jeho tinnitus zní jako hučení letadlového motoru.

■ 5.2.4 Závěr

Účastníci testování nakonec všechny úkoly zvládli bez větších potíží. Většinu testovaných osob se povedlo vytvořit zvuk velice podobný tomu, který slyší. Jeden člověk vygeneroval zvuk totožný zvuku jeho tinnitu. Tři osoby uvedli, že se jim zvuk vygenerovat nepodařilo z důvodu absence zvuku v nabídce. V jednom případě byla důvodem neúspěchu skutečnost, že zvuk tinnitu tohoto účastníka se pokaždé liší. Myslím, že řešením by bylo zvláště vygenerovat všechny zvuky, které osoba slyší a doplnit, že se tyto zvuky během časového úseku střídají. Nemyslím si však, že by se kvůli tomu měla měnit samotná aplikace, protože zvuky, které uživatel popsal, v aplikaci vytvořit lze. Nikdo ze zúčastněných osob neměl problém s ovládním aplikace. Za zmínku také stojí poznámka jednoho z účastníků o tom, že je možné, že není schopný určit totožný zvuk. Zajímavým faktem je, že větší polovina testovaných osob slyší pískání, obvykle o dvou různých frekvencích, a zbytek šumění nebo hučení. Zároveň nikdo z účastníků nevyužil možnost přidat zvuky z více kategorií.

■ 5.3 Testování použitelnosti

Cíle testu. Testování použitelnosti aplikace umožňuje sledovat, jak se uživatelé při jejím používání chovají a jak postupují při plnění jednotlivých, předem zadaných, úkolů. Cílem testování je odhalit případné nedostatky aplikace před jejím finálním dokončením.

Cílová skupina. Aplikace je určena pro uživatele trpící tinnitem, kteří umějí číst, rozumějí textu psanému v českém nebo anglickém jazyce a dokáží ovládat počítač na základní úrovni. Pro testování použitelnosti však není potřeba, aby účastníci tinnitem doopravdy trpěli. Aplikaci otestují čtyři osoby ve věku 19 až 49 let, které tinnitem netrpí, jinak ale splňují všechny ostatní podmínky.

■ 5.3.1 Podmínky pro testování

V této sekci jsou popsány výchozí podmínky, které budou mít všichni účastníci při testování aplikace.

Použitý software a hardware. Testování bude probíhat na vlastních strojích uživatelů. Aby bylo možné aplikaci otestovat co nejdůkladněji, každému účastníkovi bude vybrán jiný webový prohlížeč. Sníží se tak možnost neodhalení chyby, v případě, že aplikace nebude v nějakém z prohlížečů fungovat.

Výchozí stav. Výchozí stav pro testování bude zapnutá aplikace se zobrazenou úvodní stránkou v českém jazyce, v předem určeném prohlížeči.

■ 5.3.2 Use cases

Seznam úkolů je stejný, jako při testování účastníků trpících tinnitem, kteří vyplňovali on-line dotazník. (Viz kapitola Use cases v předchozí sekci). S tím rozdílem, že v druhém úkolu účastníci nebudou vytvářet zvuk, který slyší, ale zvuk, který jim bude na začátku testování popsán. Zároveň v posledním úkolu nebudou odkaz vkládat do dotazníku, ale do textového souboru, což bude simulovat jeho poslání.

■ 5.3.3 Průběh testování

Zde jsou uvedeny informace o účastnících testování. Dále je zde popsáno, jak postupovali při jednotlivých úkolech.

1. účastník.

