

Návrh signalizačního zařízení pro osoby se sluchovým postižením

Miroslav Dolejš

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Miroslav Dolejš**
Osobní číslo: **A20329**
Studijní program: **B1032A020001 Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Návrh signalizačního zařízení pro osoby se sluchovým postižením.**
Téma práce anglicky: **Design of a signalling device for people with hearing impairment.**

Zásady pro vypracování

1. Popište základní charakteristiky zvuku.
2. Popište metody zpracování signálu v oblasti frekvenční analýzy.
3. Zpracujte charakteristiku hluchoněmých osob a obecně sluchového postižení.
4. Provedte průzkum trhu v oblasti signalizačních zařízení pro osoby se sluchovým postižením a popište principy, jakými lze upozornit hluchoněmou osobu na neočekávanou událost.
5. Realizujte měření akustického signálu vybraných požárních sirén, následně proveďte její frekvenční analýzu.
6. Navrhněte vlastní řešení požární signalizace pro osoby se sluchovým postižením.
7. Porovnejte spolehlivost navrhnutého řešení s konkurenčními systémy.
8. Nastiňte další vývoj v oblasti otázky signalizace pro hluchoněmé osoby.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. NOVÝ, Richard. Hluk a chvění. 4. přepracované vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2019. ISBN 978-80-01-06554-9.
2. DRŠATA, Jakub a Radan HAVLÍK A KOLEKTIV, CHROBOK, Viktor, ed. Foniatrie – sluch. Havlíčkův Brod: Tobiáš, 2016. ISBN 978-80-7311-159-5.
3. BLANAŘ, Vít, Arnošt PELLANT a Jan MEJZLÍK. Vyšetřování a hodnocení potíží nemocných s nedoslýchavostí podmíněnou hlukem. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2020. ISBN 978-80-7560-341-8.
4. MATOUŠEK, David a Bohumil BRTNÍK. Aplikace algoritmů číslicového zpracování signálů. Praha: BEN – technická literatura, 2014. ISBN 978-80-7300-478-1.
5. Hearing loss prevalence and years lived with disability, 1990, 2019: findings from the Global Burden of Disease Study 2019: Findings. The Lancet [online]. Washington: University of Washington, 2021, 2021 [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(21\)00516-X/fulltext#seccetitle190](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(21)00516-X/fulltext#seccetitle190).

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Rudolf Drga, Ph.D.**
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **13. prosince 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **5. června 2023**



doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan

Ing. Jan Valouch, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 13. prosince 2022

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 29. 5. 2023

Miroslav Dolejš, v. r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnout signalizační zařízení, které osobu se sluchovým postižením upozorní na poplachový stav požární signalizace. Zařízení bude schopné rozpoznat akustický signál požární sirény a upozornit osobu na nebezpečnou událost jiným způsobem než vjemem vnímaný sluchovým orgánem. Teoretická část slouží jako nezbytný teoretický základ pro následnou schopnost realizace daného zařízení. Praktická část se věnuje samotnému návrhu. Navrhované zařízení by mohlo sloužit jako koncept pro implementaci do mobilních zařízení, které sluchově postižené osoby běžně využívají nebo by mohli teoreticky využívat.

Klíčová slova: Ztráta sluchu, sluchové postižení, hluchota, signalizační zařízení, spektrální analýza, zpracování signálu

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design a signaling device that will alert a person with hearing impairment to a fire alarm condition. The device will be able to recognize the acoustic signal of the fire alarm and alert the person to a dangerous event in a way other than the perception perceived by the auditory organ. The theoretical part serves as a necessary theoretical basis for the subsequent ability to implement the device. The practical part deals with the design itself. The proposed device could serve as a concept for implementation in mobile devices that hearing-impaired people commonly use or could theoretically use.

Keywords: Hearing loss, hearing impairment, deafness, signaling devices, spectrum analysis, signal processing

Tímto bych chtěl v první řadě hlavně poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Rudolfu Drgovi, Ph.D. za odborné vedení, rady, nápady a maximální ochotu po celou dobu psaní práce. Dále mé poděkování patří panu Ing. Pavlu Stokláskovi, Ph.D. za odborné rady, konzultace a za výpomoc s 3D tiskem a panu Ing. Pavlu Drábkovi, Ph.D. za odborné rady, konzultace a výpomoc s měřením. Ze strany akademických pracovníků bych v neposlední řadě chtěl poděkovat panu Ing. Stanislavu Kovářovi, Ph.D. za odborné rady a maximální ochotu při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za psychickou a finanční podporu, nejen během zpracovávání bakalářské práce, ale i po celou dobu studia. A poslední poděkování patří mým přátelům Františku Traganovi, Elišce Štrajtové, Patriku Lehnerovi a Dušanu Papulákovi za psychickou podporu, asistenci při měření a rady.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TEORIE ZVUKU	13
1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY ZVUKU.....	13
1.1.1 Rychlost šíření.....	13
1.1.2 Frekvence a vlnová délka.....	14
1.1.3 Infrazvuk a ultrazvuk	14
1.1.4 Akustický tlak	15
1.1.5 Energie přenášená akustickým vlněním.....	16
1.1.6 Intenzita zvuku	18
1.2 DECIBELOVÉ STUPNICE	18
1.2.1 Hladina akustického tlaku.....	18
1.2.2 Hladina akustického výkonu	19
1.2.3 Hladina intenzity zvuku	20
2 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU V OBLASTÍ FREKVENČNÍ ANALÝZY	21
2.1 OBECNÁ FOURIEROVA TRANSFORMACE (FT).....	22
2.2 FOURIEROVY ŘADY (FŘ).....	23
2.3 FOURIEROVA TRANSFORMACE DISKRÉTNÍ V ČASE (DTFT)	24
2.4 DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE (DFT)	24
3 KLASIFIKACE SLUCHOVÉHO POSTIŽENÍ	27
3.1 HODNOCENÍ SLUCHOVÉHO POSTIŽENÍ	27
3.2 NEJČETNĚJŠÍ PŘÍČINY SLUCHOVÝCH PORUCH A VAD	27
4 HIERARCHIE TECHNICKÝCH PROSTŘEDKŮ URČEČNÝCH OSOBÁM SE SLUCHOVÝM POSTIŽENÍM	29
5 TYPY SIGNALIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ PRO OSOBY SE SLUCHOVÝM POSTIŽENÍM AKTUÁLNĚ DOSTUPNÉ NA TRHU	30
5.1 PRO DOMÁCÍ VYUŽITÍ	30
5.1.1 Systém Signolux.....	30
5.2 SOUČÁST JINÝCH SYSTÉMŮ	34
5.3 MOBILNÍ ZAŘÍZENÍ	36
5.3.1 Live Transcribe	36
5.3.2 Vibrační náramek Neosenzory	37
5.4 INOVATIVNÍ PŘÍSTUP K SIGNALIZACI PRO NESLYŠÍCÍ	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
6 STANOVENÍ CÍLŮ PRO NÁVRH SIGNALIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ	41
6.1 ÚČEL NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ	41
6.2 STANOVENÍ POŽADAVKŮ NA SIGNALIZACI.....	41

6.3	STANOVENÍ ZPŮSOBU VYHODNOCENÍ.....	41
7	NÁVRH A REALIZACE SIGNALIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	43
8	MĚŘENÍ A ANALÝZA AKUSTICKÉHO SIGNÁLU POŽÁRNÍ SIRÉNY KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 HZ	44
8.1	POSTUP MĚŘENÍ.....	45
8.2	URČENÍ HLADINY AKUSTICKÉHO VÝKONU TŘETINOOKTÁVOVÝCH PÁSEM Z NAMĚŘENÉ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU	47
8.2.1	Výsledky měření sirény pro pracovní režim L1	48
8.2.2	Výsledky měření sirény pro pracovní režim L2.....	50
8.2.3	Vyhodnocení výsledků měření.....	51
9	VÝBĚR KOMPONENTŮ	53
9.1	VÝVOJOVÁ DESKA SEEED STUDIO NRF52840 SENSE.....	53
9.2	1.28" 240x240 TFT IPS KULATÝ BAREVNÝ DISPLEJ GC9A01, SPI	55
9.3	VIBRAČNÍ MOTOR 1027 3 V	56
9.4	PI SUPPLY 600MAH LI-ION BATERIE	57
9.5	MIKROSPÍNAČ DO DPS SPÍNACÍ 1-PÓLOVÝ OFF-(ON) 0.05A 12V DC NINIGI TACT-64K-F.....	57
9.6	RHINO TECH UNIVERZÁLNÍ NYLONOVÝ ŘEMÍNEK QUICK RELEASE 20MM	58
10	STANOVENÍ PARAMETRŮ PRO ZÁZNAM A DIGITALIZACI AKUSTICKÉHO SIGNÁLU.....	59
11	NÁVRH VYHODNOCOVACÍ ČÁSTI PROGRAMU	60
11.1	NÁVRH PROGRAMU PRO ZÁZNAM AKUSTICKÉHO SIGNÁLU, PŘEVOD DO FREKVENČNÍ DOMÉNY A NÁSLEDNÝ VÝPIS NA SÉRIOVOU LINKU	61
11.2	MĚŘENÍ AKUSTICKÉHO SIGNÁLU SIRÉNY ZA SIMULACE REÁLNÉHO PROSTŘEDÍ POMOCÍ VÝVOJOVÉ DESKY SEEED	64
11.3	MĚŘENÍ REFERENČNÍHO SIGNÁLU SIRÉNY V ODHLUČNĚNÉ MÍSTNOSTI POMOCÍ VÝVOJOVÉ DESKY SEEED	65
11.4	NÁVRH PROGRAMU PRO VYHODNOCENÍ KORELACE MEZI SIGNÁLY V PROSTŘEDÍ MATLAB	66
11.5	ANALÝZA DAT.....	67
11.6	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ AKUSTICKÉHO SIGNÁLU ZKOUMANÉ SIRÉNY POMOCÍ VÝVOJOVÉ DESKY SEEED STUDIO XIAO NRF52840 SENSE	71
12	NÁVRH HODINKOVÉHO POUZDRA	74
13	REALIZACE HODINKOVÉHO POUZDRA.....	76
13.1	POSTUP PŘED TISKEM	76
13.2	NEZBYTNÝ POSTPROCESSING	77
13.3	POVRCHOVÁ ÚPRAVA	78
14	PROPOJENÍ HARDWAROVÝCH PRVKŮ	81

15	NÁVRH FINÁLNÍHO PROGRAMU	83
15.1	PODPROGRAM PRO ZÁZNAM A VYHODNOCENÍ AKUSTICKÉHO SIGNÁLU	83
15.2	PODPROGRAM POPLACHOVÉHO STAVU	84
15.3	PODPROGRAMY PRO VÝPIS NA DISPLEJ	85
15.4	PODPROGRAM PRO VÝCHOZÍ NASTAVENÍ HODIN.....	86
15.5	PODPROGRAM PRO AKTUALIZACI ČASU	87
15.6	IMPLEMENTACE DO JEDNOHO PROGRAMU	87
16	CHARAKTERISTIKA REALIZOVANÉHO PROTOTYPU	89
16.1	CENOVÁ ROZVAHA	90
17	MĚŘENÍ SPOLEHLIVOSTI REALIZOVANÉHO ZAŘÍZENÍ.....	91
17.1	POSTUP MĚŘENÍ.....	91
17.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	93
17.3	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	94
18	NASTÍNĚNÍ DALŠÍHO VÝVOJE V OBLASTI SIGNALIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ PRO OSOBY SE SLUCHOVÝM POSTIŽENÍM.....	96
	ZÁVĚR	97
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	99
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	105
	SEZNAM OBRÁZKŮ	108
	SEZNAM TABULEK.....	111
	SEZNAM PŘÍLOH.....	112

ÚVOD

Ztráta či snížení kvality sluchu je běžné fyzické postižení, zejména v dnešní hlučné době, kdy mnoho velkoměst se potýká s vysokým výskytem hluku zapříčiněným dopravní komunikací či průmyslové objekty, kde zaměstnanci jsou dennodenně vystavováni hlučnému prostředí. V některé technické literatuře se udává, že nárůst hlučnosti v našem životním prostředí hrubě stoupne cca o 1 dB za rok [1]. Dostupná statistika ukazuje, že v roce 2019 mělo celosvětově ztrátu sluchu 1,57 miliard (21 %) lidí z celkové populace, z toho 403,3 milionu trpí středně těžkou nebo vyšší závažností ztráty sluchu a využívají sluchadla, a 430,4 milionů lidí se stejně vysokou závažností sluchadlo nepoužívá [2]. Odhaduje se, že dle Světové zdravotnické organizace (WHO) do roku 2050 počet lidí se ztrátou sluchu vzroste na 2,5 miliardy lidí [3]. Tato bakalářská práce se zabývá jednou z otázek, co se týče pomoci uvedené skupiny lidí.

Když se zamyslíme nad tím, na jaké podněty v běžném životě nejčastěji reagujeme, tak v rámci vnímání dění kolem nás jsou zrak a sluch nejvýznamnějšími smysly. Kombinace zraku a sluchu nám poskytuje ucelený přehled o světě v našem okolí. Zejména pomocí zraku a sluchu analyzujeme a vyhodnocujeme události v dosahu našich smyslů. Například když projíždí kolem sanitka, tak pravděpodobně jako první zaznamenané hlasitý zvuk sirény. V danou chvíli vyhodnotíme, že může každou chvíli projet kolem. Dále zde hraje roli korelace sluchu a zraku, kdy sluchem vyhodnocujeme, zda se k nám přibližuje či oddaluje, a zrakem ji vyhlížíme. S absencí jednoho z uvedených smyslů by analýza a následné vyhodnocení situace probíhalo podstatně hůře.

Nicméně zvuk je oproti ostatním podnětům vnímaným smysly něčím specifický. Zvuk prostřednictvím našich uší vnímáme neustále, nevyhneme se mu. V porovnání s ostatními smysly, světlo vnímané zrakem je sice rychlejší než zvuk, nicméně stěží proniká skrze překážky a záběr vidění není všesměrový, rozpínavost plynů vnímatelná čichem je relativně pomalá oproti šíření zvuku a hmatem jsme omezeni pouze na vzdálenost doteku. Sluch se tak jednoduše nedá „vypnout“, jako když například zavřeme oči. Téměř jakoukoli událost detekujeme nejprve pomocí sluchového orgánu, například již zmíněnou projíždějící sanitku, budík, klepání na dveře, telefonní hovor nebo také informování o požáru skrze požární sirénu. Z uvedených příkladů plyne, že mnoho technologií upozorňujících nás na různé události je navržených tak, abychom je zaznamenali prvně skrze sluchový orgán. Jakmile člověk nedisponuje schopností vnímat zvuk, musí se spoléhat na jiné smysly, což není tak jednoduché. Bez zdravého sluchového orgánu k časně detekci událostí

výše zmíněných nemusí dojít nebo může se zpožděním, které je v situacích ohrožující život nepřijatelné. Proto v dnešní době existují technologie, které pomáhají se vypořádat se ztrátou či snížením sluchového prahu, od sluchadel až po asistenční domácí signalizační systémy či různé mobilní aplikace. Mezi vyjmenovaná zařízení se může řadit právě i zařízení upozorňující na zvuk požární sirény, které je předmětem návrhu v rámci praktické části této bakalářské práce.

Teoretická část práce se věnuje základním charakteristikám zvuku, základním formám Fourierovy transformace, klasifikací sluchového postižení a v neposlední řadě je pojednáváno o signalizačních zařízeních aktuálně dostupných na trhu. Praktická část se věnuje návrhu a realizaci signalizačního zařízení, které by bylo schopno upozornit sluchově postiženou osobu na to, že se v její blízkosti rozezněla požární siréna. Následně je popsáno, jakým způsobem probíhalo ověření spolehlivosti realizovaného zařízení a v neposlední řadě je pojednáno o vývojových trendech v oblasti signalizačních zařízení pro osoby se sluchovým postižením.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE ZVUKU

Zvuk lze obecně definovat jako mechanické vlnění šířící se kmitáním částic v pružném prostoru [1]. Pro laika nic neříkající definice, jehož výrok by na otázku „Co je to zvuk?“ zněl asi tak, že zvuk je cosi vnímatelného sluchovým orgánem. Taková definice je dosti výstižná a o to více představitelná. Nicméně aby se představa o pojmu zvuk ucelila a přehoupla do obecné roviny, bude vysvětleno šíření zvuku na následujícím příkladě.

Když se ťukne do dřevěného stolu, dojde k předání kinetické energie ruky částicím tohoto předmětu. Poté dochází vlivem předané energie k vychýlení částice z rovnovážné polohy. Ta vychyluje ostatní částice kolem a ty zas přijatou energii předávají dál. Podobně jako u napnuté pružiny, i jednotlivé částice se pokouší z vychýlení dostat zpět do rovnovážné polohy. Tím dochází ke kmitání a toto kmitání představuje onen charakteristický zvuk. Jakmile toto mechanické vlnění dorazí až k ušnímu bubínku, který pracuje jako „detektor“ mechanického vlnění, dojde opět k předání energie. Membrána se rozkmitá a ono vlnění je dále zpracováváno sluchovým orgánem.

1.1 Základní charakteristiky zvuku

Jak bylo již řečeno, zvuk je mechanické vlnění hmotných částic. Od zdroje se šíří v tzv. vlnoplochách. To znamená, že v jakémkoli místě oné jedné vlnoplochy má zvuk totožný charakter. Charakter zvuku popisují jednotlivé veličiny, které jsou v následující části práce popsány. [1]

1.1.1 Rychlost šíření

Zvuk se může šířit v kapalných, plynných i pevných látkách, a to ve formě mechanického vlnění. Tyto látky lze nazvat médii, neboť jsou to zprostředkující činitele šíření zvuku. Rychlost šíření akustických vln je dána hustotou média. Čím vyšší je hustota, tím vyšší je rychlost šíření akustických vln. Pro šíření zvuku ve vzduchu se běžně uvádí hodnota 344 m/s. Jelikož rychlost šíření je závislá i na teplotě daného prostředí, tato hodnota je pouze orientační a je využívána ve většině výpočetních operací. Hodnota 344 m/s platí pro teplotu 20 °C. Kdyby ale probíhala konverzace mezi dvěma osobami například ve finské sauně, kde může teplota vzduchu dosáhnout až hodnoty 100 °C, mluvené slovo by navzájem od toho druhého slyšeli nepatrně dříve, protože zde by se zvuk pohyboval rychlostí 387,5 m/s [4]. V hustějším prostředí jako například v oceli rychlost zvuku

dosahuje rychlosti 5750 m/s. Opačný případ je vakuum, kde se zvuk šířit nedokáže, jelikož se zde nenachází žádné médium, jehož částice by šíření umožňovaly. [5]

1.1.2 Frekvence a vlnová délka

Člověk vnímá, že zvuk není monotónní a může nabývat různých barev, hloubek, či výšek. Pro hodnocení zvuku z tohoto hlediska slouží veličina frekvence, která udává počet kmitů hmotného bodu za jednu sekundu. V praxi to znamená, že čím vyšší frekvence, tím vyšší počet kmitů za sekundu a tím vyšší tón posluchač uslyší. Frekvence neboli kmitočet se označuje malým písmenem f , jednotkou je Hertz (Hz) a v základních jednotkách SI je jeden Hertz vyjádřen jednotkou s^{-1} , tedy převrácenou hodnotou času. Převrácená hodnota frekvence se nazývá perioda, která vyjadřuje časový úsek jednoho kmitu. Slyšitelný zvuk pro lidské ucho se pohybuje v rozmezí od 20 Hz do 20 000 Hz a s postupem věku se tato hranice zužuje. Lidské ucho je nejcitlivější na frekvence v rozsahu 3-4 kHz. [1][6]

Další důležitou veličinou, pomocí které lze popsat akustické vlnění, je vlnová délka. Vlnová délka vyjadřuje vzdálenost mezi nejbližšími dvěma body bodové řady, u nichž je v daném okamžiku stejný akustický stav. Tento parametr lze přirovnat k periodě s tím rozdílem, že vlnová délka nevyjadřuje časový úsek jednoho kmitu, nýbrž velikost jednoho kmitu vyjádřenou v jednotkách délky. Vlnová délka je přímo úměrná rychlosti zvuku v daném prostředí a nepřímo úměrná kmitočtu akustické vlny. Z toho vyplývá, že vlnová délka akustické vlny o konstantní frekvenci mění svou velikost na základě změny prostředí, ve kterém kmitá. [1]

1.1.3 Infrazvuk a ultrazvuk

Bylo již řečeno, že zvuk je cosi vnímatelného sluchovým orgánem, nicméně slyšitelný zvuk je pouze podmnožinou toho, co vše lze považovat za zvuk. Pokud hmotné body v pružném prostředí kmitají nižší frekvencí jak 20 kmitů za sekundu, hovoříme o tzv. infrazvuku. Naopak pokud kmitají vyšší frekvencí jak 20 kHz, jedná se o tzv. ultrazvuk. Tyto typy zvuků se tedy nacházejí mimo rozsah vnímatelný sluchovým orgánem. [7][8]

V přírodě se lze běžně setkat se zdroji infrazvuku. Jedná se zejména o šum stromů, proudění větru, hučení vody či otřesy a záchvěvy půdy. Zdrojem infrazvuku jsou dále i různé průmyslové stroje. Infrazvuk využívají například sloni při dorozumívání, kdy díky němu dokážou mezi sebou komunikovat až na kilometrové vzdálenosti. Infrazvuk je dále využíván seismografem pro detekci stavu zemské kůry, jejíž náhlá změna generuje

seismické vlny spadající do kategorie infrazvuku. V dnešní době se dokonce zkoumá, zda se infrazvuk nedá využít jako nástroj pro boj s rakovinotvornými buňkami. [7][9]