- věk: 19 let
- software: Windows 10
- prohlížeč: Opera

1. **use case 1** První účastník si přečetl pokyny na úvodní straně. Do nápovědy se nepodíval.
2. **use case 2** Účastník odkaz v textu na záložku „vytvořit zvuk“ nenašel. Do této sekce se dostal přes položku v horním menu. Přečetl si instrukce

a začal nastavovat zvuk. Po zodpovězení první otázky na chvíli zaváhal, nebyl si totiž jistý, že se se po kliknutí na tlačítko s odpovědí automaticky zobrazí další okno. Předpokládal, že skutečnost, že se žádné další okno nezobrazilo, je daná tím, že aplikace pomalu reaguje. Po chvíli ale sám přišel na to, že musí kliknout na šipku ukazující doprava. Účastník poté bez problémů zodpověděl další otázky a nastavil zvuk. V posledním okně opět mírně zaváhal, a to když měl za úkol přehrát zvuk, který vytvořil, a přidat ho, pokud je s ním spokojen. Účastník si totiž nejdříve přečetl text a až poté zjistil, že je na stránce tlačítko PLAY, pomocí něhož si má zvuk přehrát. Navrhuje na úvod okna napsat text, který nejdříve upozorní uživatele, že si má zvuk přehrát, a až poté pokračovat s dalším textem.

3. **use case 3** Zkopírování adresy a posláání odkazu účastníkovi nedělalo problém.

2. účastník.

- věk: 24 let
- software: Windows 10
- prohlížeč: Edge

1. **use case 1** Druhý účastník si přečetl pokyny jak na úvodní straně, tak v nápovědě.
2. **use case 2** Účastník se na stránku s možností vytvoření zvuku dostal přes položku „vytvořit zvuk“ v horním menu. Přečetl si instrukce a začal nastavovat zvuk. Po zodpovězení první otázky ale stejně jako první účastník zaváhal, myslel si totiž, že se zobrazí další okno už po kliknutí na tlačítko s odpovědí. Se zbytkem nastavování neměl žádné problémy.
3. **use case 3** Zkopírování adresy a posláání odkazu účastníkovi nedělalo problém.

3. účastník.

- věk: 46 let
- software: Windows 10

- prohlížeč: Mozilla Firefox

1. **use case 1** Třetí účastník si důkladně přečetl pokyny na úvodní straně, do nápovědy se ale, stejně jako účastníci před ním, nepodíval.
2. **use case 2** Účastník odkaz v textu na záložku „vytvořit zvuk“ nenašel. Do sekce, ve které se vytváří zvuk, se dostal přes položku v horním menu. I na této straně si přečetl instrukce a začal nastavovat zvuk. Účastník se pokusil vytvořit zvuk pískání. Přesto, že se mezi prvními třemi okny pohyboval bez problémů, při dotazu, jestli je zvuk vyšší, nižší nebo podobný ukázce zaváhá a po kliknutí na tlačítko s odpovědí čeká, že se výška tónu ukázky rovnou změní. Je tedy poučen, že musí kliknout na šipku v pravém dolním rohu, aby se zobrazilo další okno. Další nastavování zvuku proběhlo bez problémů. V posledním okně si účastník není jistý, co by měl udělat. Vůbec nevyužil možnost přehrání vytvořeného zvuku a rovnou zvuk přidal. Tento účastník se navíc rozhodl přidat ještě zvuk hučení. Jelikož hučení v aplikaci znělo mnohem tišeji, než pískání, které nastavoval předtím, musel zvýšit hlasitost reproduktorů. Zároveň se pokusil využít možnosti spuštění právě vytvářeného zvuku s již vytvořeným zvukem, a zvuk hučení nebyl přes pískání vůbec slyšet.
3. **use case 3** U posledního úkolu si uživatel není jistý, co přesně se po něm požaduje. Přejde tedy do sekce „náповěda“, a snaží se najít jakým způsobem lze zvuk poslat. V nápovědě tato informace není, takže nakonec navštíví úvodní stránku, kde informaci, kterou hledá, najde. Chvíli váhá, není si jistý, jestli chápe pojem „URL adresa“. I přes zaváhání ale nakonec i poslední úkol dokončí bez jakékoliv nápovědy.

4. účastník.