Podobně jako infrazvuk, i ultrazvuk je generován prostřednictvím všelijakých přírodních jevů, např. šum stromů či vodopádů. Využití ultrazvukových vln je velice rozmanité. Je využíván netopýry či kytovci pro tzv. echolokaci, kdy zmínění savci jsou schopni generovat a přijímat ultrazvuk za účelem lokalizace hmotných těles. Jakmile vygenerované mechanické vlnění narazí na těleso o rozdílné hustotě, než je hustota výchozího prostředí (voda, vzduch), ultrazvuk se o toto těleso odrazí zpět k vysílači. Vytvoří se ozvěna, kterou zpětně netopýr či kytovec je schopen zaznamenat. Totožně to funguje i s ozvěnou ve slyšitelném pásmu, kdy ji člověk dokáže zaznamenat například v hornatém prostředí či v uzavřeném prázdném prostoru. Principiálně je takto zkonstruován i sonar, který slouží například pro prozkoumávání mořského dna, rybáři jej využívají pro určení lokace zvýšeného výskytu ryb nebo ve vojenství je využíván za účelem vyhledávání nepřátelských podvodních plavidel. V lékařství se využívá tzv. lékařské sonografie, kdy pomocí ultrazvuku je možné graficky vyobrazit tkáň uvnitř lidského těla. V bezpečnostních technologiích se využívají ultrazvukové detektory za účelem detekce pohybu pachatele v hlídaném prostoru. Detektor vysílá do prostoru ultrazvukové vlny a poté na bázi Dopplerova jevu vyhodnocením změny frekvence vyslané a odražené vlny dokáže určit, zda v chráněném prostoru došlo k pohybu či nikoli. [8]

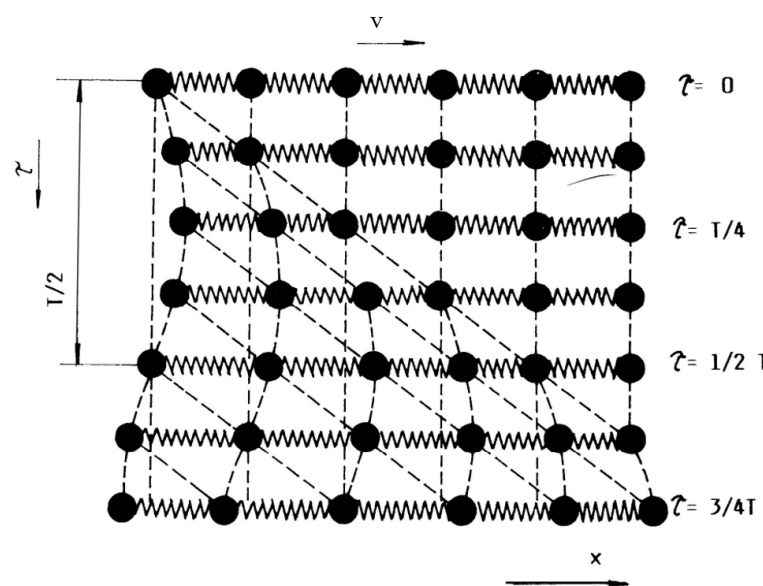
1.1.4 Akustický tlak

Během šíření akustické vlny v prostoru dochází k zhušťování a ředění kmitajících hmotných částic. V jednom momentě je tedy možné zaznamenat jistá místa o větší koncentraci hmotných bodů (přetlak), a naopak (podtlak). Míra zvětšené či snížené koncentrace hmotných bodů v prostoru oproti referenčnímu stavu vlivem akustického vlnění je popsána veličinou akustický tlak. Člověk pak tuto změnu vnímá v podobě hlasitosti zvuku. [1]

V kapalinách a plynech je referenční stav chápán jako střední hodnota tlaku prostoru působící na jeho okolí. Například vzduch působí na své okolí tzv. atmosférickým tlakem. Hodnota atmosférického tlaku se pohybuje kolem 100 000 Pa. Nejmenší hodnota akustického tlaku, kterou je zdravé lidské ucho schopno zaznamenat, je 20 μ Pa, což oproti atmosférickému tlaku je hodnota o znatelný počet řádů nižší. Pouze pro představu, akustický tlak o velikosti 20 μ Pa nevychýlí ušní bubínek ani o velikost jednoho atomu.

Akustický tlak se ve vzdušném prostoru pak sčítá s atmosférickým a poté vzájemně spolu působí na své okolí. Tato korelace se dá také popsat pomocí analogie modulace. Střední hodnota atmosférického tlaku je brána jako tzv. nosná a akustický tlak je na této hodnotě modulován. [1]

Na *Obr. 1* lze zpozorovat zhušťování a zředňování částic. Obrázek popisuje, jakým způsobem se v hmotném prostoru šíří harmonický akustický signál. Toto podélné vlnění je znázorněno ve směru osy x a v časových okamžicích od 0 do $\frac{3}{4} T$. Jednotlivé body charakterizují hmotné částice a propojovací pružiny mezi nimi pak mezimolekulární síly, jimiž se vzájemně ovlivňují. Lze zpozorovat, že energie předávána mezi jednotlivými body probíhá se zpožděním. V místě přiblížení jednoho hmotného bodu k druhému dochází vlivem mezimolekulárních sil k přetlaku, v opačném případě k podtlaku. Neexistuje, že by při vychýlení jednoho bodu došlo v tom samém časovém okamžiku k vychýlení všech ostatních v bodové řadě. Rychlost šíření akustické vlny je konečná a ono zpoždění s ní dosti souvisí. Čím vyšší hustota částic, tím nižší zpoždění předání energie a tím vyšší rychlost šíření. [1]



Obr. 1 Vývoj akustické vlny v bodové řadě [1]

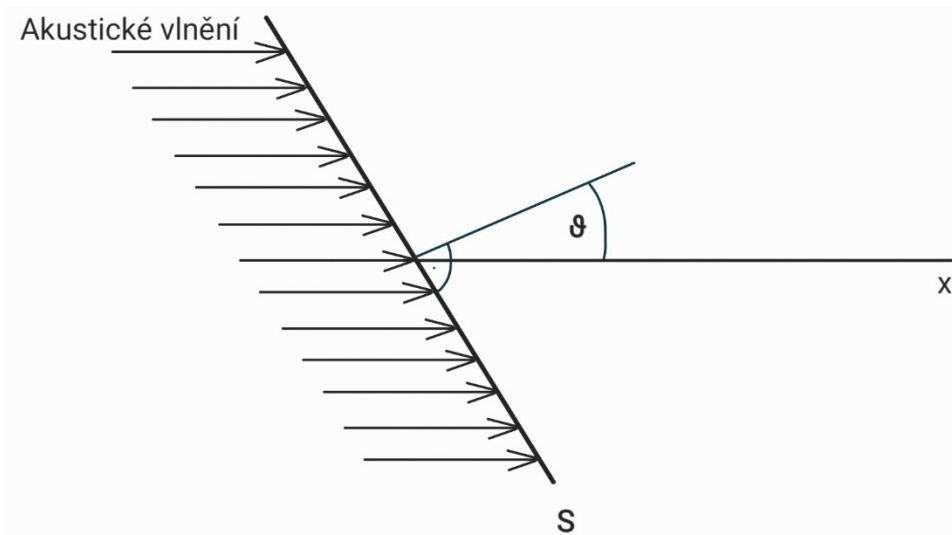
1.1.5 Energie přenášená akustickým vlněním

V následující podkapitole bude pojednáno o veličinách, kterými lze vyjádřit, jaká část energie je přenášená akustickým vlněním.

Na *Obr. 2* níže je znázorněno šíření akustického vlnění ve směru osy x . Každou zakreslenou šipku lze popsat jako směr šíření přenášené akustické energie, kterou je možno

charakterizovat veličinou akustický výkon W . Pokud je vztažen akustický výkon na měřící plochu S , dojde k zavedení veličiny měrný akustický výkon N vyjádřena v jednotkách W/m^2 a popsána vztahem

$$N = \frac{dW}{dS \cdot \cos\theta} \quad (1)$$



Obr. 2 Šíření akustického vlnění jakožto vlnění rovinného [1]

Pokud je akustický stav rovinné vlny ve všech místech vztažené plochy homogenní, lze vzorec zjednodušit dle vztahu č. 2 na

$$N = \frac{W}{S \cdot \cos\theta} \quad (2)$$

Jestliže je normálový vektor vztažené plochy ve stejné rovině jako směr šíření rovinné vlny, lze vyjádřit měrný akustický výkon tvarem

$$N = \frac{W}{S} \quad (3)$$

Ze základů mechaniky plyne, že výkon je dán stálou silou F působící na těleso, které daným působením uvádí těleso do pohybu o rychlosti v . Výkon je popsán vztahem

$$W = Fv \quad (4)$$

Dosadí-li se za sílu F součin akustického tlaku p a plochy S , na kterou působí a dosadí se do vzorce č. 3, vznikne obecný vzorec pro měrný akustický výkon ve tvaru

$$N = \frac{W}{S} = \frac{Fv}{S} = \frac{pSv}{S} = pv \quad (5)$$

Uvedený výsledný vztah pro měrný akustický výkon je součinem okamžité hodnoty akustického tlaku a okamžité hodnoty rychlosti kmitajícího bodu. Vztahy pro jednotlivé okamžité hodnoty není třeba uvádět pro vysvětlení podstaty veličiny. Důležité je vědět, že s šířením stálého harmonického vlnění se hodnota akustického tlaku v daném místě

a rychlost vlnění hmotného bodu v čase mění harmonicky. Z toho vyplývá, že i měrný akustický výkon se mění harmonicky a je tedy též funkcí času. [1]

1.1.6 Intenzita zvuku

V části práce o energii přenášené vlněním bylo pojednáno o měrném akustickém výkonu, jež je vyjádřen funkcí času. Při pracování s hodnotami je v mnoha případech nepraktické využívat okamžité hodnoty, proto se zavádí tzv. efektivní hodnota, která je schopna popsat kolísající signál jedním číslem. V akustice je zavedena veličina intenzita zvuku I popsána vztahem

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T N \cdot d\tau. \quad (6)$$

Intenzita zvuku vyjadřuje střední hodnotu měrného akustického výkonu. Rovnice intenzity zvuku (6) je integrací měrného akustického výkonu v časovém rozsahu od 0 do T . Intenzita zvuku I je vyjádřena, stejně jako měrný akustický výkon N , v jednotkách W/m^2 . [1]

1.2 Decibelové stupnice

V předchozí části o základních charakteristikách zvuku bylo hovořeno o pár veličinách, které v praxi mění svou velikost o několik řádů. Konkrétně se jedná o veličiny akustický tlak, akustický výkon a akustická intenzita. Nejnižší hodnota akustického tlaku, které je ucho schopno zaznamenat, má hodnotu $20 \mu\text{Pa}$, kdežto akustický tlak odpovídající hluku v blízkosti letadla je až o sedm řádů vyšší. Pro lepší představu se zmíněné veličiny převádí do tzv. decibelových stupnic. Pokud daná akustická veličina je vyjádřena v decibelové stupnici, hovoří se o ní jako o tzv. hladině vyjádřena v jednotkách decibel (dB). [1]

1.2.1 Hladina akustického tlaku

Převod z výchozí veličiny do decibelové stupnice bude vysvětlen na veličině akustický tlak. Hladina akustického tlaku L_p je definována vzorcem

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0}, \quad (7)$$

kde písmeno p označuje vyšetřovaný akustický tlak a p_0 referenční hodnotu akustického tlaku. Obecně referenční hodnota za logaritmem ve jmenovateli je číslo, kterému se přiřazuje v logaritmické stupnici hodnota 0 dB, protože pokud se dosadí i za vyšetřovanou hodnotu v čitateli, výsledek převodu bude 0 dB. Každá veličina převáděna do decibelové stupnice má svoji vlastní referenční hodnotu. Většinou je referenční hodnota něčím

charakteristická. Pro akustický tlak je to již zmíněná hodnota $20 \mu\text{Pa}$, která je ještě schopna ušní membránu rozkmitat. [1]



Obr. 3 Hladiny akustického tlaku v různém prostředí [1]

Na Obr. 3 výše lze vidět hladiny akustického tlaku v různých prostředí v porovnání s akustickým tlakem. Z obrázku vyplývá, že převodem akustického tlaku na decibelovou stupnici se docílí výrazného zúžení pásma používaných hodnot. Decibelové stupnice jsou tímto přehlednější a jasnější z hlediska významu konkrétního čísla. Podstatou zúžení je logaritmus o základu 10 v převodní rovnici, o němž obecně platí, že skokem o jeden celý řád výše v argumentu logaritmu se jeho funkční hodnota navýší o 1 dB. Ve vzorečku pro hladinu akustického tlaku se tento logaritmus násobí s hodnou 20, tedy navýšení akustického tlaku o jeden řád odpovídá navýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB. [1]

1.2.2 Hladina akustického výkonu

Velký raketový motor dosahuje až 10^6 W akustického výkonu, kdežto referenční hodnota akustického výkonu využívaná pro převod má hodnotu 10^{-12} W . Z uvedeného příkladu je zřejmé, že by zde bylo vhodné daný rozsah též převést do úspornější decibelové stupnice. Akustický výkon převedený do decibelové stupnice se nazývá hladinou akustického výkonu, označuje se L_W a je převodní vztah je popsán vzorcem

$$L_W = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \quad (8)$$

Z uvedeného vztahu vyplývá, že zvýšení akustického výkonu o jeden řád odpovídá navýšení hodnoty hladiny akustického tlaku o 10 dB. [1]

1.2.3 Hladina intenzity zvuku

Hladina intenzity zvuku je vyjádření intenzity zvuku v decibelových jednotkách. Referenční hodnota intenzity zvuku odpovídá hodnotě 10^{-12} W/m². Převodní vztah je vyjádřen následující rovnicí. [1]

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}. \quad (9)$$

2 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU V OBLASTÍ FREKVENČNÍ ANALÝZY

Protože je tato práce zaměřena na návrh signalizačního zařízení reagující na zvuk sirény, je vhodné si popsat, jakým způsobem může být akustický signál vyhodnocován. Před samotným analyzováním signálu je nutné podstoupit kroky, které vedou k získání signálu v podobě vhodné pro následnou analýzu. Obecně se zpracování a analýza biologického signálu dá shrnout do tří kroků. Prvně se biologický signál musí převést na signál elektrický prostřednictvím snímacího prvku. Uvedený krok je nutný z důvodu, že prostředky pro analyzování signálu dokážou pracovat pouze s elektrickými veličinami. V případě navrhovaného signalizačního zařízení se zde považuje za biologický signál zvuk generovaný sirénou. Zvuk sirény je sice generovaný zařízením vyrobený člověkem, nicméně generovaný zvuk se šíří biologickým prostředím, kterým je ovlivňován. To z něj dělá onen biologický signál o nekonečném stavu nabývajících hodnot. Například akustický signál, jež lze popsat například časovou závislostí akustického tlaku, se na elektrický analogový signál převede pomocí mikrofonu jakožto snímacího prvku. Časová závislost akustického tlaku je tak úměrná časové závislosti elektrického napětí.

Druhým krokem je digitalizace signálu. Získaný elektrický signál ze snímacího prvku nabývá nekonečného počtu stavů a hodnot. Takový signál je nevhodný pro analýzu výpočetními technologiemi, neboť pracují s omezeným výkonem, kapacitou a jako elementární prvek pro ukládání a zpracování je využívána dvoustavová hodnota. Proto je analogový signál převáděn na konečnou posloupnost čísel o konečných stavech prostřednictvím analogově-digitálního převodníku. S posloupností čísel už dovedou výpočetní technologie jednoduše pracovat. Nevýhodou je ztráta některých informací z původního analogového signálu a zkreslení doprovázející převod.

Poslední, třetí krok, je samotná analýza. Zaznamenané posloupnosti hodnot zpracovávaného signálu jsou již vhodné pro různé aritmeticko-logické operace. Jedním ze základních podstat analýzy signálu je rozložit původní signál na jeho frekvenční složky a dále například zkoumat jeho rezonanční frekvence. Tomuto procesu se říká frekvenční analýza a základním nástrojem pro její aplikaci je Fourierova transformace. Fourierova transformace je výpočetní algoritmus pro převod signálu z časové domény do domény frekvenční. Existuje několik základních typů Fourierovy transformace:

1. Obecná Fourierova transformace (FT),
2. Fourierovy řady (FŘ),

3. Fourierova transformace diskrétní v čase (DTFT),
4. Diskrétní Fourierova transformace (DFT). [10]

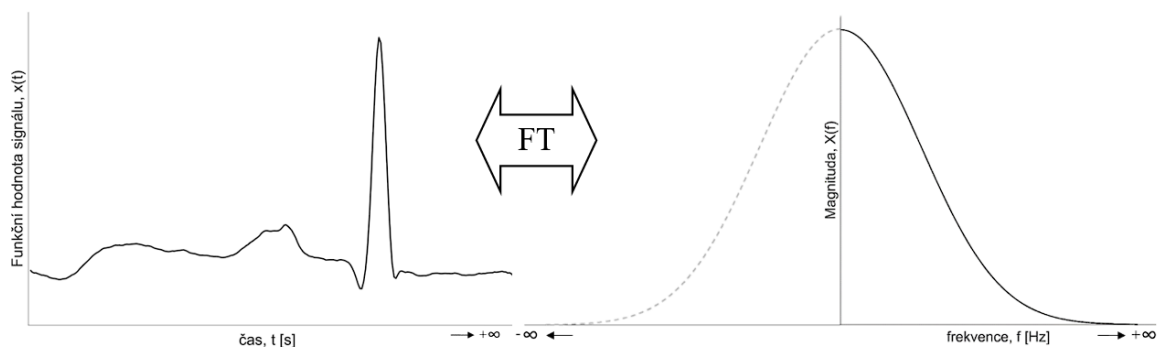
Každá ze zmíněných typů transformace se liší na základě charakteru zkoumaného signálu, kdy zkoumaný signál může být spojitý, či diskrétní a periodický, či neperiodický [10]. V následujícím textu budou popsány základní vlastnosti vyjmenovaných typů Fourierovy transformace.

2.1 Obecná Fourierova transformace (FT)

Obecná Fourierova transformace umožňuje převod spojitého, neperiodického signálu na spojité, neperiodické spektrum. Jedná se o základní definici Fourierovy transformace, která je popsána Fourierovým integrálem

$$\widehat{X}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt, \quad (10)$$

kde $x(t)$ může být jakýkoli neperiodický signál, spojitý v čase, f je zkoumaná frekvence a t je čas, přes který se integruje. Pro převod signálu na frekvenční spektrum je nutné vypočítat uvedený integrál pro veškeré frekvence. V rovině obecné Fourierovy transformace je to velice náročný proces, jelikož to znamená určit tento integrál pro nekonečně mnoho frekvencí. Výsledkem funkční hodnoty FT je komplexní číslo v exponenciálním tvaru, které v sobě ukrývá informaci o magnitudě a fázi harmonické složky o dané frekvenci. Na *Obr. 4* lze vidět příklad signálu nabývající nekonečně mnoha hodnot a jeho frekvenční spektrum, které je spojité a s definičním oborem od $-\infty$ do $+\infty$. [10]



Obr. 4 Grafické znázornění obecné Fourierovi transformace [vlastní]

2.2 Fourierovy řady (FŘ)

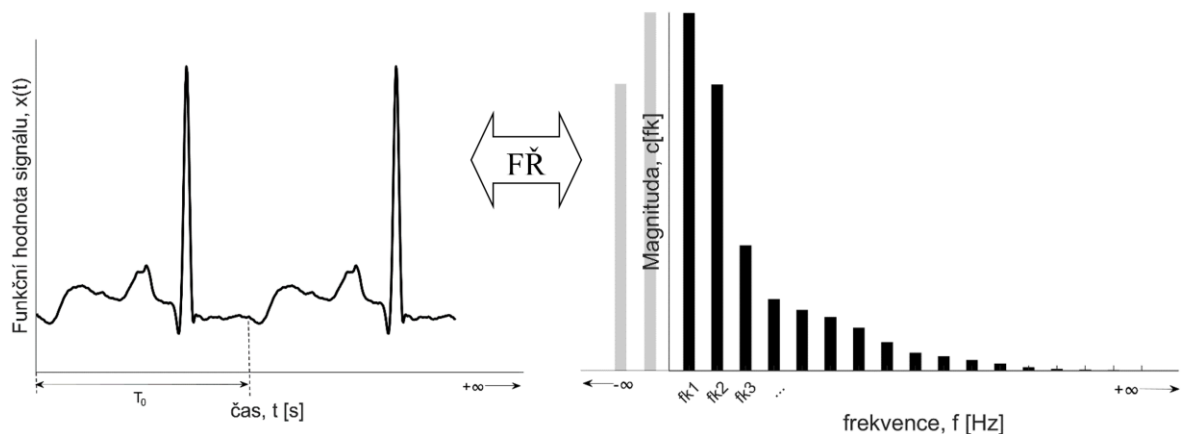
Fourierovy řady je forma Fourierovy transformace pro převod spojitého periodického signálu na neperiodické diskrétní spektrum. Fourierova řada je obecně popsána vzorcem

$$\widehat{c[f_k]} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) \cdot e^{-ik2\pi f_0 t} dt. \quad (11)$$

Integruje se od 0 po periodu T_0 spojitého signálu $x(t)$. Frekvenční spektrum je vyjádřeno diskrétními harmonickými složkami, kdy jednotlivé frekvence složek f_k jsou definovány jako k -tý násobek frekvence periodicity spojitého signálu f_0 , neboli

$$f_k = k \cdot f_0; k \in (\mathbf{Z}; 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots). \quad (12)$$

Výsledkem FŘ je obdobně jako u FT komplexní exponenciála pro danou frekvenci, kdy pro sestavení grafu frekvenčního spektra je zapotřebí vyjádřit absolutní hodnotu komplexního čísla neboli magnitudu. Tato vlastnost je obdobná i u ostatních forem Fourierovy transformace. Fourierovy řady mají využití například v generátorech periodických signálů typu obdélník, pila či trojúhelník, kdy vhodnou kombinací harmonických signálů a jejich součtem lze vytvořit různé typy periodických signálů. Na Obr. 5 lze vidět příklad periodického signálu nabývající nekonečně mnoha hodnot a jeho frekvenční spektrum, které je diskrétní a s definičním oborem od $-\infty$ do $+\infty$. [10]



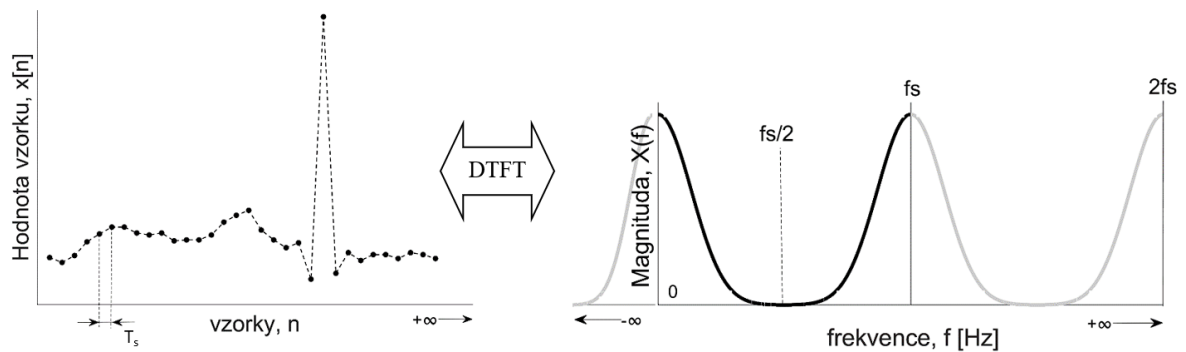
Obr. 5 Grafické znázornění Fourierových řad [vlastní]

2.3 Fourierova transformace diskretní v čase (DTFT)

Fourierova transformace diskretní v čase transformuje neperiodický diskretní signál na periodické spojité spektrum. Vzorec pro DTFT lze napsat ve tvaru

$$\widehat{X}(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot e^{-i2\pi\frac{f}{f_s}n}, \quad (13)$$

kde n je pořadí vzorku diskretního signálu a f_s je vzorkovací frekvence signálu. Narozdíl od předešlých forem Fourierovy transformace je integrál zaměněn za sumu díky nespojitosti signálu. Zde se už neintegruje spojitá funkce, nýbrž postupně sčítají násobky komplexní exponenciály s uspořádanou posloupností vzorků. Z důvodu poměru f / f_s v argumentu komplexního exponenciálu je frekvenční spektrum periodické kolem f_s a zrcadlí se kolem $f_s / 2$. Na Obr. 6 lze vidět příklad neperiodického diskretního signálu a jeho frekvenční spektrum, které je spojité a periodické. [10]



Obr. 6 Grafické znázornění Fourierovy analýzy diskretní v čase [vlastní]

2.4 Diskretní Fourierova transformace (DFT)

V rámci číslicového zpracování signálu je pro účely frekvenční analýzy nejvhodnější diskretní Fourierova transformace. Analyzovaný signál (například zaznamenaný akustický signál) je jakási diskretní posloupnost vzorků o stanovené délce zaznamenaná vzorkovací frekvencí f_s . Jelikož zaznamenaný signál má počátek i konec, podstatou frekvenční analýzy pomocí DFT je, že zaznamenaný signál se tváří, jako by byl periodický. DFT je forma Fourierovy transformace, kdy předmětem analýzy je periodický diskretní signál. Výstupem procesu DFT je periodické diskretní frekvenční spektrum. DFT lze vypočítat pomocí rovnice

$$\widehat{X}[f_k] = \sum_{n=1}^{N_0} x[n] \cdot e^{-i2\pi\frac{f_k}{f_s}n}, \quad (14)$$

kde f_k je určená frekvence a f_s je vzorkovací frekvence. Frekvence f_k je definována vzorcem

$$f_k = \frac{k \cdot f_s}{N_0}; k \in (0, N_0 - 1) \cap k \in \mathbf{Z}, \quad (15)$$

kde N_0 je počet vzorků v jedné periodě. Pokud by se dosadil vzorec pro f_k do výpočetního vztahu pro DFT (14), vztah by se upravil do tvaru

$$\widehat{X}[k] = \sum_{n=1}^{N_0} x[n] \cdot e^{-i2\pi \frac{k}{N_0} n}. \quad (16)$$

Ze vztahu č. 16 lze vyvodit, že pro výpočet funkčních hodnot jednotlivých frekvenčních složek diskrétního signálu je nutné znát pouze počet vzorků N_0 diskrétního signálu. Dále už se mění pouze koeficient k podle toho, kolikátou složku v pořadí je zapotřebí určit. Každému koeficientu k náleží daná frekvence dle vzorce č. 14. Platí, že frekvenční spektrum je periodické kolem f_s . Počet frekvenčních složek vyobrazených v jedné periodě se rovná N_0 . V praxi se pro frekvenční analýzu využívá pouze frekvenční spektrum od 0 po $(N_0 / 2) - 1$ z důvodu, že pro DFT platí symetrie kolem $N_0 / 2$. Tyto vlastnosti plynou z komplexní exponenciály a z uspořádání jejího argumentu. [10] Pro vysvětlení, proč platí již zmíněné vlastnosti symetrie a periodicity, je nutné přepsat komplexní exponenciálu dle Eulerova vzorce do tvaru

$$e^{-i2\pi \frac{k}{N_0} n} = \cos\left(\frac{2\pi kn}{N_0}\right) - i \sin\left(\frac{2\pi kn}{N_0}\right); k \geq 0, n \in \langle 0, N_0 - 1 \rangle. \quad (17)$$

Eulerův vzorec definuje vztah mezi exponenciálními a goniometrickými funkcemi. Komplexní exponenciála lze přepsat do goniometrického tvaru komplexního čísla, jehož jakýkoli tvar lze graficky znázornit jako vektor na jednotkové kružnici. Pokud N_0 zůstává konstantní a koeficient k náleží celým číslům, počet vektorů je omezen právě velikostí N_0 . Komplexní exponenciála se v odborné literatuře označuje také jako vektor komplexních koeficientů a je definován ve tvaru a lze vyjádřit ve tvaru

$$W_{N_0}^{kn} = e^{-i2\pi \frac{k}{N_0} n}. \quad (18)$$

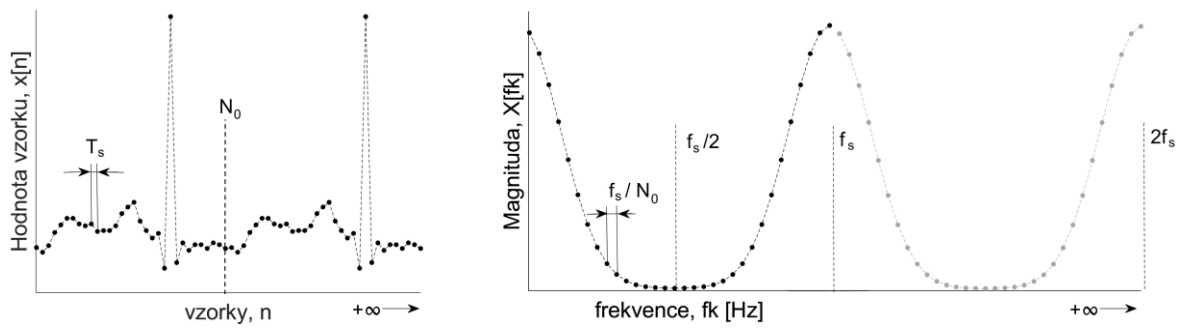
Mezi vektory komplexních koeficientů platí symetrie:

$$W_{N_0}^{k+N_0/2} = -W_{N_0}^k \quad (19)$$

a periodicita:

$$W_{N_0}^{k+N_0} = W_{N_0}^k. [11] \quad (20)$$

Na Obr. 7 lze vidět příklad periodického diskrétního signálu a jeho frekvenční spektrum, které je diskrétní a periodické.



Obr. 7 Grafické znázornění diskrétní Fourierovy transformace [vlastní]

3 KLASIFIKACE SLUCHOVÉHO POSTIŽENÍ

Sluchově postižená osoba je taková osoba, která má sníženou či chybějící schopnost vnímat zvuk. Sluchové postižení lze rozdělit na dvě podkategorie:

1. sluchová vada,
2. sluchová porucha.

Sluchová vada je trvalé poškození sluchu. Je buď získaná, většinou bakteriální či virovou infekcí centrálního nervového systému, nebo vrozená. Sluchová porucha je podkategorie sluchového postižení, které se projevilo v průběhu života. Sluchová porucha může být trvalá nebo dočasná, ovlivnitelná léčbou. [12]

3.1 Hodnocení sluchového postižení

Obor zabývající se hodnocením sluchových poruch se nazývá audiometrie. Při určování závažnosti sluchového postižení se používají metriky, které sledují velikost sluchových ztrát v určitých frekvenčních oblastech. Pro hodnocení výsledků tónové audiometrie je možné využít několika metodik. V České republice se často využívá vyhodnocení dle průběhu prahové křivky pro vzdušné vedení v oblasti řečových frekvencí. Dle této metodiky se klasifikuje několik úrovní sluchového postižení:

1. normální stav sluchu, kdy naměřená prahová křivka nepřesahuje 20 dB úrovně intenzity,
2. lehká porucha sluchu, kdy naměřené hodnoty prahové křivky se pohybují v rozmezí 21 až 40 dB úrovně intenzity,
3. středně těžká porucha sluchu pro 41 až 60 dB úrovně intenzity,
4. těžká porucha sluchu pro 61 až 80 dB úrovně intenzity,
5. velmi těžká pro 81 až 90 dB úrovně intenzity,
6. praktická hluchota pro hodnoty úrovně intenzity hluku nad 90 dB. [13]

3.2 Nejčtenější příčiny sluchových poruch a vad


Jednou z nejčtenějších příčin sluchových poruch je presbyakuze. Presbyakuze je definována jako poškození sluchu příčinou stárnutí. Klasifikuje se mezi neurosenzorické nevratné ztráty sluchu, tedy ty, které se vyskytují na úrovni vnitřního ucha nebo sluchového nervu. V důsledku stárnutí dochází k přirozenému odumírání sluchových

buněk. [12] Dle národního institutu pro hluchotu a jiné poruchy komunikace Spojených států amerických je jeden ze tří lidí v USA ve věku 65 až 74 let postižen ztrátou sluchu. Pro lidi v USA nad 75 let má téměř polovina lidí problém se sluchem [14].

Další častou příčinou ztráty sluchu je nadměrné vystavování zdraví ohrožující expozici hluku. V dnešní době lze jen stěží se vyhnout nezdravé expozici hluku. Zdraví ohrožující hluk se vyskytuje například na rušné ulici velkoměsta, či v hlučném průmyslovém prostředí. Na některých místech města Prahy lze naměřit hladinu akustického tlaku $L_p = 85$ dB [1], což je maximálně přípustná úroveň hluku na pracovišti dle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [15]. Nadměrný hluk ale není pouze jen obtěžující, rušivý hluk. Dle WHO je více než 1 miliarda lidí ve věku 12 až 35 let vystavena nadměrné expozici hlasité hudby [16]. Co se týče redukce nadměrného vystavování nebezpečného hluku, jsou vydávány různá doporučení ze strany WHO, např. globální standart pro bezpečný poslech na místech a akcích, kde zdůrazňuje 6 doporučení. Jedno z nich je například, aby maximální průměrná hladina akustického tlaku na kulturních akcích dosahovala hodnoty 100 dB [16]. Státní zdravotní ústav (SZÚ) se také věnuje prevenci a upozorňuje na nadměrný hluk v životním prostředí. SZÚ například zhotovil tabulku (viz. Tab. 1), která stanovuje bezpečnou délku průměrné expozice hluku. Data v tabulce vychází z doporučení WHO, která stanovuje roční prahovou bezpečnou průměrnou expozici hluku z volnočasových aktivit na $L_{Aeq} = 70$ dB. Z tabulky lze například vyčíst, že člověk by měl být vystaven hladině hluku 90 dB maximálně jednu hodinu týdně [17]. V neposlední řadě existuje již zmíněné Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., které stanovuje maximální expoziční limit hladiny akustického tlaku hluku na pracovišti na hodnotu 85 dB. Pokud je tento expoziční limit překročen, zaměstnavatel je povinen zajistit zaměstnanci ochranné pracovní pomůcky [15].

Tab. 1 Stanovení bezpečné délky průměrné expozice hluku [17]

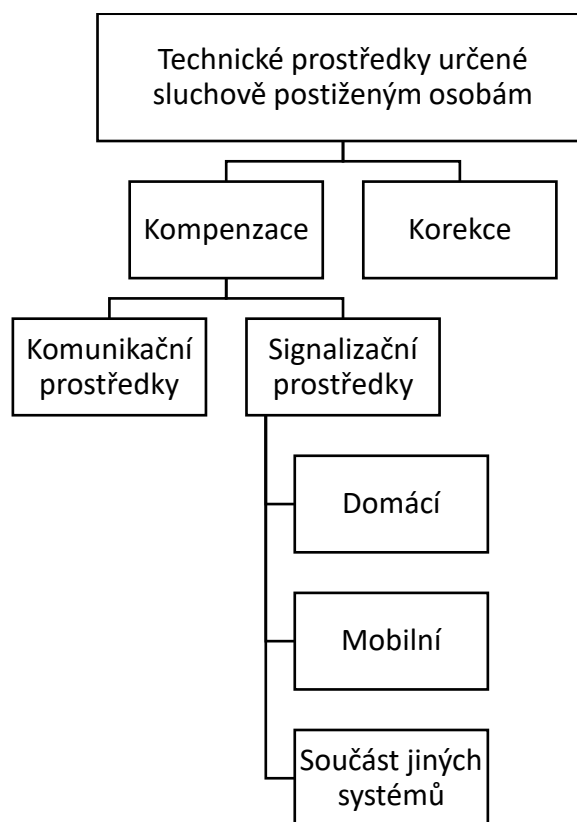
Hodiny expozice / měsíc	Expozice L_{Aeq} [dB]						
	70	75	80	85	90	95	100
0,5	42	45	49	54	59	64	69
1	46	50	55	60	65	70	75
2	46	50	55	60	65	70	75
4 (tj. 1 hod./ týden)	48	53	58	63	68	73	78
8 (tj. 2 hod./ týden)	51	56	61	66	71	76	81
16 (tj. 4 hod./ týden)	54	59	64	69	74	79	84
56 (tj. 2 hod./ den)	59	64	69	74	79	84	89
112 (tj. 4 hod./ den)	62	67	72	77	82	87	92
160 (tj. 8 hod./ pracovní den)	64	69	74	79	84	89	94

 Kombinace bezpečné pro sluch na základě doporučení WHO

 Kombinace spojené s nepříznivými zdravotními účinky pro sluch

4 HIERARCHIE TECHNICKÝCH PROSTŘEDKŮ URČEČNÝCH OSOBÁM SE SLUCHOVÝM POSTIŽENÍM

Aby bylo jasné, kde signalizační zařízení pro osoby se sluchovým postižením zaujímají své místo, na *Obr. 8* je znázorněna hierarchie technických prostředků určené osobám sluchově postiženým. V první řadě mohou technické prostředky provádět korekci sluchového postižení nebo ji kompenzovat. Korekce neboli náprava se provádí prostřednictvím sluchadel, která dokážou zesílit vstupní akustický signál a poslat ho do sluchového ústrojí. Korekcí technického prostředku se neposune sluchový práh člověka, nýbrž pouze zesílí vstupní signál tak, aby člověk byl schopen vnímat a zpracovávat zvuk z okolí. Pokud osoba trpí úplnou hluchotou nebo jeho sluchový práh je posunut výrazným způsobem, lze technickými prostředky kompenzovat ztrátu sluchu. Lze kompenzovat komunikaci, například aplikací pro okamžitý přepis přepisující mluvené slovo do textové podoby v reálném čase, nebo upozornění na události v okolí prostřednictvím signalizačních prostředků. Signalizační prostředky mohou dále být součástí domácího prostředí, mobilního zařízení nebo jiných systémů, např. systému elektronické požární signalizace.



Obr. 8 Hierarchie technických prostředků určené sluchově postiženým osobám [vlastní]

5 TYPY SIGNALIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ PRO OSOBY SE SLUCHOVÝM POSTIŽENÍM AKTUÁLNĚ DOSTUPNÉ NA TRHU

Zařízení aktuálně dostupná na trhu jsou v následující kapitole rozdělena do třech kategorií, dle již zmíněné hierarchie. Za prvé zde budou popsány systémy, které si daná osoba může pořídit do své domácnosti. Za druhé jsou jimi signalizační zařízení využívané jako poplachový výstup systému EPS a v neposlední řadě mobilní signalizační zařízení, které osoba nosí u sebe a může jej využívat kdekoli. Následující text se bude zaměřovat na konkrétní produkty dostupné na trhu. Pojem signalizační zařízení bude zde brán z obecného hlediska, a protože se práce později bude zabývat zejména požární signalizací, bude zde na tento typ signalizace brán větší důraz.

5.1 Pro domácí využití

Signalizační systémy určené pro osoby se sluchovým postižením pro domácí využití jsou zařízení, která slouží pouze pro oblast dané domácnosti. Tyto systémy mají rozmanitý způsob využití. Jeho součástí může být signalizace pro nejrůznější události, které by za normálních podmínek postižené osobě mohly uniknout, například zvonění, klepání, budík, požární signalizace nebo tekoucí voda. Tyto veškeré události jsou shromažďovány jedním systémem a na detekované události upozorňuje světelnou či vibrační signalizací.

5.1.1 Systém Signolux

Bezdrátový systém Signolux od německé společnosti Humantechnik je jeden z univerzálních systémů pro domácí využití, který mimo standardní signalizace poskytuje i signalizaci určenou pro osoby se sluchovým postižením. Celý systém se skládá z vysílačů a přijímačů jakožto samostatných zařízení. Vysílač je zde vnímán jako zařízení detekující událost, kterou dále posílá bezdrátově pomocí radiových vln do přijímačů v okolí. Vysílač může být například v podobě detektoru kouře nebo zvonku. Přijímač pak upozorní okolí na konkrétní událost prostřednictvím akustického, světelného či vibračního signálu. [18]

Na *Obr. 9* je jeden z ikonických příkladů využití systému Signolux. Přijímače (na obrázku jsou reprezentovány světelnou signalizací) lze rozmístit po celé domácnosti tak, aby měl uživatel přehled o důležitých událostech.



Obr. 9 Příklad využití systému Signolux [19]

Vysílače

Vysílače mají za úkol detekovat událost a posílat jí prostřednictvím radiových vln do okolních přijímačů. V této podkapitole budou popsány některé vysílače systému Signolux. Mezi vysílače, které systém Signolux má ve svém sortimentu, patří:

- přímý univerzální vysílač,
- akustický univerzální vysílač,
- tlačítko zvonku,
- detektor kouře,
- kombinovaný detektor oxidu uhelnatého a teploty,
- vysílač pro stávající systémy požární signalizace Alarmo,
- soundmonitor [18].

Přímý univerzální vysílač (viz. Obr. 10) má širší škálu využití. Detekuje signály vedoucí po přímo připojeném kabelu. Je zde konektor pro telefonní linku, pomocí kterého lze propojit telefon s vysílačem a detekovat tak příchozí hovory. Propojovací zástrčka č. 1 reaguje na vstupní stejnosměrné nebo střídavé napětí od 3 V do 15 V. Díky tomu lze zařízení propojit s různými nízkonapěťovými systémy, např. dveřní zvonek. Propojovací zástrčka č. 2 reaguje na uzavřený obvod. Lze k ní připojit různá reléová zařízení, která jsou v normálním stavu rozpojená (NO), např. magnetické kontakty, nášlapné desky, zvonek v podobě spínače nebo PIR detektor s reléovým NO výstupem. Ačkoli má tento

univerzální vysílač rozmanité využití, nevýhodou je, že jeden konkrétní vysílač lze naprogramovat pouze pro jednu konkrétní událost, na kterou bude upozorňovat. To znamená, že pokud bude vysílač detekovat hovory na pevné lince, nelze ten samý vysílač nastavit například pro detekci zvonění domovního zvonku. V uvedeném případě je nutné pořídit další vysílač pro detekování další události. Zmíněné omezení platí pro všechny dostupné vysílače systému Signolux. [20]



Obr. 10 Přímý univerzální vysílač Signolux [20][21]

Vysílač pro stávající systémy požární signalizace Alarmo (viz. Obr. 11) je zařízení, které zařazuje do ekosystému Signolux již nainstalované požární systémy. Vysílač Alarmo snímá zvuk z okolního prostředí a zkoumá zvukové vzorce typické pro požární sirény. V okamžiku rozpoznání zvuku požární sirény vznikne poplachový signál. [22]



Obr. 11 Vysílač pro stávající systémy požární signalizace Alarmo [22]

Další vysílače jako detektor kouře, kombinovaný detektor oxidu uhelnatého a teploty či tlačítko zvonku mají jasnou funkci vyplývající z jejich názvu.

Přijímače

Na obrázku níže (viz. Obr. 12) je jeden z příkladů přijímačů systému Signolux. Jedná se o výstražné zařízení sestávající se z 360° zábleskové LED, ikon událostí a akustického měniče. Přijímače se párují s vysílači, kterým se přiřazují dané události. Událostí je osm dle počtu ikon událostí a v dalších typech přijímačů jsou nadefinované události shodné. Jedná se o dveřní zvoněk 1, dveřní zvoněk 2, telefon, osobní volání, dítě, požární alarm,

záplavový alarm, alarm. Ke každé události může být přiřazeno maximálně osm vysílačů. Jakmile přijímač přijme od vysílače signál reprezentující danou událost, dle přiřazení upozorní na danou událost rozsvícením ikony události, svitem LED nebo akustickou signalizací. Přijímače systému Signolux jsou napájeny ze zdroje síťového napětí a disponují i záložním zdrojem. [23]



Obr. 12 Přijímač Signolux S [24]

Na Obr. 13 je další z přijímačů systému Signolux doplněný o funkci budíku. Budík disponuje veškerými již zmíněnými funkcemi přijímače Signolux. Na události upozorňuje prostřednictvím zábleskového světla, akustického měniče nebo lze budík doplnit o vibrační podložku (viz. Obr. 14), jejíž funkcí je probudit osobu ze spánku a upozornit jí na danou událost. Vibrační podložka se umísťuje pod polštář. [25]



Obr. 13 Přijímač Signolux – budík [26]



Obr. 14 Vibrační polštářek [27]

Přijímač znázorněný na *Obr. 15* nese název GATEWAY a jedná se o zařízení umožňující propojení systému Signolux s internetovou sítí, pomocí které lze dostávat upozornění na události do chytrého zařízení skrze mobilní aplikaci. Podmínkou je připojení k internetu, o které se stará propojení přijímače s routerem pomocí ethernetového kabelu. Přijímač disponuje svým unikátním identifikačním číslem, jež po zadání do mobilní aplikace uživatel dostane přístup k upozorněním na události ve své domácnosti, na které je daný přijímač GATEWAY nastaven. Pokud je uživatel připojen se svým mobilním zařízením k internetu, dostává notifikační upozornění s doprovodem vibrací. Přijímači GATEWAY lze přiřadit vysílače a události ve stejném měřítku jako u všech ostatních přijímačů systému Signolux. [28]



Obr. 15 GATEWAY – přijímač Signolux [28]

5.2 Součást jiných systémů

Signalizační zařízení pro osoby se sluchovým postižením jako součást jiných systémů jsou zařízení, které jsou součástí jiných systémů upozorňující osoby na nebezpečnou událost a jsou vhodné i na upozornění sluchově postiženého. Mezi takové systémy se řadí systém EPS, jejíž primární úlohou je detekovat a identifikovat místo požárů a upozornit osoby na požár v daném objektu. V České republice je požární bezpečnost budov řešena zákonem o požární ochraně (Zákon č. 133/1985 Sb.), který stanovuje pravidla a povinnosti pro ochranu před požáry a jejich šířením v budovách. Zákon určuje, že je nutné přijmout opatření k zabránění vzniku požáru v budově, k omezení jeho šíření a k zajištění bezpečnosti lidí při požáru. To zahrnuje vybavení budov požárními hlásiči, hasicími přístroji a dalšími opatřeními, která mohou pomoci zabránit šíření požáru nebo ho uhasit. [29]

Norma definující systém EPS nese označení ČSN EN 54-1. Soubor norem ČSN EN 54 nezahrnuje přímo část zabývající se signalizací pro sluchově postižené osoby, ale popisuje typy signalizace, na který by hluchá osoba dokázala reagovat. Jedná se o normu

ČSN EN 54-23 popisující optická výstražná zařízení systému EPS. Jiná signalizační zařízení, která by dokázala upozornit osobu s absencí sluchu na požár, nejsou v souboru norem ČSN EN 54 zahrnuta. [30]

Příkladem optických výstražných zařízení splňující normu ČSN EN 54-23 může být LED maják na strop Protec 6000/VAD/C/WHITE (viz. Obr. 16).