- věk: 49 let
- software: Windows 10
- prohlížeč: Chrome

1. **use case 1** Čtvrtý účastník si důkladně přečetl pokyny na úvodní straně, do nápovědy se ale nepodíval.
2. **use case 2** Účastník odkaz v textu na záložku „vytvořit zvuk“ nenašel. Do sekce, ve které se vytváří zvuk, se dostal přes položku v horním menu. Na této straně si opět přečetl instrukce a klikl na tlačítko „vytvořit

zvuk“. Hned otázkou v prvním okně byl trochu zmatený. Otázka zní „Je zvuk, který slyšíte konstantní nebo přerušovaný?“, spojením „zvuk, který slyšíte“ je myšlen zvuk, který uživatel slyší ve své hlavě, tedy zvuk tinnitu. Účastník testování ale toto spojení pochopil tak, že aplikace přehrála nějaký zvuk a on ho má slyšet. Zmátlo ho tedy, že žádný neslyší. Po vysvětlení tohoto nedorozumění se zbytkem vytváření zvuku neměl žádný větší problém.

3. **use case 3** Zkopírování adresy a posláání odkazu účastníkovi nedělalo problém.

■ 5.3.4 Závěr

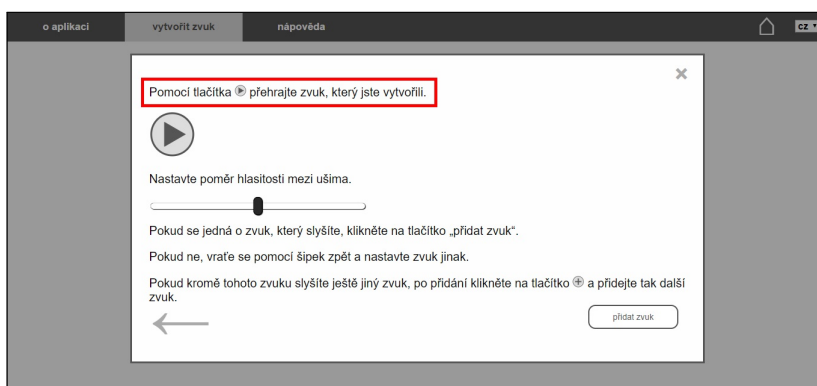
Všichni účastníci testování použitelnosti nakonec zvládli zadané úkoly bez větších potíží. Nejzávažnějším odhaleným problémem byla nesrozumitelnost pokynů v posledním okně při vytváření zvuku. Většina osob si musela přečíst text dvakrát, aby pochopila, co je po ní požadováno. Dalším problémem je absence nápovědy ohledně URL adresy v sekci „nápověda“. Také by nebylo špatné vysvětlit, co to URL adresa je a kde ji hledat. Další odhalenou chybou je nejednoznačné vysvětlení, že po každé odpovědi musí uživatel ještě kliknout na šipku směřující doprava, aby se zobrazilo další okno. V neposlední řadě byl odhalen problém s rozdílnou hlasitostí jednotlivých zvuků. Poslední testující uživatel měl také problém s nejednoznačným významem otázky zobrazené v prvním okně. Problémy odhalené testováním aplikace budou opraveny a řešení popsáno v kapitole „Úprava aplikace po testování“.

Kapitola 6

Úprava aplikace po testování

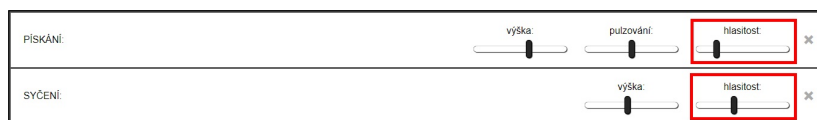
V předchozí kapitole (Kapitola 5) bylo zjištěno, že se v aplikaci vyskytují drobné chyby. Vesměš ale byli uživatelé s aplikací spokojeni. V následujících podkapitolách budou rozebrány nedostatky, které testování uživatelského rozhraní odhalilo a zároveň bude popsáno, jak byly tyto chyby odstraněny.

Poslední okno při tvorbě zvuku. Jedním z nedostatků bylo neúplné pochopení pokynů v posledním okně při vytváření zvuku. Tento problém jsem vyřešila přidáním textu, který vybízí uživatele k přehrání zvuku, nad tlačítko PLAY (viz obrázek 6.1).



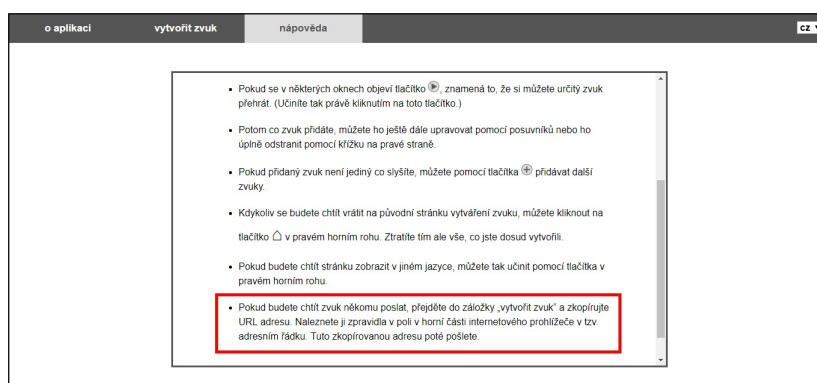
Obrázek 6.1: Přidání textu do posledního okna zobrazeného při tvorbě zvuku

Defaultní hlasitosti některých zvuků. Při testování bylo odhaleno, že některé zvuky znějí hlasitěji než jiné, přestože hlasitost všech zvuků je defaultně nastavená stejně. Tento problém jsem vyřešila zvýšením hlasitosti o dvojnásobek u zvuku šumění, hučení, ladění televize a tlukotu srdce (viz obrázek 6.2).



Obrázek 6.2: Přidané zvuky pískání a hučení, s označenými defaultními hlasitostmi, kde hučení je hlasitější, než pískání

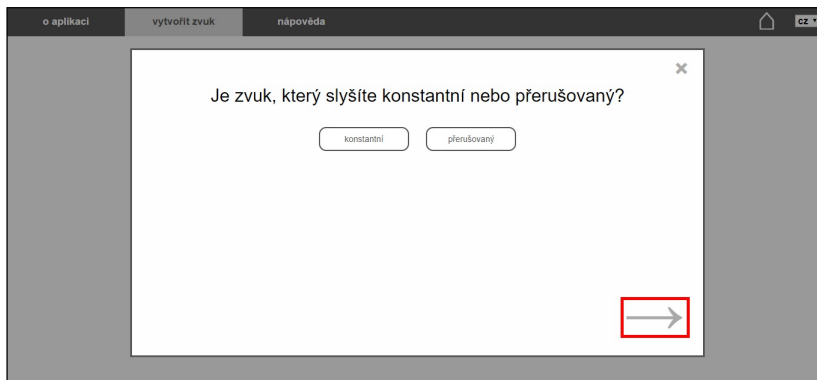
URL adresa. Dalším problémem byl fakt, že si jeden účastník testování použitelnosti aplikace nebyl jistý, co si představit pod pojmem „URL adresa“. Zároveň jeden účastník, který se zúčastnil testování s lidmi trpícími tinnitem, vůbec nedokázal zkopírovat adresu a vložit ji. Rozhodla jsem se proto do nápovědy podrobněji vysvětlit, co je to URL adresa (viz obrázek 6.3).