Obr. 16 Protec 6000/VAD/C/WHITE dle ČSN EN 54-23 [31]

Populárním využitím optických výstražných zařízení je integrace optické signalizace s hlásičem EPS nebo sirénou. Jako příklad může posloužit Obr. 17, kde je znázorněn kombinovaný teplotní a kouřový hlásič s hlasovou sirénou a majákem dle ČSN EN 54-23. Integrace optického výstražného optického zařízení a požárního hlásiče je využita například v Galerii Vaňkovka v Brně.



Obr. 17 Protec 6000PLUS/OPHT/TSVAD [32]

Obecně se jiný typ signalizace (např. pachová, vibrační) než optická a akustická v rámci požárního systému v praxi nevyužívá. V porovnání se zahraničím, například v USA a Kanadě je zaveden standart UL1971 vydán mezinárodně uznávanou organizací Underwriters Laboratories (UL) zabývající se zkoušením a certifikací bezpečnosti

produktů. Jedná se přímo o standard pro signalizační zařízení pro sluchově postižené, nicméně stále se jedná pouze o optickou signalizaci. [33]

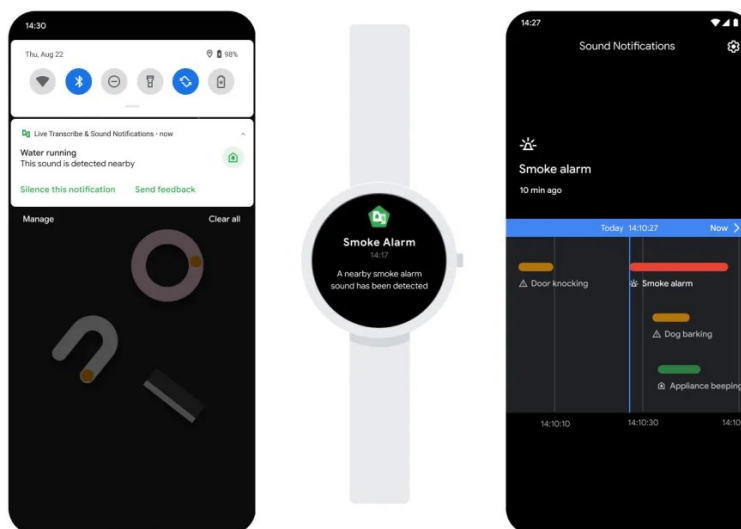
5.3 Mobilní zařízení

Signalizace pro sluchově postižené jakožto mobilní zařízení může být v podobě mobilní aplikace, aplikace v chytrých hodinkách nebo jakéhokoli přenosného zařízení. Podstatou zařízení je upozornit osobu na událost kdekoli, kde se nachází.

5.3.1 Live Transcribe

Příkladem je bezplatná aplikace Live Transcribe (v češtině „Okamžitý přepis“) vytvořená společností Google, která je dostupná na mobilních zařízeních využívajících operační systém Android. Aplikace mimo okamžitého přepisu mluveného slova dokáže na základě snímání zvuku z okolí rozpoznat nespočet zvukových vzorců. Aplikace dokáže rozpoznat zvuk ptáků, auta, ťukání, hudby, konkrétního hudebního žánru, spláchnutí toalety, sirény, alarmu, aj. Aplikace uživatele upozorní notifikací, vibrací či svitem LED (pokud jim mobilní zařízení disponuje). V nastavení si lze do detailu aplikaci přizpůsobit dle svých potřeb. Rozpoznávané zvuky jsou zde kategorizovány do čtyř typů dle priority daných událostí. Jsou to typy stav nouze, prioritní, spotřebiče a ostatní, jiné. Například se do kategorie stav nouze řadí upozornění na sirénu a detektory kouře a požáru. Každé události lze jednotlivě nastavovat, jakým způsobem bude uživatel na událost upozorněn, například zda vibrací telefonu, notifikací, svitem LED, či pouze notifikací (viz. *Obr. 18* nalevo) nebo upozorněním na chytrých hodinkách spárovaný s telefonem (viz. *Obr. 18* uprostřed).

V aplikaci lze prohlížet historii událostí, kde uživatel může zpětně dohledat veškeré zaznamenané události (viz. *Obr. 18* napravo). Dle nastavení se historie maže po 24 hodinách nebo po 3 dnech.



Obr. 18 Aplikace Live Transcribe [34]

5.3.2 Vibrační náramek Neosenzory

Inovativním a dle ohlasu uživatelů funkčním zařízením je vibrační náramek vyvíjený společností Neosenzory. Jedná se o náramek zachycující pomocí mikrofону okolní zvuk, který transformuje na dynamické vibrační vzory, které následně uživatel vnímá pomocí 4 nezávislých motorů umístěných na řemínku náramku. Náramek dokáže interpretovat zvuk pomocí více než 4 miliard možných vibračních vzorů, které jsou předávány nervovému systému s následným zpracováním v mozku. Výsledkem je, že člověk je pomocí tohoto náramku schopen se naučit rozeznávat nejen veškeré události a zvuky z okolí, ale i vnímat hudbu či mluvené slovo. Náramek funguje podobně jako hlemýžď ve sluchovém orgánu, který převádí akustické vlnění na bioelektrické vzory, které dále mozek dokáže zpracovávat. Náramek dokáže tak alespoň částečně substituovat funkci sluchového orgánů. Vynálezci náramku uvádí, že člověk je schopen se naučit vnímat a rozeznávat zvuk převáděný na vibrační vzorce po třítydenním aktivním užívání. [35]

Vibrační náramek se vyrábí ve dvou variantách:

1. Clarify je určený především lidem s jistou mírou ztráty sluchu, kterým náramek poslouží zejména jako plnohodnotné zastoupení sluchadla [36],
2. Sound Awareness je určený pro lidi s úplnou hluchotou. Umožňuje dané osobě se naučit vnímat a rozeznávat zvuky jako např. zvonky, tekoucí vodu, požární alarm, sirénu, mluvení lidí, štěkání psu, či stovky dalších [37].

Ze 144 recenzí na stránkách společnosti Neosensory je z drtivé většiny pozitivní odezva na dané zařízení. Někteřím lidem pomohl náramek plně nahradit sluchadlo, kdy

s kombinací odezírání a vnímání vibrací dokázali časem lépe porozumět mluvenému slovu, jiným zas vnímat okolní události či hudbu [38]. Každou z uvedených variant náramků si lze pořídit na stránkách společnosti za částku 999 \$, což je v přepočtu 23 000 korun českých [36] [37].



Obr. 19 Vibrační náramek vyvíjený společností Neosensory [39]

5.4 Inovativní přístup k signalizaci pro neslyšící

V rámci popisu signalizačních zařízení aktuálně dostupných na trhu bylo pojednáno pouze o světelné a vibrační signalizaci. Zajímavá myšlenka se zrodila u japonských vědců, kteří se zamýšleli nad způsobem, jak upozornit hluchou osobu ve spánku na požární poplach. Vynalezli a v roce 2009 si nechali patentovat autonomní hlásič kouře, kdy po jeho detekci upozorní na událost vstříkáním aerosolu se silnou umělou esencí wasabi do okolí [40]. Japonští vědci zjistili, že vdechnutí vzduchu kontaminovaný aktivní složkou wasabi allyl-isothiocyanát, jež působí jako silné dráždivo dýchacího ústrojí, probudí spícího člověka údajně minimálně se stejnou účinností jako akustická požární siréna. Uvedený vynález byl prezentován na Ig. Nobelových cenách na Harvardské univerzitě v roce 2011, kde vyhrál Ig. Nobelovu cenu na chemii. [41]

Co se týče účinnosti, Shiga University of Medical Science prováděla experimenty na 14 lidech. Dobrovolníci se skládali z mužů a žen ve věku 20 až 40 let. Krom jednoho dobrovolníka, který měl ucpané nosní dutiny, se všichni probudili do dvou minut od detekce události. Z testovaných subjektů 4 lidé byli postiženi jistou mírou ztráty sluchu, u nichž došlo k probuzení do třiceti sekund. [42]

V roce 2011 se „wasabi alarm“ distribuoval za cenu 50 000 jenů [43], což v dnešní době odpovídá necelým 8 500 korun českých. Dnes na internetu nejsou k dohledání informace

o širší praktické aplikaci pachové signalizace. Existuje již zmíněný patent daného zařízení, nicméně ten je dnes aktivní pouze v USA. V patentu jsou uvedeni aktuální zmocněnci. Jedná se o firmy Seems Inc a Air Water Safety Service Inc., kteří se tehdy podíleli na vývoji [40]. Firma Seems Inc údajně dle patentu sídlící v Tokiu není na internetu k dohledání a firma Air Water Safety Service Inc., která dnes vyvíjí a distribuuje technologie do lékařského a požárního sektoru, dle jejich webových stránek wasabi alarm nedistribuuje [44].



Obr. 20 Autonomní požární hlásič s wasabi pachovou signalizací [41]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ PRO NÁVRH SIGNALIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Na úplném počátku návrhu byly definovány cíle a požadavky na navrhované zařízení. Bylo stanoveno, o jaký typ zařízení se bude jednat, způsob vyhodnocení a způsob signalizace. Navrhované signalizační zařízení bylo koncipováno do podoby hodinek, tedy nositelného zařízení. Zařízení bude snímat akustický signál z okolí a v reálném čase vyhodnocovat, zda se v zaznamenaném akustickém signálu objevují akustické vzorce požární sirény. Pokud hodinky zaznamenají zvuk požární sirény, upozorní uživatele na nebezpečnou událost vibrací motorů upevněných na řemínku hodinek.

6.1 Účel navrženého zařízení

Myšlenka celého návrhu spočívala ve vytvoření cenově dostupného prototypu mobilního zařízení určeného osobám se sluchovým postižením, které by dokázalo asistovat během sluchově stěžejních událostí. Jedná se například právě o zvuk požární sirény. V praxi by během denních aktivit měla sluchově postižená osoba připnuté takové zařízení na ruce a upozorňovalo jí na zvuk požární sirény či na jiné události, na které by zařízení bylo naprogramované reagovat. V případě návrhu pojednávaném v této práci se jedná pouze o rozpoznání zvuku požární sirény.

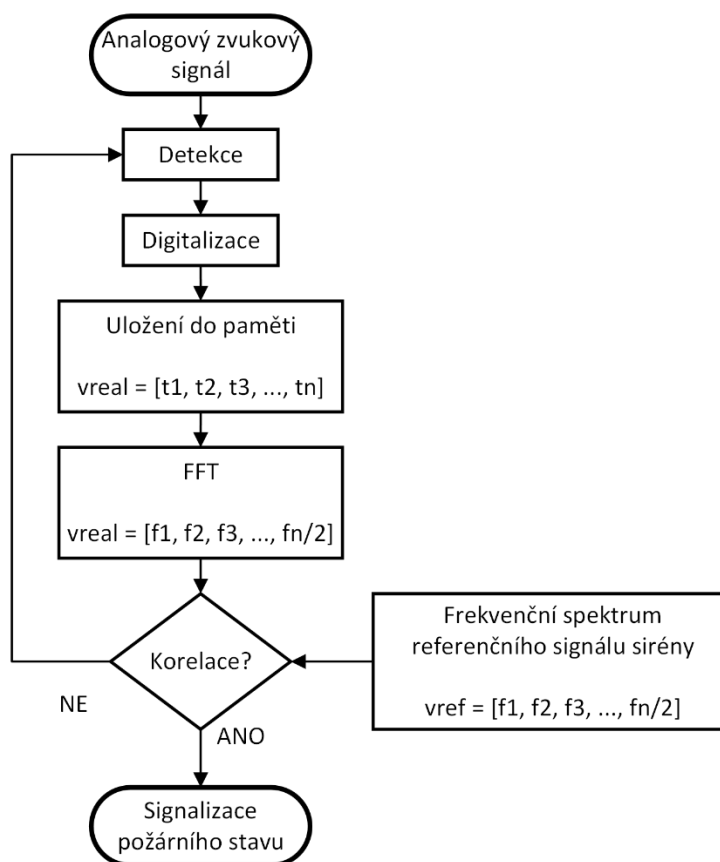
6.2 Stanovení požadavků na signalizaci

Bylo stanoveno, že signalizace bude probíhat pomocí trojice vibračních motorů. Tato signalizace se zakládá na generování určitého vibračního vzorce v případě upozornění na konkrétní událost. To znamená, že každá událost může mít k sobě přiřazen charakteristický vibrační vzorec. Uživatel tak může na základě vibrace jednoznačně rozeznat typ události. Pokud by se uživatel naučil dané vibrační vzorce rozeznávat, nemusel by získanou informaci ověřovat, což by mohlo vést k efektivnějšímu předání informace, než kdyby zařízení disponovalo pouhou statickou vibrační odezvou.

6.3 Stanovení způsobu vyhodnocení

Dále byl stanoven způsob vyhodnocení. Princip činnosti vyhodnocení požárního stavu se opírá o digitální zpracování signálu v reálném čase. V první řadě je mikrofonem snímán analogový akustický signál z okolí, dále je digitalizován a ukládán do paměti mikroprocesoru. Arytmicko-logická jednotka zaznamenanou posloupnost vzorků převede pomocí aplikace rychlé Fourierovy transformace (dále jen FFT) do frekvenční domény.

Frekvenční spektrum zaznamenaného signálu je dále podrobena Pearsonově korelační analýze s frekvenčním spektrem referenčního signálu požární sirény. Pokud frekvenční domény zaznamenaného a referenčního signálu dosáhnou jisté úrovně korelace, dojde k signalizaci požárního stavu. Pokud jisté míry korelace zaznamenaný a referenční signál nedosáhne, žádný požární stav vyhodnocovací jednotka nevyhlásí a dojde k zaznamenání nové časové posloupnosti vzorků reprezentující akustický signál v reálném čase. Dále se znovu celý proces opakuje. Proces vyhodnocení požárního stavu je graficky znázorněn na Obr. 21 pomocí vývojového diagramu.



Obr. 21 Princip činnosti navržených hodinek [vlastní]

7 NÁVRH A REALIZACE SIGNALIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Kompletní návrh obsahuje dílčí činnosti, kdy jeho výstupem je podklad pro následnou realizaci prototypu. Celý návrh a realizace zařízení se skládá z následujících chronologicky seřazených dílčích činností:

1. měření frekvenční charakteristiky vybrané požární sirény. Jako předmět vyhodnocení byla vybrána požární siréna KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz. Je nezbytné změřit její frekvenční charakteristiku za účelem stanovení minimálních požadavků pro digitalizaci akustického signálu,
2. výběr komponentů. Na základě stanovení minimálních požadavků na digitalizaci byly vybrány klíčové komponenty, zejména vyhodnocovací jednotku a mikrofon. Dále se jedná o komponenty, jako baterie, displej aj.,
3. stanovení parametrů pro záznam a digitalizaci akustického signálu. Na základě určených minimálních požadavků pro digitalizaci dle bodu 1 byly stanoveny skutečné parametry digitalizace, se kterými se dále pracovalo,
4. návrh vyhodnocovací části programu. V rámci návrhu vyhodnocovací části bylo provedeno měření, které ověřilo jednak spolehlivost zvolené konfigurace digitalizace a zadruhé ověřilo spolehlivost zvolené metody vyhodnocování zvuku,
5. návrh krytu hodinek. V tomto procesu proběhl návrh krytu hodinek a rozvržení vybraných komponentů uvnitř krytu. Byly zde kladeny požadavky na kompaktnost s ohledem na realizovatelné možnosti,
6. realizace krytu hodinek. Navržený kryt byl vytvořen prostřednictvím 3D tisku. Následně proběhla povrchová úprava,
7. propojení hardwarových prvků. Realizovaný kryt byl osazen vybranými komponenty,
8. návrh finálního programu. V této části práce byly popsány navrhnuté podprogramy, které definují jednotlivé funkce zařízení. Výstupem návrhu finálního programu je integrace těchto podprogramů do jednoho celku, který byl vhodný pro následnou implementaci do navrhnutého zařízení.

8 MĚŘENÍ A ANALÝZA AKUSTICKÉHO SIGNÁLU POŽÁRNÍ SIRÉNY KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 HZ

Pro určení požadavků na hardware, jež bude vyhodnocovat zvuk v reálném čase, bylo nutné změřit a vyhodnotit akustický signál požární sirény. Měření vybrané sirény probíhalo v dozvukové místnosti ve Vědeckotechnickém parku Informační a komunikační technologie na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Cílem měření bylo změřit frekvenční spektrum dané sirény a na základě ní určit požadavky na parametry digitalizace akustického signálu v reálném čase.

Siréna dokáže pracovat ve dvou pracovních režimech označených L1 a L2. Pracovní režim L1 je kolísavý zvuk charakterizovaný dvěma tóny měnící se v čase. Pracovní režim L2 je stacionární zvuk charakteristický jedním tónem. Měření a analyzovány byly oba pracovní režimy.

Měření bylo provedeno dle ČSN EN ISO 3741. Norma se věnuje metodám měření v souvislosti s určováním hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku [45]. V následující části práce bude popsán průběh měření a výsledky měření potřebné k vyhodnocení důležitých parametrů měřené sirény.



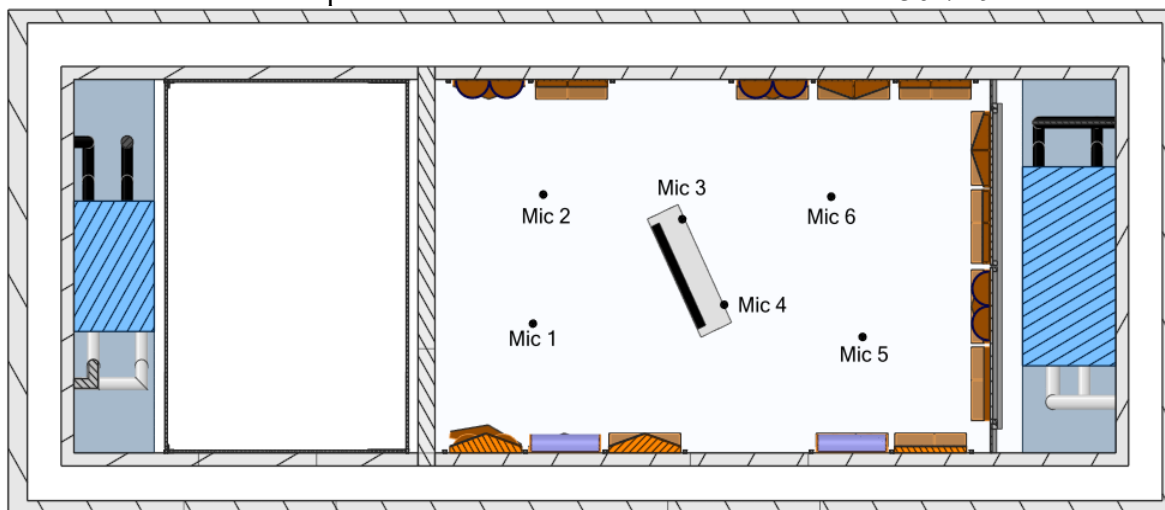
Obr. 22 Siréna KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz [vlastní]

8.1 Postup měření

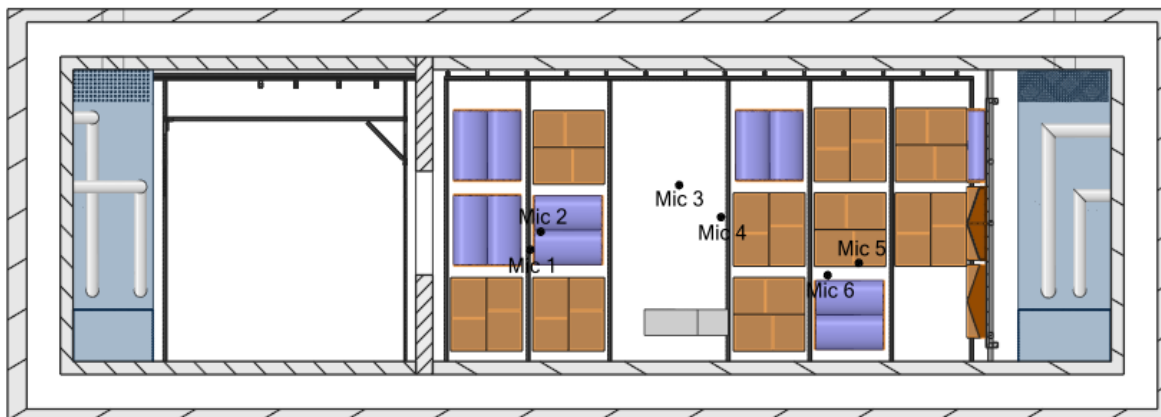
Nejprve v dozvukové místnosti proběhly montážní a přípravné práce pro potřeby daného měření. Proběhlo:

1. vyklizení prostoru, utěsnění otvorů ve stropní konstrukci, demontáž potrubí, které nebyly použity během samotného měření,
2. instalace měřené sirény do přibližného středu dozvukové místnosti tak, aby vyzařovanou akustickou energii směrovala směrem vzhůru,
3. instalace měřicí aparatury, zapojení mikrofonů k měřicí ústředně,
4. kalibrace mikrofonů na hodnotu 114 dB pro frekvence 250 Hz a 1 kHz, využití SW Nor850, záložka „Calibration“ (Multi-channel), uložení získaných korekcí,
5. rozmístění mikrofonů dle *Obr. 23* a *Obr. 24*,
6. spuštění sirény v požadovaném pracovním módu,
7. umístění referenčního zdroje zvuku na vhodné místo u stěny místnosti, kde bude možné po skončení měření umístit měřené zařízení.