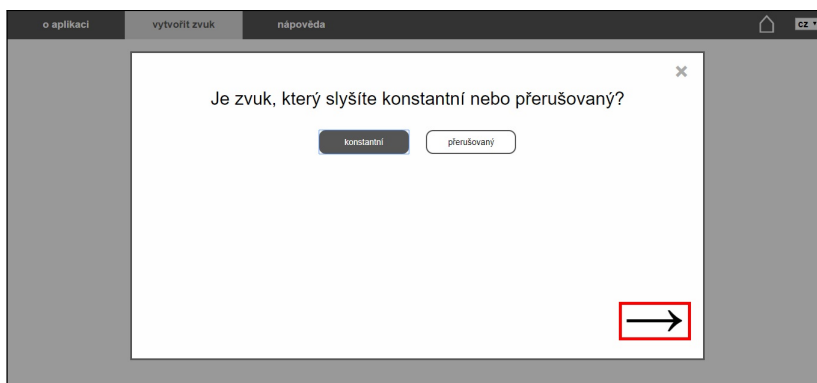
Obrázek 6.3: Detailní popis pojmu „URL adresa“ v sekci „nápověda“

Pohyb mezi okny. Většina účastníků testování použitelnosti byla na začátku tvoření zvuku zmataná způsobem přecházení mezi okny. Účastníci očekávali, že se nové okno zobrazí po kliknutí na tlačítko s odpovědí a nebude nutné použít šipku v pravém dolním rohu. Myslím si, že způsob posouvání mezi okny pomocí šipek je zvolen správně, jelikož si uživatel může odpověď lépe rozmyslet a zobrazit si další okno, až sám bude chtít. Na druhou stranu je nutné skutečnost, že byla většina účastníků testování zmatana, řešit. Nakonec jsem tento problém vyřešila názornějším upozorněním na skutečnost, že je nutné kliknout na šipku. V prvním okně, které se zobrazí při vytváření zvuku tedy po kliknutí na tlačítko s odpovědí, šipka v pravém dolním rohu „blikne“. Tedy během půl vteřiny změní barvu na černou a poté zase zpátky na původní

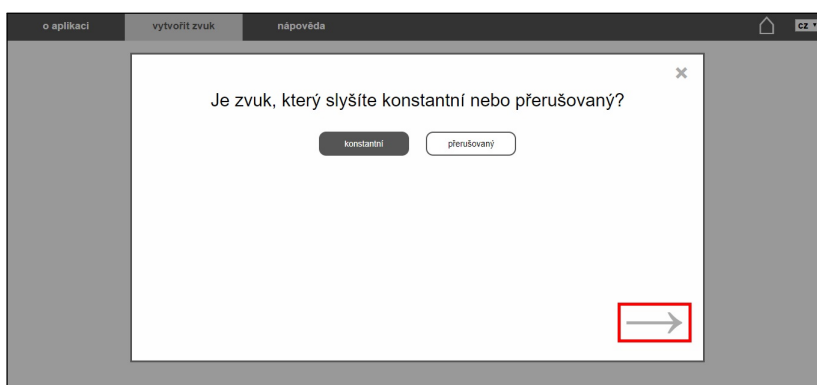
barvu. Tato úprava by měla uživatele upozornit na skutečnost, že je nutné šipku zmáčknout (viz obrázky 6.4, 6.5 a 6.6).



Obrázek 6.4: První okno při tvorbě zvuku s označenou šipkou, před kliknutím na tlačítko s odpovědí

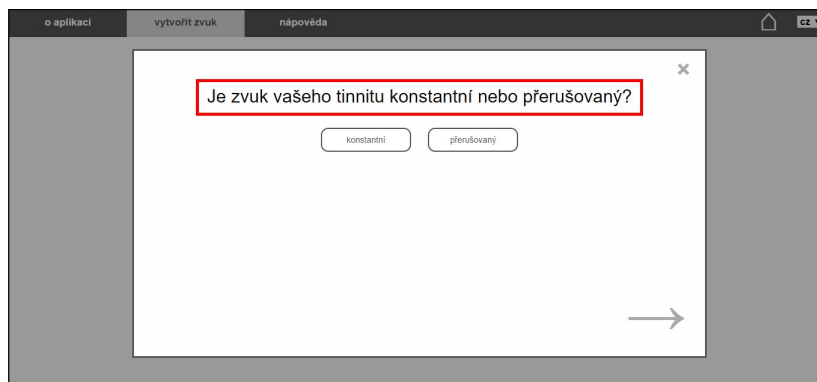


Obrázek 6.5: První okno při tvorbě zvuku s označenou šipkou, těsně po kliknutí na tlačítko s odpovědí