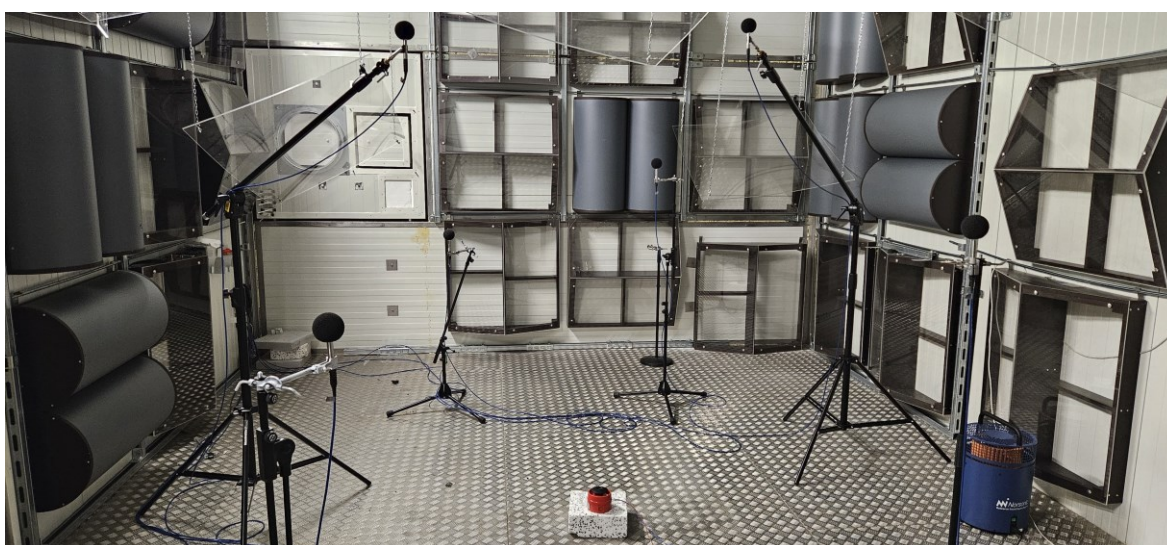
Pohled na instalovanou aparaturu v dozvukové místnosti lze vidět na *Obr. 25*.



Obr. 23 Půdorys dozvukové místnosti a rozvržení měřicích komponentů [46]



Obr. 24 Bokorys dozvukové místnosti a rozvržení měřících komponentů [46]



Obr. 25 Pohled na instalovanou aparaturu v dozvukové místnosti [vlastní]

Po montážních a přípravných pracích následovalo samotné měření, které zahrnovalo:

1. měření hladin akustického tlaku všech třetinooktávných pásem sledovaného frekvenčního rozsahu. Měření probíhalo v každé měřící poloze mikrofonu po minimální dobu 30 s. Takto provedené měření bylo nejméně 5x opakováno,
2. ověření vhodnosti rozmístění měřících prvků pomocí směrodatné odchylky ze všech poloh mikrofonů a výsledky porovnat s hodnotami v *Tab. 2*. Pokud nebyly hodnoty splněny, bylo potřeba upravit umístění mikrofonů, zvolit větší počet variant mikrofon/zdroj. Pod kritickou frekvencí ($f_{\text{krit.}} = 235,4$ Hz) nemuselo dojít ke splnění hodnot. Výsledky v těchto frekvencích se mohou pokládat za nadhodnocené.

Tab. 2 Maximální tolerované hodnoty směrodatných odchylek

f [Hz]	100 až 160	200 až 315	400 až 5 000	6300 až 10 000
$S_{M(\text{max})}$ [dB]	3,0	2,0	1,5	3,0

3. po skončení měření přemístění zkoušeného zařízení do odkládacího prostoru komory a místo něj umístit referenční zdroj zvuku, který se uvede do provozu,
4. měření hladin akustického tlaku referenčního zdroje zvuku ve všech třetinooktávových pásmech frekvenčního rozsahu 50 Hz až 10 kHz a v každé měřicí poloze mikrofonu po stejný časový interval jako zkoušené zařízení. Takto provedené měření je nejméně 5x opakováno,
5. opakování bodu č. 2 pro referenční zdroj zvuku, přičemž S_M pro $f > f_{krit.}$ by neměla překročit hodnotu 1,5 dB,
6. vypnutí všech zdrojů hluku,
7. měření hladin akustického tlaku hluku pozadí ve všech třetinooktávových pásmech frekvenčního rozsahu 50 Hz až 10 kHz v každé měřicí poloze mikrofonu po stejný časový interval jako zkoušené zařízení.

Sledování průběhu mikroklimatických podmínek měřeného prostředí bylo prováděno po celou dobu měření.

8.2 Určení hladiny akustického výkonu třetinooktávových pásem z naměřené hladiny akustického tlaku

Po provedeném měření byl aplikován postup pro určení hladiny akustického výkonu pro třetinooktávová pásma dle ČSN EN ISO 3741. Tento postup zahrnuje:

1. ověření splnění kritérií na hluk na pozadí, případná korekce,
2. ověření splnění mikroklimatických podmínek v průběhu sběru dat,
3. výpočet střední hodnoty časově průměrované hladiny akustického tlaku v každém třetinooktávovém pásmu sledovaného frekvenčního pásma pro zkoušené zařízení a pro referenční zdroj zvuku,
4. výpočet korekce na referenční mikroklimatické podmínky,
5. výpočet hladiny akustického výkonu zkoušeného zařízení v každém třetinooktávovém pásmu

V *Tab. 3* jsou vypsány přístroje a jejich základní informace použité pro potřeby měření.

Tab. 3 Specifikace použitých přístrojů

Měřicí zařízení	Typ	Sériové číslo	Měřicí rozsah	Přesnost
Kalorimetrická komora	-	-	-40 až 70 °C	-
Prostorový snímač teploty, vlhkosti a tlaku	Comet H7530	12980133	-30–80 °C; 0-100 %; 60 - 110 kPa	± 0,5 °C; ± 2,5 %; ± 130 Pa
Mikrofon s předzesilovačem:	GRAS GS-40AF s Nor1209	207301	5 Hz až 10 kHz; 3,15 Hz až 20 kHz	± 1,00 dB; ± 2,00 dB
		207302		
		207303		
		207304		
		207305		
Měřicí ústředna	Norsonic Nor850	8501144	20 Hz až 20 kHz	-
Zvukový kalibrátor:	Nor1251 (Class 1)	34204	114 dB až 1 kHz	± 0,02 dB
	Nor1256 (Class 1)	125626656	114 dB až 250 Hz 114 dB až 1 kHz	± 0,02 dB
Referenční zdroj zvuku:	Nor278	2784524	50 Hz až 20 kHz	-
Výkonový zesilovač	Nor280	-	120 dB pro 50 Hz až 20 kHz	-
Reproduktor	-	-	-	-

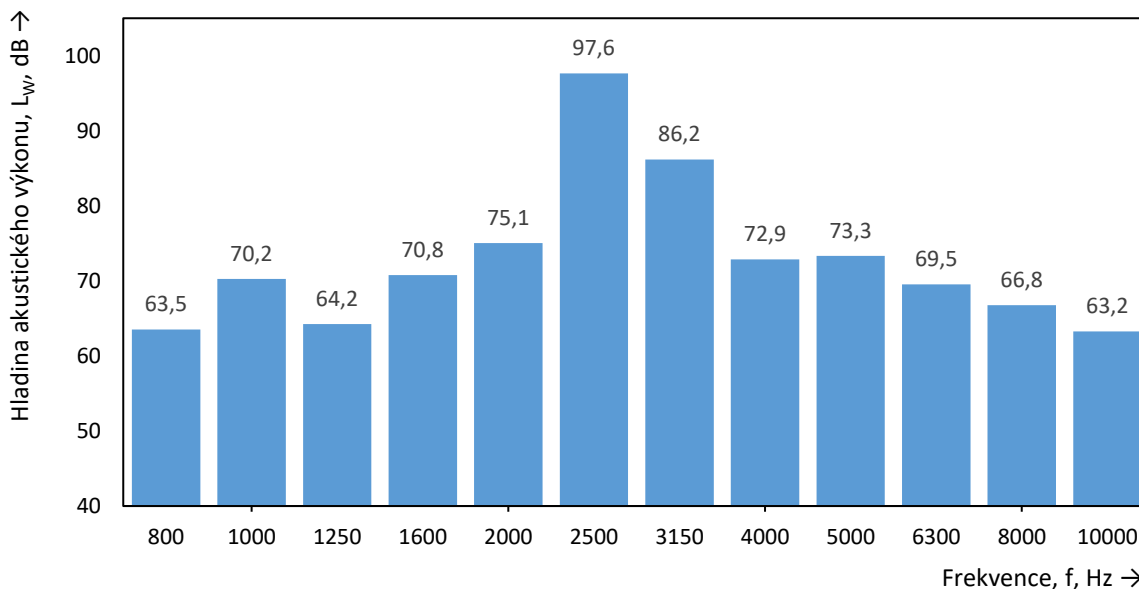
8.2.1 Výsledky měření sirény pro pracovní režim L1

Níže jsou uvedeny výsledky měření sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L1. Zprvu jsou v *Tab. 4* popsány podmínky měření. Výstup měření je popsán v grafu znázorňující hladiny akustického výkonu L_w pro třetinoctávová frekvenční pásma (viz. *Obr. 26*). Graf byl vytvořen pouze z těch třetinoctávoových pásem, u kterých hladina akustického výkonu přesahovala hodnotu alespoň 40 dB.

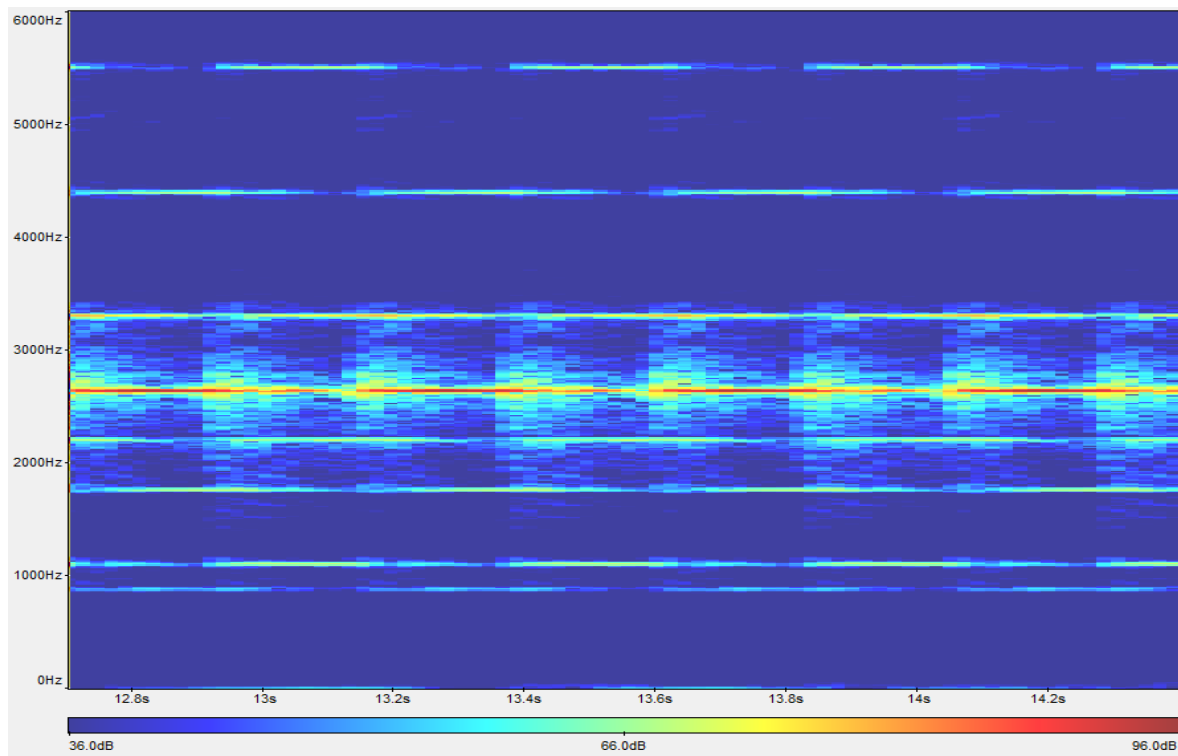
Dále byla zvuková stopa sirény v pracovním režimu L1 podrobena analýze prostřednictvím nástroje Ansys Sound SAS – Sound Analysis and Specification. Výstupem analýzy je waterfall diagram (viz. *Obr. 27*) znázorňující změnu frekvenčního spektra akustického signálu v čase.

Tab. 4 Podmínky měření sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L1

Datum a čas začátku měření:	09.03.2023 11:17
Objem místnosti:	93,7 m ³
Plocha stěn místnosti:	129,0 m ²
Typ akustické místnosti:	dozvuková
Korekce C2:	0,14 dB
Relativní vlhkost:	35,0 %
Statický tlak v místnosti:	96,8 kPa
Teplota vzduchu:	20,3 °C
Měřené zařízení	Siréna KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz
Režim zařízení:	L1
Celková hladina naměřeného akustického výkonu $L_{W(A)}$	99,3 dB



Obr. 26 Spektrální analýza sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz vyjádřena ve třetinooktávových pásmech pro pracovní režim L1



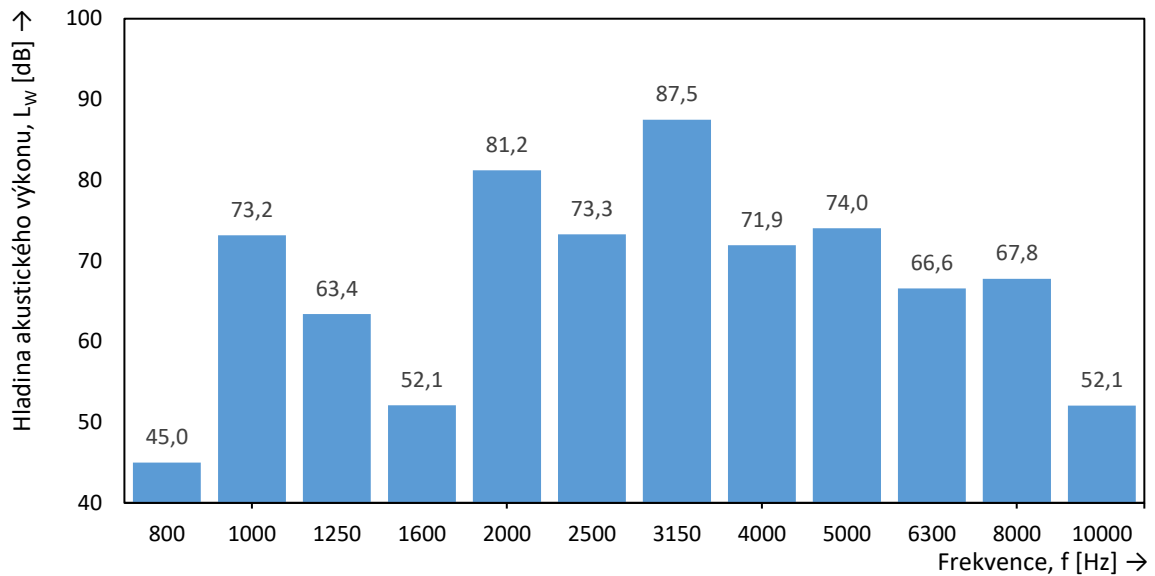
Obr. 27 Waterfall diagram akustického signálu sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L1

8.2.2 Výsledky měření sirény pro pracovní režim L2

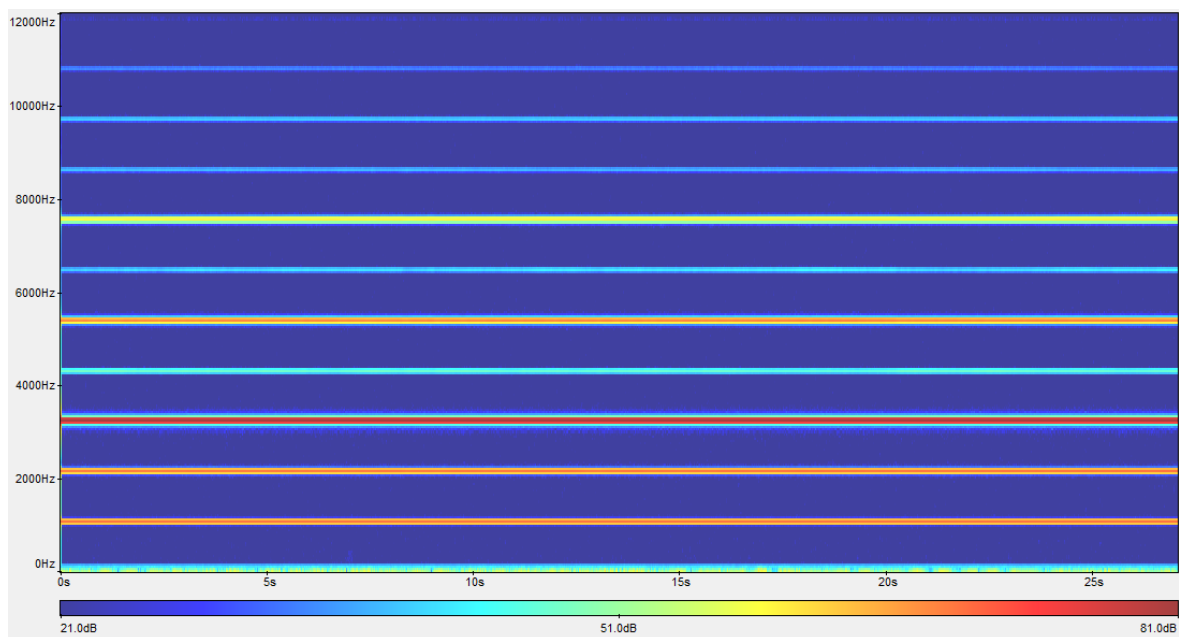
Rozsah výsledků měření sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L2 je ekvivalentní výsledkům měření pro pracovní režim L1, tzn. podmínky měření (viz. Tab. 5), graf frekvenčního spektra znázorněný ve třetiooktávových pásmech (viz. Obr. 28) a waterfall diagram (viz. Obr. 29).

Tab. 5 Podmínky měření sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L2

Datum a čas začátku měření:	09.03.2023 11:33
Objem místnosti:	93,7 m ³
Plocha stěn místnosti:	129,0 m ²
Typ akustické místnosti:	dozvuková
Korekce C2:	0,14 dB
Relativní vlhkost:	35,0 %
Statický tlak v místnosti:	96,8 kPa
Teplota vzduchu:	20,3 °C
Měřené zařízení	Siréna KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz
Režim zařízení:	L2
Celková hladina naměřeného akustického výkonu $L_{W(A)}$	90,1 dB



Obr. 28 Spektrální analýza sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz vyjádřena ve třetinooktávových pásmech pro pracovní režim L2



Obr. 29 Waterfall diagram akustického signálu sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L2

8.2.3 Vyhodnocení výsledků měření

Byl měřen akustický signál sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz v pracovním režimu L1. Z prostého poslechu lze usoudit, že zvuk sirény v pracovním režimu L1 je proměnlivý v čase. Tento výrok lze potvrdit waterfall diagramem dle Obr. 27, kde frekvenční spektrum se v čase mění v pravidelném intervalu.

Dále byl měřen akustický signál totožné sirény v pracovním režimu L2. Z prostého poslechu lze usoudit, že zvuk sirény v pracovním režimu L2 je v každém okamžiku stacionární. Tento výrok lze potvrdit waterfall diagramem dle *Obr. 29*, kde frekvenční spektrum se v čase nemění. Z celkové hladiny akustického výkonu 90,1 dB lze vyvodit, že siréna v pracovním režimu L2 vyzařuje do okolí podstatně nižší výkon než siréna v pracovním režimu L1 s celkovou hladinou akustického výkonu 99,3 dB, a to za téměř totožných podmínek.

Na grafech na *Obr. 26* a *Obr. 28* lze sledovat rozložení akustické energie ve třetinooktávových pásmech pro akustickou sirénu KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz. Pokud bychom definovali dominantní frekvence jako třetinooktávová pásma s hladinou akustického výkonu přesahující hodnotu 80 dB, dominantní frekvence zvuku L1 se pohybuje v pásmu 2500 Hz s hodnotou 97,6 dB a v pásmu 3150 Hz s hodnotou 86,2 dB. Dominantní frekvence zvuku L2 se pohybuje v pásmu 3150 Hz s hodnotou 87,5 dB a v pásmu 2000 Hz s hodnotou 81,2 dB.

Na základě frekvenčních pásem charakterizující akustický signál zkoumaných zvuků sirény lze vyvodit minimální požadavky na frekvenční charakteristiku snímacího prvku navrhovaného zařízení a vzorkovací kmitočet při digitalizaci signálu, kdy je zapotřebí dodržet vzorkovací teorém. V rámci zpracování a analýzy digitálního signálu, jež je předmětem návrhu, se doporučuje, aby nejvyšší zkoumaná frekvence byla alespoň čtyřikrát menší než vzorkovací frekvence [11]. To znamená, že pokud by se uvažovala frekvence 3150 Hz jako nejvyšší zkoumaná frekvence v rámci zpracování a analýzy digitálního signálu, tak minimální požadavek na vzorkovací kmitočet by byl 12 600 Hz.