Obrázek 6.6: První okno při tvorbě zvuku s označenou šipkou, která půl vteřinu po kliknutí na tlačítko s odpovědí změnila barvu na původní

Nejednoznačnost otázky v prvním okně. V prvním okně zobrazeném při tvorbě zvuku je zobrazena následující otázka „Je zvuk, který slyšíte konstantní nebo přerušovaný?“. Spojení „zvuk, který slyšíte“ může být pro uživatele matoucí, a mohou si myslet, že se jedná o zvuk, který má být spuštěn aplikací. Mělo se však jednat o zvuk jejich tinnitu. Proto bude tato otázka upravena, a spojení „zvuk, který slyšíte“ bude nahrazeno spojením „zvuk vašeho tinnitu“ (viz obrázek 6.7).



Obrázek 6.7: První okno při tvorbě zvuku s označeným textem, který byl změněn

Kapitola 7

Závěr

Pro svou práci jsem si vybrala poměrně aktuální téma, a tím je v současnosti velmi rozšířené postižení sluchu zvané tinnitus. Přesto že je tinnitus považován spíše za symptom než onemocnění, ve velké míře narušuje kvalitu života lidem, kteří ho mají, a neměl by být brán na lehkou váhu.

Úvodem jsem popsala zvuk z fyzikálního hlediska a vysvětlila rozdíl mezi tóny a hluky. Poté jsem definovala sluch a popsala sluchové ústrojí. Dále jsem v této práci vysvětlila pojem tinnitus a pokusila se zmapovat příčiny jeho vzniku. V další části jsem rozebrala současné metody pro zjištění zvuku tinnitu a metody jeho léčby. Zároveň jsem zde popsala svoji zkušenost z konzultací s lékaři, a postoje klinik v České republice k tomuto problému. Na závěr jsem zmínila několik aplikací, které se tématem tinnitus zabývají. V kapitole Návrh jsem tvorbu aplikace rozdělila na několik podproblémů, a pro každý navrhla jeho řešení. Nejdříve jsem zjistila, jak je zvuk tinnitu nejčastěji popisován, poté jsem dané zvuky rozebrala z fyzikálního hlediska, navrhla jsem způsob generování zvuků, a nakonec popsala uživatelské rozhraní aplikace. Tyto návrhy jsem poté uvedla v praxi a jejich realizaci popsala v kapitole Realizace. Po vytvoření aplikace jsem ji podrobila uživatelskému testování, které jsem rozdělila do dvou částí. V první testovali aplikaci lidé s tinnitem. Toto testování dopadlo celkem pozitivně, protože se většině účastníků podařilo v aplikaci vytvořit zvuk, který slyší. V druhé proběhlo testování použitelnosti, které odhalilo pár drobných chyb, vcelku ale byli všichni účastníci spokojeni. Cílem této práce bylo zmapovat metody pro zjištění zvuku tinnitu a vytvořit on-line prostředí pro simulaci tinnitu. Zjistila jsem, že v současné době sice existuje několik běžných metod pro odhalení zvuku, který daná osoba trpící tinnitem slyší, žádná z nich ale není stoprocentní, ve většině případů se jedná pouze o přiblížení tohoto zvuku k nějakému obecně známému zvuku. Myslím tedy, že by moje práce mohla do budoucna alespoň z části pomoci vyřešit tento problém.