9 VÝBĚR KOMPONENTŮ

V následující kapitole jsou jednotlivě popsány vybrané komponenty. U každého komponentu jsou uvedeny základní parametry a důvod výběru. Vzhledem k tomu, že vybrané komponenty jsou součástí hodinek, požadavkem na veškeré komponenty byla zejména kompaktnost.

9.1 Vývojová deska Seeed Studio nRF52840 Sense

Do návrhu byla vybrána vývojová deska s označením Seeed Studio nRF52840 Sense. Jedná se o kompaktní a výkonný mikropočítač, který desku plošného spoje sdílí spolu s PDM mikrofonom a dalšími hardwarovými doplňky jako je akcelerometr s gyroskopem, bluetooth či NFC. Primárním předmětem návrhu je sice detekce přítomnosti zvuku požární sirény, nicméně je zde možnost realizovaný prototyp v budoucí době rozšířit o další asistivní či jiné funkce.

Součástí vybrané vývojové desky je MEMS mikrofón MSM261D3526H1CPM s PDM digitálním výstupem. Jedná se o miniaturní mikrofón s vysokou spolehlivostí. Tento mikrofón se vyznačuje vysokým odstupem signál-šum ($SNR = 64$ dB při standardním režimu výkonu v testovacích podmínkách: $f_{CLOCK} = 2,4$ MHz, $U_{DD} 1,8$ V), Σ - Δ modulátorem 4. řádu, digitálním PDM výstupem či vícero výkonnostními režimy. Soudě dle frekvenční charakteristiky, dostupné v datasheetu daného mikrofónu, je použitý mikrofón optimální pro záznam zvuku zkoumané sirény [47].

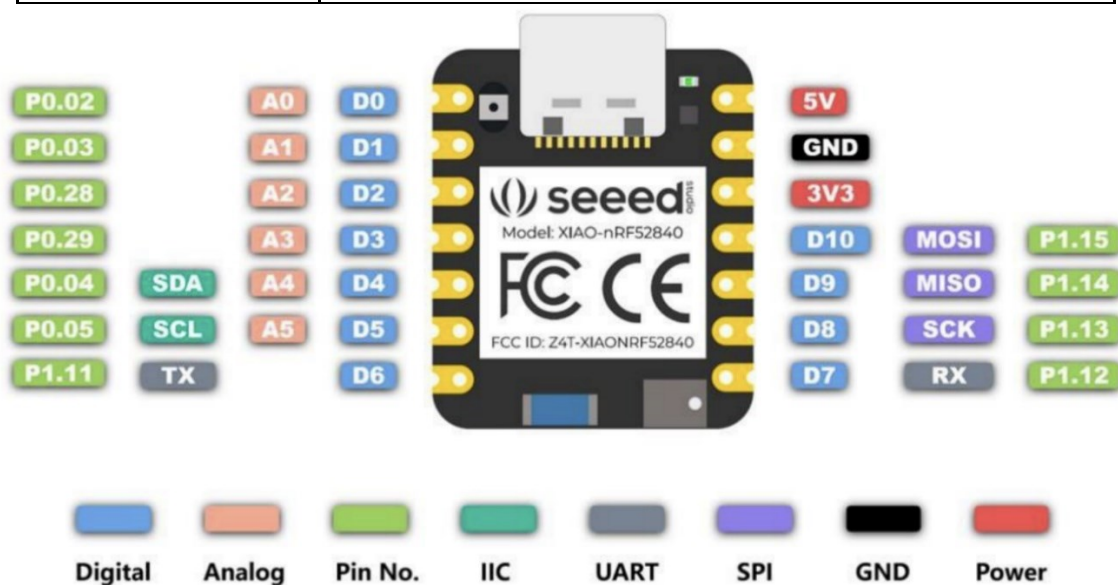
O převod do digitální formy, se kterou je dále možno pracovat, se stará čip Nordic nRF52840, který disponuje PDM modulem pro převod vstupního PDM signálu na 16bitový PCM signál [48]. Práci s výstupním PCM signálem umožňuje vývojáři dané vývojové desky vytvořená knihovna. Knihovna nabízí volbu defaultně přednastavených parametrů digitalizace. Mezi nejdůležitější parametry patří vzorkovací kmitočet, který lze nastavit na hodnotu 16000 Hz nebo 41667 Hz. V případě, že by zmíněné hodnoty vzorkovací frekvence nevyhovovaly, je možnost upravit zdrojový kód knihovny. MEMS mikrofóny jsou díky své kompaktnosti a vysoké spolehlivosti v dnešní době implementovány do takřka všech moderních zařízení typu chytrý telefon, sluchátka, tablet či notebook.

Vývojová deska je programovatelná prostřednictvím nástroje Arduino IDE a pro doplňkový hardware existují již vytvořené knihovny. V *Tab. 6* jsou popsány základní

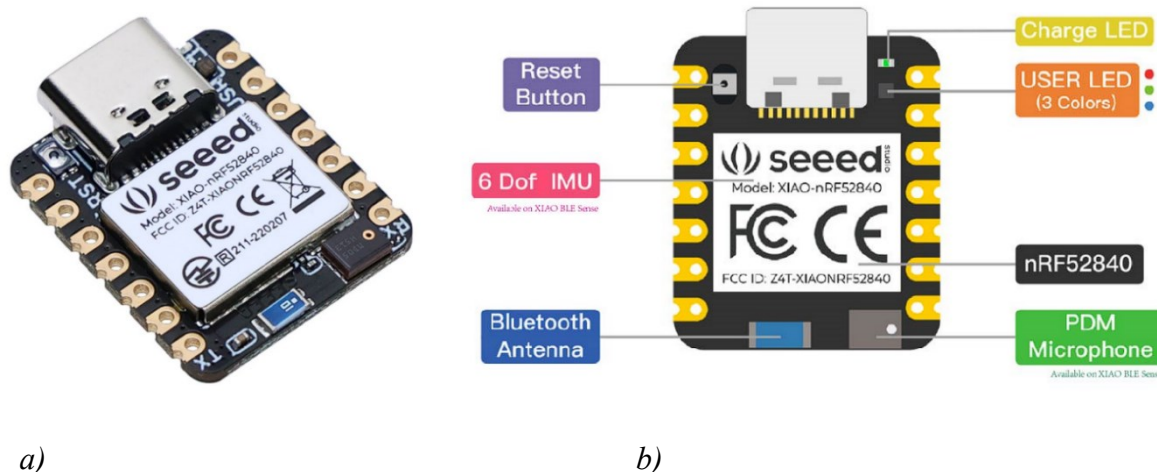
parametry vybrané vývojové desky. Na *Obr. 30* jsou popsány piny vybrané vývojové desky, na *Obr. 31a)* je ilustrativní fotografie vývojové desky a na *Obr. 31b)* je znázorněno rozvržení hardwaru na desce plošných spojů.

Tab. 6 Parametry vybrané vývojové desky [49]

Položka	Seeed Studio XIAO nRF52840 Sense
Procesor	Nordic nRF52840
	ARM ® Cortex ® -M4 s FPU až 64 MHz
Bezdrátové funkce	Bluetooth 5.0 / NFC
Paměť na čipu	1 MB flash a 256 kB RAM
Palubní paměť	2 MB QSPI flash
Rozhraní	1xUART, 1xIIC, 1xSPI, 1xNFC, 1xSWD, 11xGPIO (PWM), 6xADC
Senzory	Digitální mikrofon PDM, 6-osý IMU
Rozměry	21 x 17,5 mm
Napájení	Provozní napětí obvodu: 3,3V @ 200 mA
	Možnost napájet z baterie: Li-Pol 3,7 V
	Nabíjecí proud: 50 mA / 100 mA
	Vstupní napětí (U_{IN}): 5 V
	Spotřeba energie v pohotovostním režimu: < 5 μ A



Obr. 30 Popis jednotlivých pinů vývojové desky Seeed Studio nRF52840 [49]



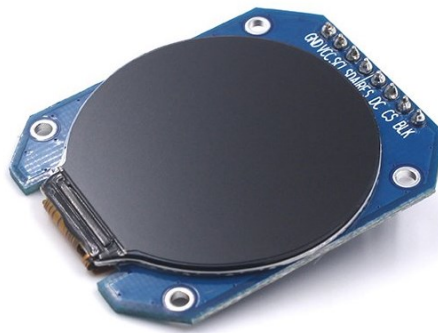
Obr. 31 Seeed Studio nRF52840 Sense: a) ilustrativní fotografie, b) rozvržení hardwaru na vývojové desce [49]

9.2 1.28" 240x240 TFT IPS kulatý barevný displej GC9A01, SPI

Jako zobrazovací jednotka hodinek byl vybrán 1,28“ TFT IPS kulatý barevný displej s rozlišením 240x240 pixelů. Jelikož komunikuje po SPI sběrnici, je kompatibilní s vybranou vývojovou deskou. Displej je dostatečně kompaktní pro návrh pouzdra přibližující se hodnotám rozměrů hodinek běžně dostupných na trhu. Naprogramování displeje lze realizovat pomocí knihoven pro driver GC9A01. V Tab. 7 jsou uvedeny parametry vybraného displeje a na Obr. 32 je vyobrazena ilustrativní fotografie vybraného displeje.

Tab. 7 Parametry vybraného displeje [50]

Položka	1.28" 240x240 TFT IPS kulatý barevný displej GC9A01, SPI
Rozměry	39x28x5mm
Rozlišení	240 x 240 bodů
Barvy	RGB 65k
Driver	GC9A01
Připojení	SPI
Pracovní napětí	3,3 V
Podsvícení	3,3 V



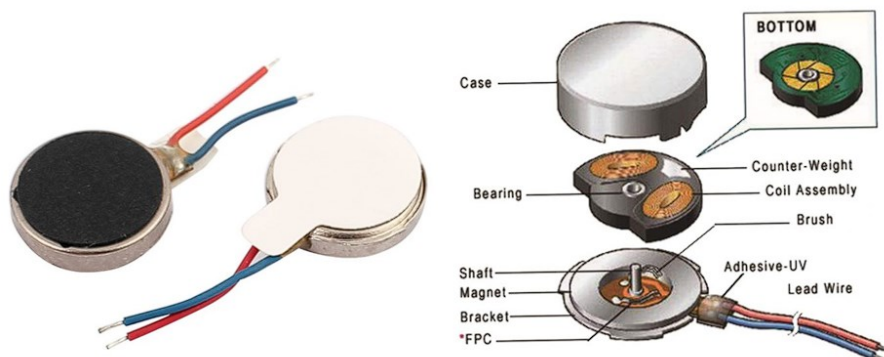
Obr. 32 1.28" 240x240 TFT IPS kulatý barevný displej GC9A01, SPI [50]

9.3 Vibrační motor 1027 3 V

Signalizační část je řešena prostřednictvím trojice vibračních motorů. Vybrané vibrační motorky jsou dostatečně kompaktní na to, aby bylo možné je upevnit na řemínek hodinek. V Tab. 8 jsou vypsány parametry vybraného vibračního motoru a na Obr. 33 je vybraný vibrační motor znázorněn.

Tab. 8 Parametry vibračního motoru 1027 3 V [51]

Položka	Vibrační motor 1027 3 V
Rozměry	10 x 3 mm
Délka vodičů	25 mm
Napětí	3 V
Počet otáček	9000
Izolační odpor	> 9 M Ω
Impedance	31 Ω
Samolepicí	ano



Obr. 33 Vibrační motor 1027 3 V [51]

9.4 Pi Supply 600mAh Li-ion baterie

Baterie byla vybírána zejména z hlediska poměru výkon/kompaktnost. Cílem návrhu je vytvořit podklad pro realizaci kompaktního zařízení a baterie je položka, která v návrhu zabírá nejvíce místa. Nakonec byla vybrána baterie Pi Supply 600mAh. Z hlediska poměru výkon/kompaktnost se jevila jako nejlepší z vyhledaných alternativ. V *Tab. 9* jsou popsány parametry vybrané baterie a na *Obr. 34* je vyobrazena ilustrativní fotografie.

Tab. 9 Parametry vybrané baterie [52]

Položka	Pi Supply 600mAh Li-ion baterie
Kapacita	600 mAh
Rozměry	6 mm x 25 mm x 35 mm
Napětí	3,7 V
Typ	Li-Polymer
Další funkce	Vestavěný ochranný obvod pro zabránění přebíjení nebo vybití



Obr. 34 Pi Supply 600mAh Li-ion baterie [52]

9.5 Mikrospínač do DPS spínací 1-pólový OFF-(ON) 0.05A 12V DC Ninigi TACT-64K-F

Dále byla navržena dvojice mikrospínačů pro ovládání uživatelského rozhraní. Jedná se o prosté mechanické mikrospínače, které byly vybírány opět s požadavkem na kompaktnost. V zásadě první mikrospínač reprezentuje potvrzovací funkci a druhý mikrospínač reprezentuje výběrovou funkci. V *Tab. 10* jsou rozepsány parametry vybraného mikrospínače.

Tab. 10 Parametry vybraného mikrospínače [53]

Položka	Mikrospínač do DPS spínací 1-pólový OFF-(ON) 0.05A 12V DC Ninigi TACT-64K-F
Typ spínače	Mikrospínač
Typ kontaktu	Spínací 1-pólový
Napětí	12 V
Proud	<50 mA
Rozměry	6 x 6 x 4,3 mm
Kontaktní odpor	50 mΩ
Izolační odpor	100 MΩ

9.6 RhinoTech univerzální nylonový řemínek Quick Release 20mm

Pro schopnost uchycení zařízení na zápěstí je vybrán do návrhu univerzální nylonový řemínek od výrobce RhinoTech. Během výběru byly na řemínek kladeny dva důležité požadavky. Zaprvé prošívatelnost z důvodu snadného a pevného uchycení komponent na řemínek a možnosti propojit jednotlivé komponenty na řemínku prostřednictvím vodivé nitě. Způsob propojení komponentů na řemínku pomocí vodivé nitě je zvolen z důvodu odolnosti vůči častým mechanickým ohybům. Zadruhé, aby řemínek disponoval jednoduchým a spolehlivým mechanismem pro uchycení řemínku ke krytu hodinek. Vybraný řemínek proto disponuje upevňovacím mechanismem Quick Release 20 mm. Na Obr. 35 je ilustrativní fotografie vybraného řemínku.



Obr. 35 RhinoTech univerzální nylonový řemínek Quick Release 20mm [54]

10 STANOVENÍ PARAMETRŮ PRO ZÁZNAM A DIGITALIZACI AKUSTICKÉHO SIGNÁLU

Po výběru vhodného hardwaru proběhlo stanovení parametrů pro digitalizaci a záznam akustického signálu. Stanovení těchto požadavků se opírá o minimální požadavky pro analýzu zvuku vybrané sirény, způsob zpracování signálu a omezení z hlediska výpočetního výkonu zvoleného hardwaru. Vybraná siréna dokáže generovat dva různé signály (signál L1 a L2). Návrh se dále věnuje pouze zpracování a analýze zvuku L2.

Způsob vyhodnocení signálu byl stanoven a popsán v kapitole 6. Jedním z procesů analýzy je aplikace FFT. Zde bylo nutné najít vhodnou syntézu mezi vzorkovací frekvencí a počtem vzorků signálu zaznamenaných v jednom bloku. Poměr vzorkovací frekvence a počet vzorků ovlivňuje rozlišovací schopnost v kmitočtové oblasti. Pokud by byla zvolena příliš vysoká vzorkovací frekvence, rozlišovací schopnost v kmitočtové oblasti by se snížila, tudíž pro zpětné navýšení rozlišovací schopnosti by bylo nutné navýšit počet zaznamenaných vzorků, což má za následek zvýšení potřebného času pro výpočet FFT, tedy zvýšené nároky na hardware. Na druhou stranu odborná literatura uvádí, že pro účely analýzy digitálního signálu by zvolená vzorkovací frekvence měla být minimálně čtyřikrát vyšší než nejvyšší sledovaná frekvence [11]. Tato frekvence vyplývá z výsledků měření vybrané požární sirény (viz. kapitola 8.2.3) a byla stanovena na hodnotu 12 600 Hz.

S použitím knihovny mic.h, která je určena pro konfiguraci mikrofону a digitalizaci snímaného signálu pomocí vybrané vývojové desky, lze defaultně nastavit vzorkovací frekvenci na 16000 Hz nebo 41667 Hz. Vzhledem k tomu, že pro potřeby detekce charakteristických frekvencí sledovaného zvuku sirény není třeba volit příliš vysokou vzorkovací frekvenci, v dalších krocích návrhu se pracovalo se vzorkovací frekvencí 16000 Hz.

Počet zaznamenaných vzorků v jednom bloku musí být z důvodu aplikace FFT algoritmu zvolen o velikosti n -té mocniny čísla dva. Bylo určeno, že pro vzorkovací frekvenci 16 kHz je dostačující snímat akustický signál po 1024 vzorcích. Z toho vyplývá rozlišovací schopnost neboli kmitočtový krok

$$d_f = \frac{f_s}{N_0} = \frac{16000}{1024} = 15,625 \text{ Hz},$$

kde d_f je kmitočtový krok, f_s je vzorkovací kmitočet a N_0 je počet zaznamenaných vzorků v jednom bloku.

11 NÁVRH VYHODNOCOVACÍ ČÁSTI PROGRAMU

Celá podstata vyhodnocení stavu požární sirény byla postavena na Pearsonově korelační analýze. Pearsonova korelační analýza určuje lineární závislost mezi dvěma posloupnostmi. Výsledkem korelační analýzy je Pearsonův korelační koeficient nabývající hodnot od -1 do 1. Hodnota -1 indikuje absolutně negativní (inverzní) korelaci, hodnota 1 indikuje absolutní kladnou korelaci a hodnota 0 indikuje, že mezi pozorovanými posloupnostmi neexistuje lineární závislost. Pro výpočet Pearsonova korelačního koeficientu může být například využit vzorec ve tvaru:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} v_{real(i)} v_{ref(i)} - n \overline{v_{real}} \overline{v_{ref}}}{(N_0 - 1) s_{v_{real}} s_{v_{ref}}}, \quad (21)$$

kde v_{ref} je frekvenční spektrum referenčního vzorku, v_{real} je frekvenční spektrum poměřovaného vzorku s referenčním vzorkem, N_0 je počet vzorků v jedné posloupnosti hodnot, $\overline{v_{real}}$ a $\overline{v_{ref}}$ jsou aritmetické průměry daných vzorků, $s_{v_{real}}$ a $s_{v_{ref}}$ představují směrodatné odchylky daných vzorků. [55]

To znamená, že je poměřována lineární závislost mezi dvěma posloupnostmi vzorků. Jedna posloupnost vzorků představuje frekvenční spektrum referenčního signálu sirény a druhá posloupnost vzorků představuje frekvenční spektrum reálného signálu zaznamenaného mikrofonem. Před aplikací korelační analýzy je referenční a reálný signál z časové domény transformován do domény frekvenční z důvodu, že výstupní hodnota korelace je závislá na fázovém posuvu porovnávaných signálů. Takovýmto způsobem je eliminována nutnost posouvat signály do stejné fáze. V poslední fázi vyhodnocení byla stanovena prahová hodnota korelace, kdy po dosažení této hodnoty je vytvořen poplachový signál.

Výše popsaná metoda vyhodnocení stavu požární sirény musela být nejdříve vhodně navrhnutá pro správnou implementaci do výsledného zařízení. Zprv bylo potřeba ověřit vhodnost zvolených parametrů digitalizace. To znamená, zda je vývojovou deskou zaznamenaný akustický signál požární sirény dle zvolených parametrů digitalizace vhodný pro následnou frekvenční analýzu. Zadruhé, zda je následná korelační analýza vhodná a směrodatná v rámci správného vyhodnocení. Zatřetí, pokud by byla jedna ze zmíněných otázek zodpovězena negativně, tak přejít na jiné vhodnější řešení.

Za účelem zodpovězení na výše vyjmenované tři otázky byly provedeny následující kroky:

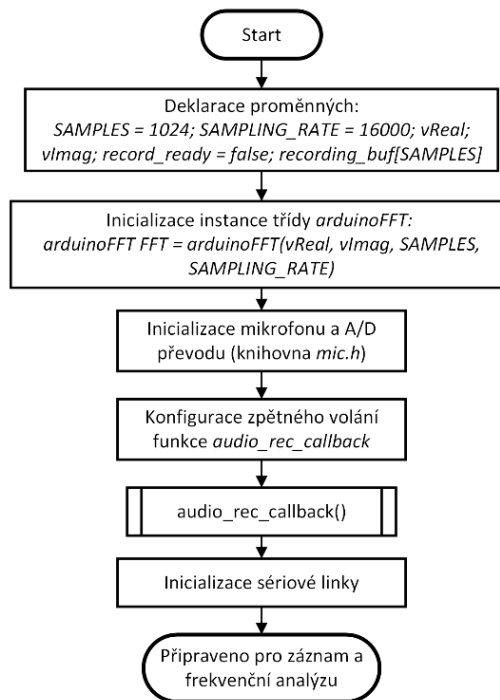
1. návrh programu pro záznam akustického signálu dle stanovených parametrů pro digitalizaci, který převede zaznamenaný signál do frekvenční domény a vypíše jej na sériovou linku,
2. navržený program byl implementován do vývojové desky Seeed a provedlo se jím měření akustického signálu sirény v bezodrazové místnosti. Zaznamenané vzorky signálu pak reprezentovaly referenční signál sirény,
3. měření akustického signálu sirény za simulace reálného prostředí, také pomocí vývojové desky Seeed s implementovaným programem zmíněný v bodě 1. Zaznamenané vzorky signálu reprezentovaly reálný signál sirény,
4. analýza zaznamenaných vzorků v prostředí Matlab. Byla poměřována korelace mezi jednotlivými frekvenčními doménami referenčních vzorků, která by měla být, pokud možno co nejvyšší, jelikož frekvenční domény zaznamenaných referenčních vzorků v rámci rezonujících frekvencí by neměly být odlišné. Dále byly referenční vzorky porovnávány s frekvenční charakteristikou třetiooktávových pásem dané sirény, měřena dle ČSN EN ISO 3741, a to za účelem ověření, zda vývojová deska Seeed dokáže zaznamenat dle zvolené konfigurace digitalizace akustický signál věrně. V neposlední řadě byly poměřovány korelace mezi vybranou frekvenční doménou referenčního vzorku s naměřenými reálnými vzorky za účelem, zda i po zavedení simulovaného hluku jsou výsledky korelace směrodatné a zda je metoda Pearsonovy korelační analýzy vhodná pro implementaci do navrhovaného signalizačního zařízení,
5. vyvození jednotlivých závěrů.

Navržené programy, jak pro záznam akustického signálu a jeho převod do frekvenční domény, tak i pro korelační analýzu vytvořený v prostředí Matlab, byly použity jako podklady pro výsledný program.

11.1 Návrh programu pro záznam akustického signálu, převod do frekvenční domény a následný výpis na sériovou linku

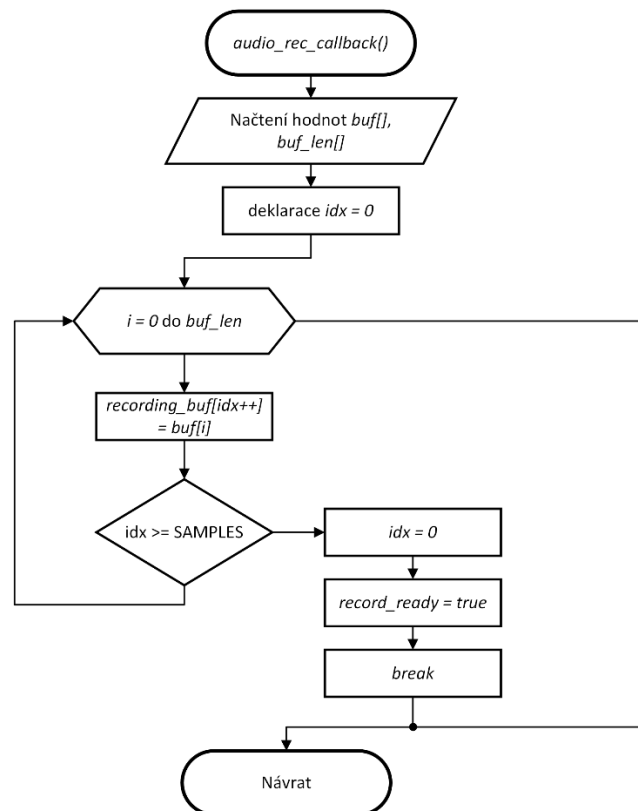
Program byl psán v prostředí Ardiono IDE. V první řadě bylo potřeba provést inicializaci potřebných atributů dle *Obr. 36*. Potřebný preprocessing se týkal inicializace mikrofonu, A/D převodu a inicializace pro volání funkcí týkající se FFT. Na počátku programu byly

deklarovány zejména proměnné definující již určené parametry digitalizace, jako je vzorkovací frekvence a počet zaznamenaných vzorků v jednom bloku. Pro řídicí funkce mikrofonu a A/D převodu byla využita knihovna *mic.h* a pro aplikaci FFT byla využita knihovna *arduinoFFT.h*.



Obr. 36 Vývojový diagram preprocessingu pro následný záznam a frekvenční analýzu [vlastní]

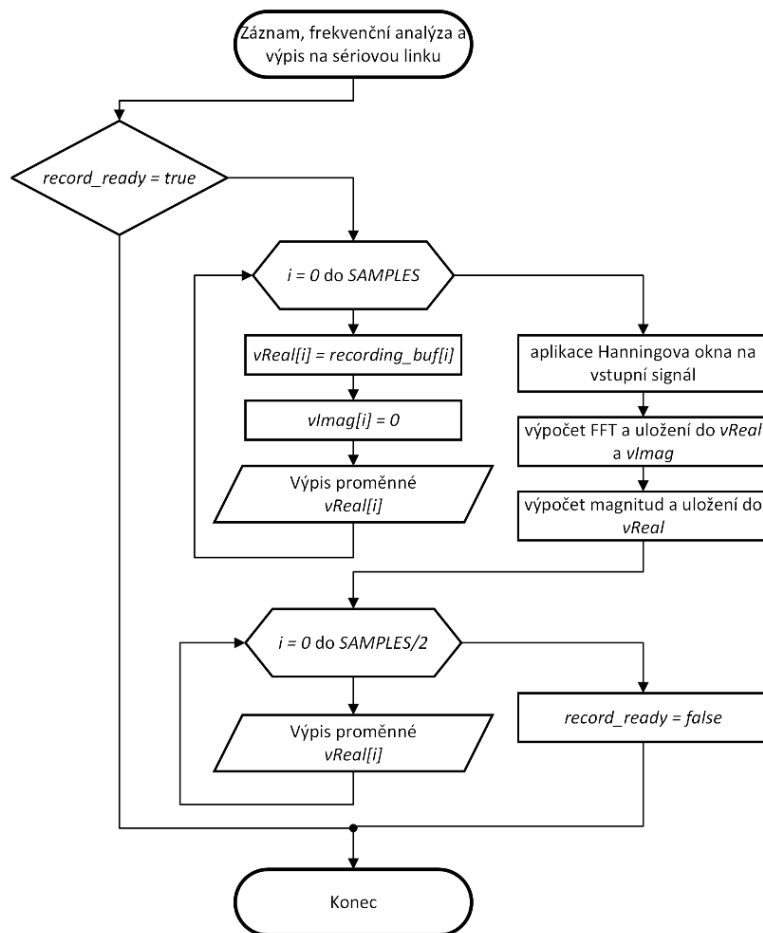
Funkci *audio_rec_callback()* bylo potřeba doplnit do programu. Nicméně její zpětné volání se konfigurovalo pomocí funkce *Mic.set_callback()*, která je součástí knihovny *mic.h*. Zpětné volání této funkce bylo podmíněno proměnnou *record_ready*. Pokud byla během programu kdykoli nastavena na hodnotu *false*, proběhlo přerušení a načtení nových hodnot diskretizovaného akustického signálu do zásobníku, se kterým se dále pracovalo v hlavním programu. Po ukončení přerušení se přepsala proměnná *record_ready* znovu na *true* a došlo k návratu do hlavního programu. Vývojový diagram funkce *audio_rec_callback()* je znázorněn níže na Obr. 37.



Obr. 37 Vývojový diagram funkce `audio_rec_callback()` [vlastní]

Dále již bylo možné napsat program pro záznam akustického signálu, převod do frekvenční domény a následný výpis na sériovou linku. Obecný vývojový diagram pro výpis časové a frekvenční domény je znázorněn na Obr. 38. Vývojový diagram znázorňuje jeden cyklus výpisu časové a frekvenční domény. Program je napsán ve funkci `void loop()`, takže po ukončení jednoho cyklu se proces znovu opakoval. Nejdříve se pomocí cyklu `for` postupně načely ze zásobníku vzorky akustického signálu do vektorové proměnné `vReal` a vypsaly na sériovou linku. Vektorová proměnná `vImag` se musela po každé otočce cyklu funkce `void loop()` vynulovat, jelikož byly v ní uloženy hodnoty z přechozího cyklu v rámci procesu výpočtu FFT. Pro přesnější a spolehlivější výsledek Fourierovy transformace bylo na vstupní signál aplikováno Hanningovo okno, které je součástí knihovny `arduinoFFT.h`, jakožto funkce `FFT.Windowing()`. Hanningovo okno je funkce potlačující vliv omezeného vzorkování na Fourierovu transformaci. Potlačuje nežádoucí tzv. okrajový efekt, který se objevuje na okrajích diskrétního periodického frekvenčního spektra. Poté byla aplikována funkce `FFT.Compute()` pro výpočet FFT. Funkce pro výpočet FFT převedla časovou doménu do frekvenční domény, která byla vyjádřena v komplexní rovině. V takovém tvaru byla frekvenční doména nevhodná pro další analýzu. Proto se následně vypočítaly magnitudy jednotlivých komplexních čísel

pomocí funkce *FFT.ComplexToMagnitude()* a vypsaly pomocí cyklu *for* na sériovou linku. V poslední řadě byla proměnná *record_ready* přepsána na *false*, aby mohlo dojít k dalšímu záznamu hodnot do zásobníku.



Obr. 38 Vývojový diagram pro záznam akustického signálu, převod do frekvenční domény a výpis frekvenční a časové domény na sériovou linku [vlastní]

Navržený program byl implementován do vývojové desky Seed a s jeho pomocí bylo provedeno následné měření referenčních a reálných vzorků signálu. Výpis na sériovou linku byl upraven tak, aby data měla vhodnou syntaxi pro jejich analýzu v nástroji Matlab.

11.2 Měření akustického signálu sirény za simulace reálného prostředí pomocí vývojové desky Seed

Měřením vzorků akustického signálu sirény za simulace reálného prostředí se rozumí měření signálu sirény pomocí vývojové desky Seed z různých vzdáleností od zdroje za simulovaných provozních podmínek (např. veřejné prostory, ulice, obchody) zavedených pomocí nahrávky hluku z rušné ulice. Měření probíhalo na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, na chodbě ve třetím patře, v prostorách

poblíž učeben označené číslem 54. Měření probíhalo ve večerních hodinách, kdy se v prostorách uskutečněného měření nevyskytoval žádný rušivý element. Měření spočívalo v:

1. umístění sirény k jednomu z počátků chodby tak, aby generovaný signál byl vyzařován směrem na druhý konec chodby,
2. umístění měřicí sestavy v podobě vývojové desky Sseed jeden metr od zdroje tak, aby PDM mikrofon byl umístěn v ose vyzařování,
3. záznamu hladiny akustického tlaku v místě umístění měřicí sestavy pomocí hlukoměru bez zapnuté sirény,
4. záznamu alespoň šesti posloupností akustického signálu okolního zvuku bez zapnuté sirény,
5. zapnutí sirény,
6. zaznamenání hodnoty hladiny akustického tlaku v místě umístění měřicí sestavy pomocí hlukoměru se zapnutou sirénou,
7. záznamu alespoň šesti posloupností akustického signálu okolního zvuku se zapnutou sirénou,
8. vypnutí sirény a opakování bodů 3 až 7 s tím rozdílem, že do měřicího prostředí se zavedl simulovaný hluk z ulice pomocí nahrávky z chytrého telefonu, kdy tento hluk v místě PDM mikrofonu dosahoval přibližně 62 dB, 72 dB a 82 dB hladiny akustického tlaku. Tyto hodnoty byly nastavovány pomocí hlukoměru. Opakování bodů 3 až 7 probíhalo třikrát pro každou zavedenou úroveň simulovaného hluku,
9. opakování bodů 2 až 8 pro vzdálenosti 2 m, 4 m, 8 m, 12 m, 16 m a 32 m od zdroje. Jediný rozdíl od měření ve vzdálenosti 1 m byl, že už nebylo nutné zaznamenávat samotný hluk, pouze sirénu bez hluku a s definovanými hluky v bodě 8. Jinak řečeno, bod 3 a 4 se od ostatních vzdáleností vynechal

11.3 Měření referenčního signálu sirény v odhlučněné místnosti pomocí vývojové desky Sseed

Měření referenčního signálu sirény probíhalo v odhlučněné místnosti 54-314 na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Měření probíhalo ve vzdálenosti 1 m a 2 m od zdroje vyzařování akustického signálu. Měření probíhalo v krocích:

1. příprava místnosti pro účely měření (uvolnění prostoru, zakrytí stěn zvukově izolačními závěsy),
2. umístění sirény 1 m od měřicí sestavy v podobě vývojové desky Sseed,
3. záznam hladiny akustického tlaku v místě umístění měřicí sestavy pomocí hlukoměru bez zapnuté sirény,
4. zapnutí sirény,
5. zaznamenání hodnoty hladiny akustického tlaku v místě umístění měřicí sestavy pomocí hlukoměru se zapnutou sirénou,
6. záznam alespoň šesti posloupností akustického signálu okolního zvuku se zapnutou sirénou,
7. vypnutí sirény,
8. posunutí sirény do vzdálenosti 2 m od měřicí sestavy a opakování bodů 3 až 8.

V Tab. 11 jsou vypsány přístroje a jejich základní informace použité pro potřeby měření reálných a referenčních vzorků.

Tab. 11 Seznam měřicích přístrojů použitých v rámci testování zvolené konfigurace digitalizace a zvolené metody vyhodnocení

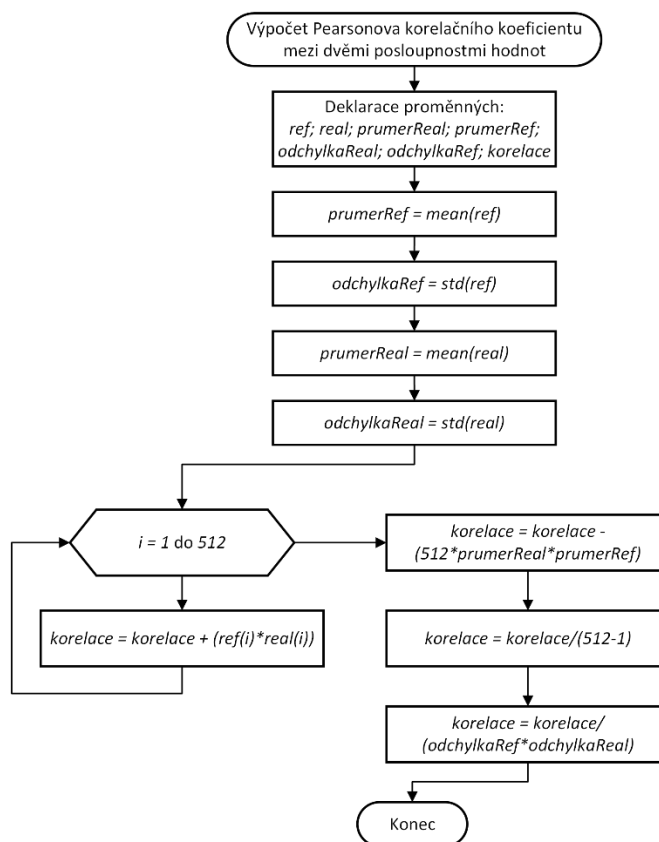
Měřicí zařízení	Typ	Měřicí rozsah	Přesnost
Hlukoměr	PDEME 130 A1	30 až 130 dB(A), 31,5 až 8000 Hz	± 1,5 dB(A)
Mikropočítač s integrovaným PDM mikrofonem	Sseed Studio XIAO nRF52840 Sense	<140 dB	-
Laboratorní zdroj	Mastech HY3003D	-	-
Pásmo	-	15 m	-
Chytrý telefon	Redmi note 8 pro		
Nahrávka hluku	Dostupné z odkazu [56]		

11.4 Návrh programu pro vyhodnocení korelace mezi signály v prostředí

Matlab

Pro účely analyzování naměřených dat byl navrhnout program v prostředí Matlab, který dokáže provést Pearsonovu korelační analýzu mezi dvěma vstupními posloupnostmi hodnot. Program je ve své podstatě napsán v souladu se vzorcem (21) pro Pearsonův korelační koeficient. Struktura programu je popsána prostřednictvím vývojového diagramu na Obr. 39. Na začátku byly deklarovány potřebné proměnné. Během analyzování

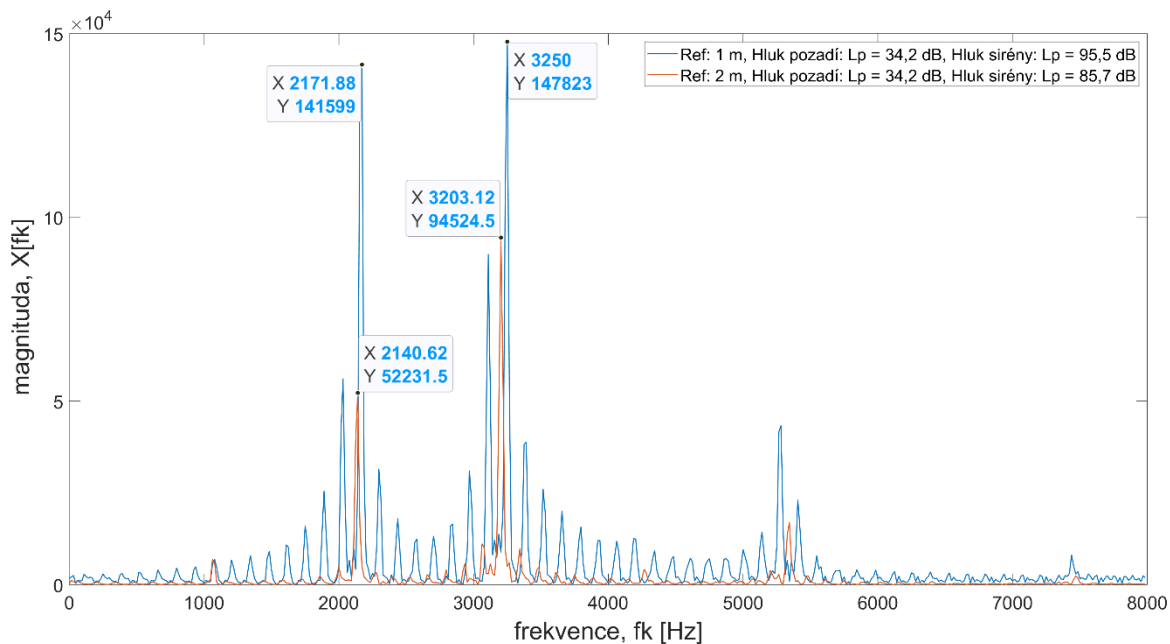
při každém startu korelační analýzy musely být proměnné *ref* a *real* vždy aktualizovány na základě toho, pro které naměřené vzorky byla korelační analýza prováděna.



Obr. 39 Vývojový diagram programu pro Pearsonovu korelační analýzu napsán v prostředí Matlab [vlastní]

11.5 Analýza dat

Analýza dat probíhala v prostředí Matlab. Grafická znázornění výstupů z měření byla koncipována tak, aby z nich bylo možné vyčíst důležité ukazatele spolehlivosti a funkčnosti. Výstupem měření bylo zaprvé grafické znázornění frekvenčních spekter referenčních vzorků akustického signálu sirény měřené v jednom a ve dvou metrech od sirény s vyznačenými charakteristickými frekvencemi (viz. Obr. 40).

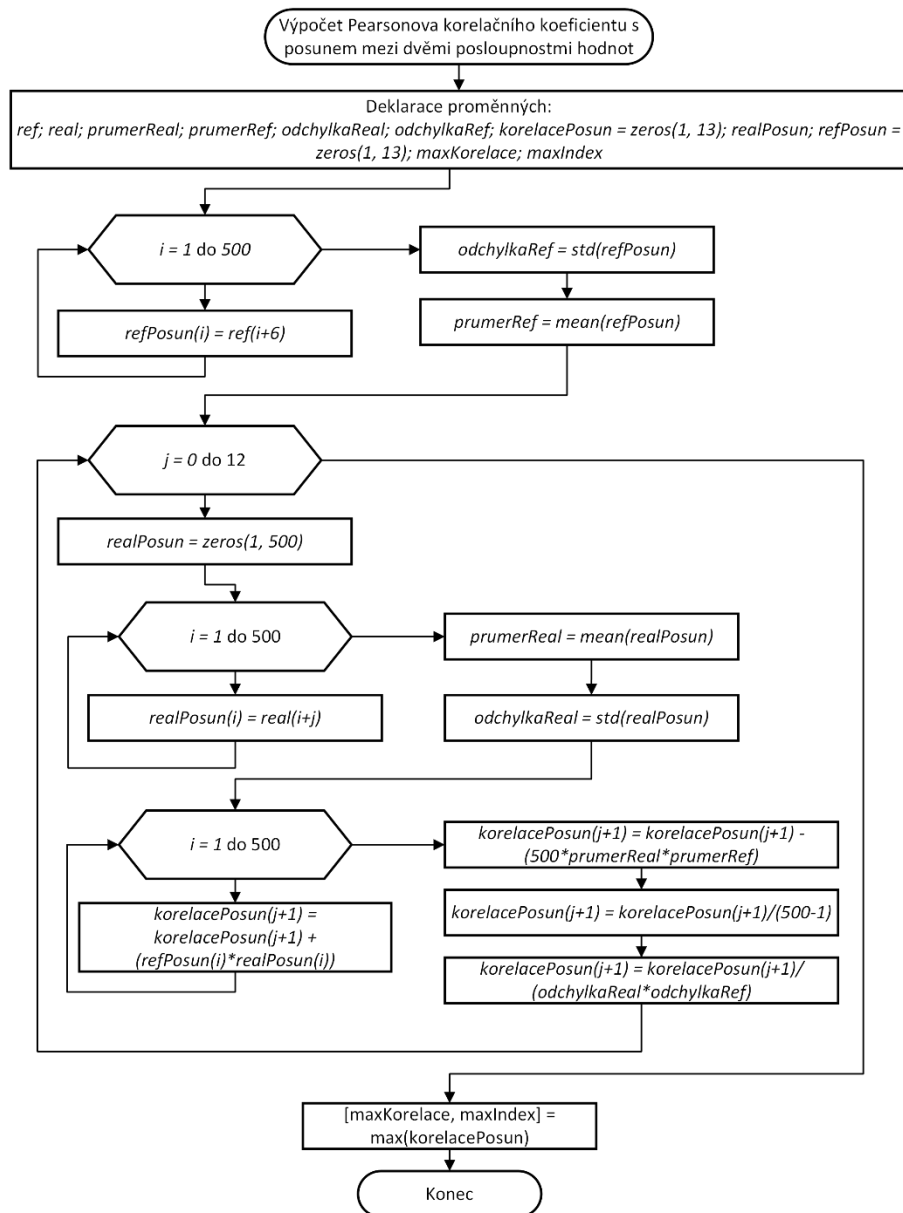


Obr. 40 Graf frekvenčního spektra akustického signálu sirény KLAXON v pracovním režimu L2 měřena vývojovou deskou Seed v bezodrazové místnosti ve vzdálenosti 1 m a 2 m [vlastní]

Dále proběhla Pearsonova korelační analýza, nejdříve mezi jednotlivými frekvenčními doménami referenčních vzorků, kdy byl vybrán jeden referenční vzorek, který byl poměřován s každým ostatním naměřeným referenčním vzorkem. Dále byl vybraný referenční vzorek poměřován s každým naměřeným reálným vzorkem, včetně čistě naměřeného hluku pozadí.