Případná vylepšení aplikace. V tuto chvíli je vytvořena fungující webová aplikace sloužící pro simulaci zvuku tinnitu. Stále však existují způsoby, jak ji vylepšit. Například by bylo možné do budoucna rozšířit množinu zvuků, ze kterých je možné složit výsledný zvuk. Dále by mohla být naprogramována možnost přidání více zvuků z jedné kategorie nebo možnost nastavení více parametrů u daného zvuku.

Příloha A

Uživatelská příručka

URL webové aplikace: <http://tinnitus.felk.cvut.cz/>
Aplikace nefunguje v internetovém prohlížeči Internet Explorer.

Úvod. Po zapnutí aplikace se zobrazí úvodní strana s textem psaným v češtině. Pro přepnutí jazyka stránky lze využít výběrového pole v pravém horním rohu. Je možné přepnout jazyk aplikace do anglického nebo českého jazyka. Na úvodní straně se nachází popis aplikace a stručný návod k jejímu používání. V textu lze kliknout na tučně vyznačená slova „vytvořit zvuk“ a „nápověda“. Tato slova jsou odkazy a uživatele přesměrují na stejnojmennou záložku.

Nápověda. V sekci „nápověda“ se nachází detailní popis aplikace. Je zde například vysvětlen postup pro vytvoření zvuku. Dále je zde popsáno, jakým způsobem se pohybovat mezi okny, jak přidat další zvuk, jak změnit jazyk aplikace, či jakým způsobem lze vytvořený zvuk někomu poslat.

Tvorba zvuku. Pro samotné tvoření zvuku je nutné se přesunout do sekce „vytvořit zvuk“. Toho lze docílit pomocí kliknutí na stejnojmennou záložku v horním menu, nebo na odkaz v textu úvodní stránky či v textu nápovědy. Zde je nutné kliknout na tlačítko na „vytvořit zvuk“. Poté se budou zobrazovat okna, ve kterých bude nutné buď odpovědět na otázku, nebo nastavit dané parametry zvuku. Na otázku lze odpovědět kliknutím na příslušné tlačítko s textem zvolené odpovědi. Nastavit parametr zvuku

je možné posunutím posuvníku. Pro zobrazení dalšího okna je nutné kliknout na tlačítko ve tvaru šipky vpravo, které je umístěno v pravém dolním rohu okna. Zároveň se lze vrátit do předešlých oken pomocí šipky v levém dolním rohu okna. V posledním zobrazeném okně je možné přehrát si vytvořený zvuk a poté jej pomocí tlačítka „přidat zvuk“ v pravém dolním rohu přidat. Dále je možné přidat k již stávajícímu zvuku další zvuky. Lze tak učinit pomocí tlačítka „+“ v levém horním rohu stránky. Přidané zvuky lze také pomocí tlačítka PLAY v pravém horním rohu přehrát nebo znovu upravit jejich parametry.

Příloha B

Obsah CD

- Adresář **Text** obsahuje zdrojové tex soubory k závěrečné zprávě.
- Adresář **Web** obsahuje zdrojové kódy v php, JavaScript a CSS.
 - Podadresář **css** obsahuje zdrojové kódy v CSS.
 - Podadresář **cz** obsahuje zdrojové kódy v php, použité pro stránky psané v českém jazyce.
 - Podadresář **en** obsahuje zdrojové kódy v php, použité pro stránky psané v anglickém jazyce.
 - Podadresář **js** obsahuje zdrojové kódy v JavaScriptu.
 - Podadresář **svg** obsahuje kódy SVG obrázků.
- Soubor **odkazy_na_vygenerovane_zvuky.txt** obsahuje odkazy na zvuky, které byly vygenerovány účastníky testování trpícími tinnitem.
- Soubor **online_prostredi_pro_simulaci_tinnitu.pdf** je elektronická verze dokumentace k diplomové práci.
- Soubor **url_aplikace.txt** obsahuje URL webové aplikace.



Příloha C

Literatura

- [Ash15] M.M.J. Ashby, *Úvod do obecné fonetiky*, Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2015.
- [Ass16] American Tinnitus Association, *Managing your tinnitus*, <https://www.ata.org/managing-your-tinnitus/treatment-options>, Prosinec 2016, [Online].
- [Ass18] ———, *Understanding the facts*, <https://www.ata.org/understanding-facts/causes>, Duben 2018, [Online].
- [Cas13a] Joseph Castro, *What is blue noise?*, <https://www.livescience.com/38583-what-is-blue-noise.html>, Červenec 2013, [Online].
- [Cas13b] ———, *What is brown noise?*, <https://www.mathworks.com/discovery/genetic-algorithm.html>, Červenec 2013, [Online].
- [Cas13c] ———, *What is pink noise?*, <https://www.livescience.com/38464-what-is-pink-noise.html>, Červenec 2013, [Online].
- [Cen13] Sound Relief Hearing Center, *Sounds of tinnitus*, <https://www.soundrelief.com/tinnitus/sounds-tinnitus>, 2013, [Online].
- [Dž18] Jenšovský Džupa, *Diagnostika a léčba osteoporózy a dalších onemocnění skeletu*, Charles University in Prague, Karolinum Press, 2018, 2018.
- [Har01] Douglas Harper, *Online etymology dictionary*, <https://www.etymonline.com/word/tinnitusi>, 2001, [Online].

- [Hea17] Janet Heath, *Basics of bandpass filters*, <https://www.analogictips.com/basics-of-bandpass-filters/>, Květen 2017, [Online].
- [Hil18] Ansley Hill, *12 benefits of ginkgo biloba (plus side effects & dosage)*, <https://www.healthline.com/nutrition/ginkgo-biloba-benefits>, Květen 2018, [Online].
- [kM18] Zaměstnanci kliniky Mayo, *Diseases and conditions - tinnitus*, <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/tinnitus/symptoms-causes/syc-20350156>, Březen 2018, [Online].
- [Kre13] Johannes Kreidler, *Loadbang: Programming electronic music in pure data*, Červen 2013.
- [Lep08] Oldřich Lepil, *Fyzika pro gymnázia, mechanické kmitání a vlnění*, 2008.
- [Mac17] Markus MacGill, *What should my heart rate be?*, <https://www.medicalnewstoday.com/articles/235710.php>, Listopad 2017, [Online].
- [Mey09] David Meyerson, *The truth about tinnitus treatment*, 2009.
- [MLDK10] A.R. Møller, B. Langguth, D. DeRidder, and T. Kleinjung, *Textbook of tinnitus*, Springer New York, 2010.
- [Moo14] Brian CJ Moore, *Measuring the pitch and loudness of tinnitus*, <https://www.entandaudiologynews.com/media/3073/entjf14-audiologymoore-new.pdf>, 2014, [Online].
- [OJ] Výzkumné centrum JAMU Ondřej Jirásek, *Vizualizace barvy zvuku - tvar signálu, osciloskop*, <http://www.audified.com/projekt/vavcjamu/page76/page86/page86.html>, [Online].
- [Reč13] Mária Rečičárová, *Tinnitus - diagnostika a liečba*, GREGOR, 2013.
- [She13] B.K. Shepard, *Refining sound: A practical guide to synthesis and synthesizers*, OUP USA, 2013.
- [Sid19] Amandeep S. Sidhu, *Biomedical data and applications*, Leden 2019.
- [Sno04] J.B. Snow, *Tinnitus: Theory and management*, BC Decker, 2004.
- [Uni10] International Telecommunication Union, *Various tones used in national networks*, https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/sp/T-SP-E.180-2010-PDF-E.pdf, Květen 2010, [Online].
- [Wij09] J.J. Wijker, *Random vibrations in spacecraft structures design: Theory and applications*, Springer Netherlands, 2009.