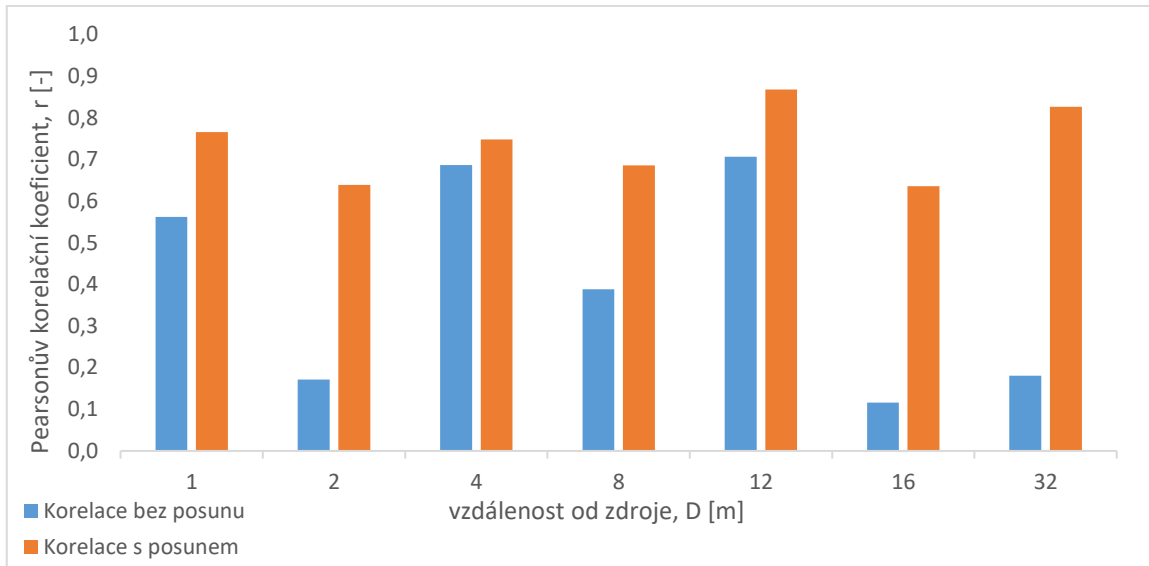
Během zpracování dat bylo zjištěno, že vývojová deska Seed zaznamenává bloky časových posloupností akustického signálu, které se nepatrně liší ve vyhodnocených charakteristických frekvencích, jak lze například vidět v grafu na Obr. 40. I tato nepatrná změna může výrazně ovlivnit výsledek korelační analýzy. Proto byla provedena, mimo klasické korelační analýzy, i korelační analýza s posunem, a to o ± 6 vzorků. V jednotkách Hertz to odpovídá posunu o $\pm 93,75$ Hz. Ze získaných třinácti korelačních koeficientů byla nalezena maximální hodnota korelace. Pro potřeby aplikace korelační analýzy s posunem byl upraven v nástroji Matlab původní program pro korelační analýzu dle vývojového diagramu znázorněný na Obr. 41.

Bylo již zmíněno, že každé měření (například měření ve vzdálenosti 2 m od zdroje za simulace reálného prostředí za zavedeného hluku $L_{p(h)} = 62$ dB) bylo provedeno několikrát. Korelační analýza byla provedena s každým z těchto naměřených vzorků, poté proběhl výpočet aritmetického průměru a směrodatné odchylky pro každé měření. Zpracovaná data korelační analýzy v podobě tabulky lze vidět v příloze P I.

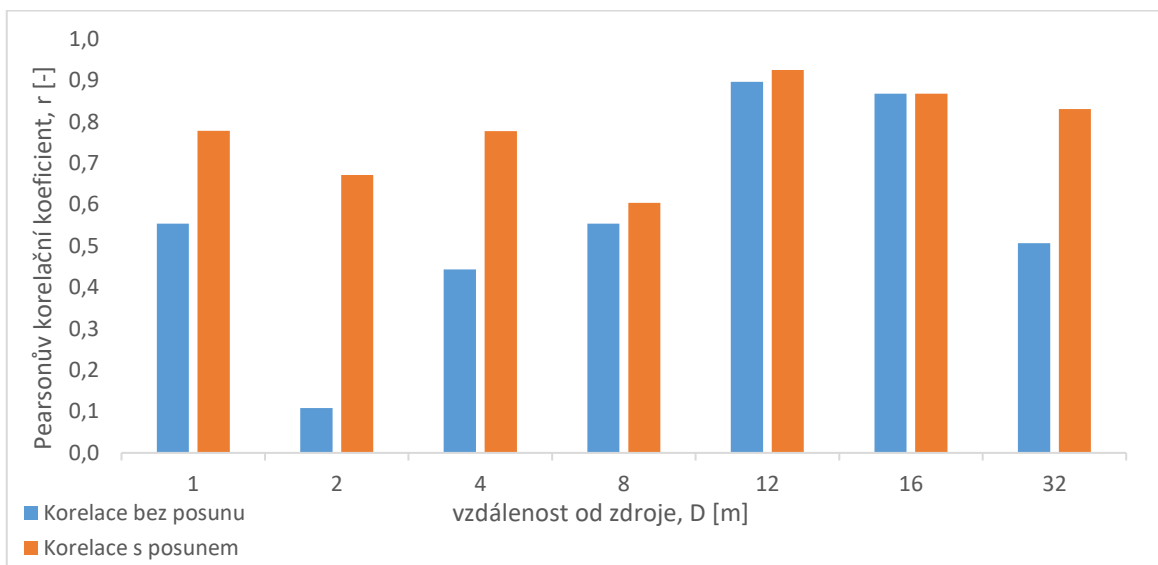


Obr. 41 Vývojový diagram korelační analýzy s posunem napsaný v nástroji Matlab [vlastní]

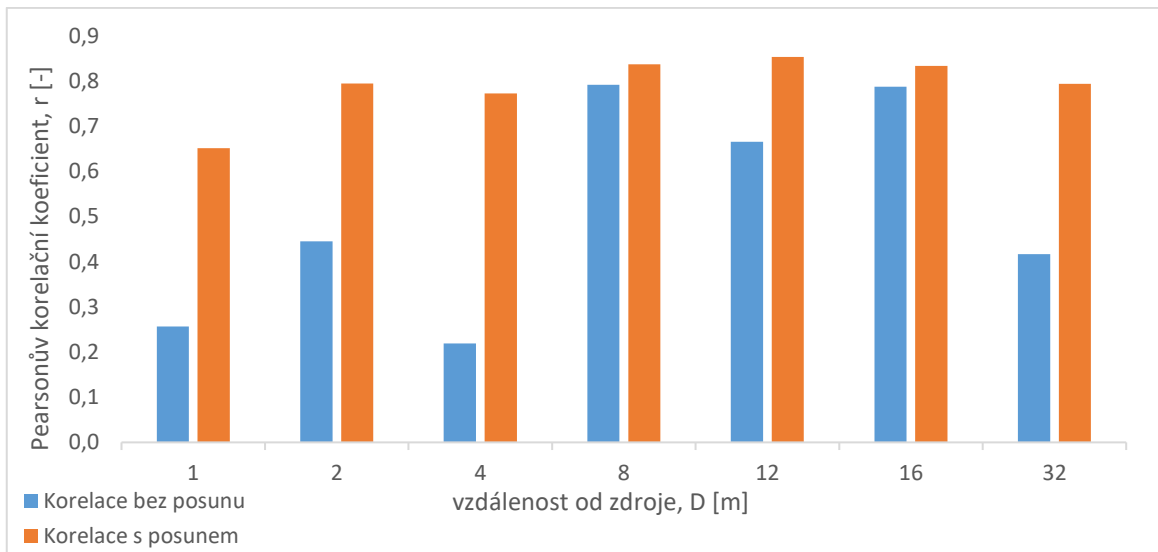
Zpracovaná data jsou níže znázorněna prostřednictvím čtyř sloupcových grafů. Sloupcové grafy jsou rozlišeny dle charakteru zavedeného hluku do pozadí. Na každém grafu lze zpozorovat aplikaci korelační analýzy, kdy v každé vzdálenosti od zdroje je vyjádřena zprůměrovaným korelačním koeficientem bez posunu a s posunem.



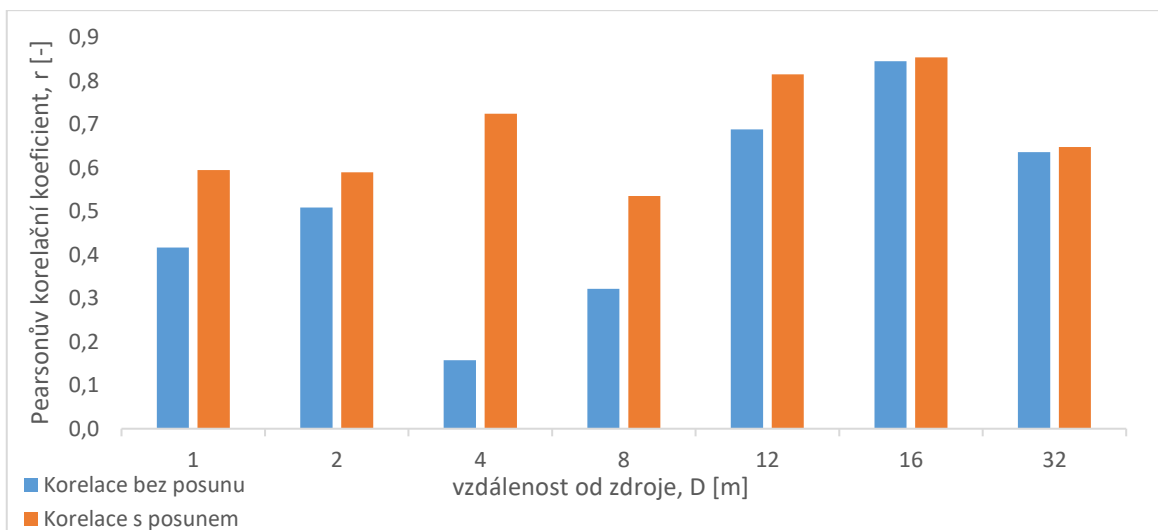
Obr. 42 Korelační analýza vybraného naměřeného referenčního vzorku s naměřenými vzorky sirény KLAXON za simulace reálného prostředí, z různých vzdáleností od zdroje, bez zavedeného šumu, za hluku pozadí $L_{p(h)} = (36,4 \pm 0,8)$ dB



Obr. 43 Korelační analýza vybraného naměřeného referenčního vzorku s naměřenými vzorky sirény KLAXON za simulace reálného prostředí, z různých vzdáleností od zdroje, se zavedeným šumem, za hluku pozadí $L_{p(h)} = (63 \pm 1,1)$ dB



Obr. 44 Korelační analýza vybraného naměřeného referenčního vzorku s naměřenými vzorky sirény KLAXON za simulace reálného prostředí, z různých vzdáleností od zdroje, se zavedeným šumem, za hluku pozadí $L_{p(h)} = (72 \pm 0,2)$ dB



Obr. 45 Korelační analýza vybraného naměřeného referenčního vzorku s naměřenými vzorky sirény KLAXON za simulace reálného prostředí, z různých vzdáleností od zdroje, se zavedeným šumem, za hluku pozadí $L_{p(h)} = (83,3 \pm 0,9)$ dB

11.6 Vyhodnocení měření akustického signálu zkoumané sirény pomocí vývojové desky Seeed Studio XIAO nRF52840 Sense

Bylo provedeno měření referenčních vzorků akustického signálu a vzorků akustického signálu za simulace reálného prostředí sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz v pracovním režimu L2 pomocí vývojové desky Seeed Studio XIAO

nRF52840 Sense za účelem ověření funkčnosti zvolené konfigurace digitalizace a ověření spolehlivosti zvolené vyhodnocovací metody.

Z grafu frekvenčního spektra naměřených referenčních vzorků (viz. *Obr. 40*) a grafu třetinooktávových frekvenčních pásem sirény v pracovním režimu L2 (viz. *Obr. 28*), měřeno dle ČSN EN ISO 3741, lze vyhodnotit, že charakteristické frekvence frekvenčního spektra zaznamenaného signálu vývojovou deskou Seeed odpovídají určeným charakteristickým třetinooktávovým pásmům pro daný zvuk sirény.

Dále byla provedena korelační analýza frekvenčního spektra referenčního vzorku zaznamenaného jeden metr od zdroje vyobrazeného v grafu na *Obr. 40* s ostatními zaznamenanými referenčními vzorky, jež byly součástí výstupu měření referenčního signálu sirény vývojovou deskou Seeed. S ostatními referenčními vzorky zaznamenanými ve vzdálenosti 1 m od zdroje vyšel korelační koeficient $r = (0,8437 \pm 0,1352)$ bez posunu a $r_{\text{pos}} = (0,9264 \pm 0,0494)$ s posunem $o \pm 6$ vzorků. S referenčními vzorky zaznamenanými dva metry od zdroje vyšel korelační koeficient $r = (0,2174 \pm 0,0678)$ bez posunu a $r_{\text{pos}} = (0,7950 \pm 0,0437)$. Z výsledků korelace s referenčními vzorky zaznamenanými ve vzdálenosti 2 m od zdroje je znát, že bez aplikace posunu by došlo k velmi slabé korelaci. Příčinou slabé korelace je úkaz, který je k vidění na *Obr. 40*, kdy mezi vyobrazenými frekvenčními spektry je nepatrný posun zapříčiňující slabší lineární závislost. Z výsledků korelace s referenčními vzorky zaznamenanými 1 m od zdroje byl vyvozen závěr, že použitá konfigurace digitalizace je dostačující pro věrný záznam, kdy mezi vzorky zaznamenané v rámci jednoho měření byla nalezena vysoká korelační shoda. Veškeré další korelační analýzy v rámci celého měření byly provedeny s totožným referenčním vzorkem.

Dále byla provedena korelační analýza mezi frekvenčním spektrem vybraného naměřeného referenčního vzorku s frekvenčními spektry vzorků získanými měřením za simulace reálného prostředí. Reálné prostředí bylo simulováno na dlouhé chodbě s celkem třemi úrovněmi zavedeného hluku, plus byly získány vzorky i bez simulovaného hluku. Výsledky byly shrnuty do čtyř sloupcových grafů (viz. *Obr. 42-Obr. 45*), kdy každý graf se věnuje různé úrovni hluku. Sestrojené sloupcové grafy popisují zprůměrovanou korelaci mezi referenčním vzorkem a reálnými vzorky z různých vzdáleností od zdroje. Ze sestrojených grafů byl vyvozen závěr, že korelace s posunem v mnoha případech výrazně zlepšuje výsledek korelace. Například se zavedeným hlukem $L_{p(h)} = (72,1 \pm 0,2)$ dB ve vzdálenosti 4 m korelační koeficient bez posunu nabýval

hodnoty $r = (0,2190 \pm 0,0915)$, což je výsledek, ze kterého by mohl být vyvozen závěr, že zvuk sirény s vysokou pravděpodobností nebyl zaznamenán. Na rozdíl od korelace s posunem, kdy pro totožné měření nabýval korelační koeficient hodnoty $r_{\text{pos}} = (0,7726 \pm 0,0510)$. Takový výsledek by už koreloval s požadavky na spolehlivost, kdy je cílem zaznamenat akustický signál sirény v reálném prostředí, pokud možno s co nejvyšší korelační shodou. Nejnižší korelace s posunem vyšla v 8 m od zdroje se zavedenou simulací hluku $L_{p(h)} = (83,3 \pm 0,9)$ dB, kdy korelační koeficient nabýval hodnoty $r_{\text{pos}} = (0,5349 \pm 0,1081)$. Nicméně takové hodnoty korelace jsou stále akceptovatelné.

Ze sestrojených sloupcových grafů nelze vyčíst jednoznačný trend, který by říkal, že se zvyšující se hladinou hluku nebo se zvyšující se vzdáleností od zdroje by klesala korelace. Na první pohled lze zpozorovat, že nejvyšší úrovně korelace s posunem dosáhly paradoxně vzorky, které byly naměřeny za úrovně simulovaného hluku $L_{p(h)} = (72,1 \pm 0,2)$ dB a pokud by se srovnaly i jednotlivé vzdálenosti, tak vzdálenost, kde byla průměrně naměřena nejvyšší úroveň korelace, byla 12 m. Tyto výsledky mohli být způsobeny tím, že prostor, kde byla prováděna simulace reálného prostředí, nebyl nijak akusticky upraven, tedy od stěn či objektů v prostoru se akustický signál nepředvídatelně odrazil a docházelo tak ke zkreslení původního akustického signálu sirény. Z toho vyplývá, že v měřeném prostoru vznikala místa, kde signál více koreloval s původním signálem a místa, kde naopak korelace byla nižší. Byl tak vyvozen závěr, že věrnost zaznamenaného signálu je závislá i na fyzikálních vlastnostech prostředí.

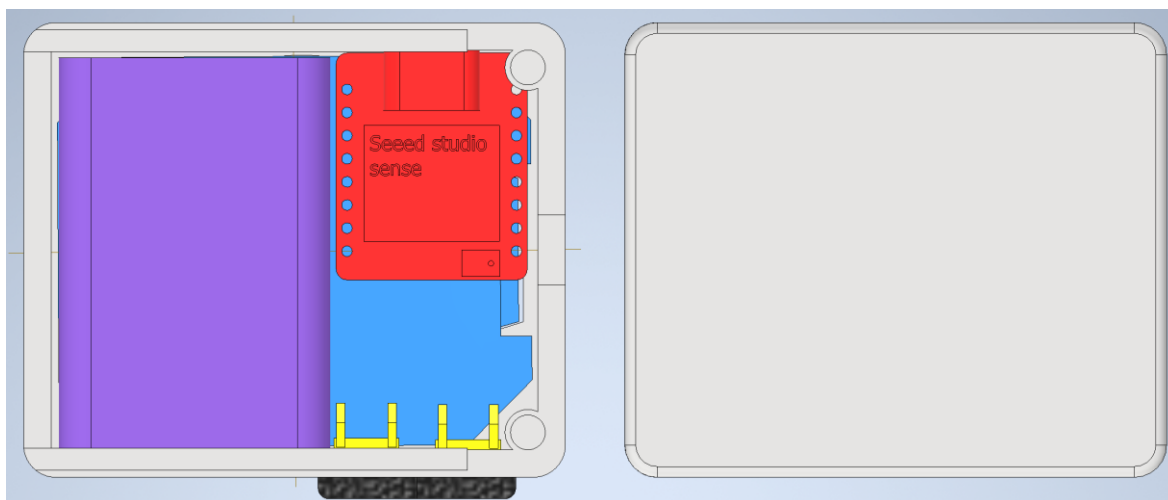
V neposlední řadě byl měřen pouze samotný hluk simulovaného prostředí s cílem vyhodnotit reakci referenčního vzorku na použité simulace hluků. Nejvyšší úrovně korelace dosáhla simulace hluku za úrovně $L_{p(h)} = 72$ dB s korelačním koeficientem $r = (0,0565 \pm 0,0272)$ bez posunu a $r_{\text{pos}} = (0,1223 \pm 0,0345)$. Na zmíněném příkladě lze vidět, že aplikace korelační analýzy s posunem může zvýšit korelační koeficient i v případech, kdy je toto zvýšení nežádoucí. Byl vyvozen závěr, že při aplikaci korelační analýzy s posunem je klíčové dbát na přiměřenost volby posunu a nevolit vyšší posun, než je nezbytně nutné. Veškerá zmíněná data jsou k vidění v tabulce v příloze P I.

Závěrem provedeného měření a analýzy naměřených dat bylo vyhodnoceno, že zvolená konfigurace digitalizace a modifikovaná metoda korelační analýzy je vhodná pro další zpracování a analýzu akustického signálu zkoumané sirény. Při dalším postupu bylo ale nutné brát ohledy na vyvozené závěry.

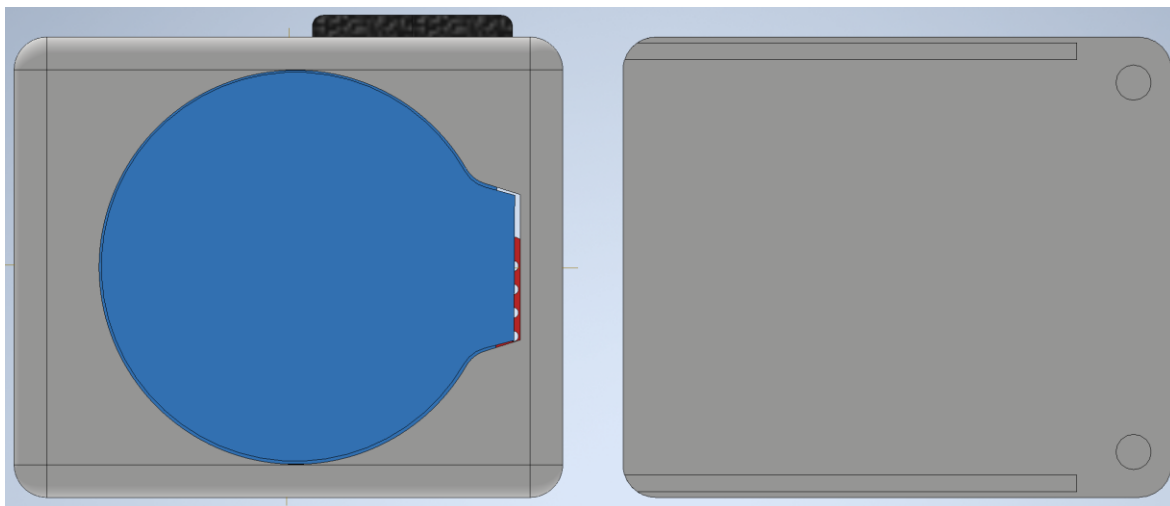
12 NÁVRH HODINKOVÉHO POUZDRA

Byl navržen horní a dolní kryt hodinek. Do horního krytu byla osazena veškerá elektronika. Pouzdro se uzavírá dolním krytem pomocí drážek s fixací pomocí magnetů. Hodinkové pouzdro má výřezy pro dvě tlačítka, displej, USB-C konektor, uchycení řemínku, miniaturní otvory u mikrofonu a otvor pro protáhnutí kabelů vibračních motorků.

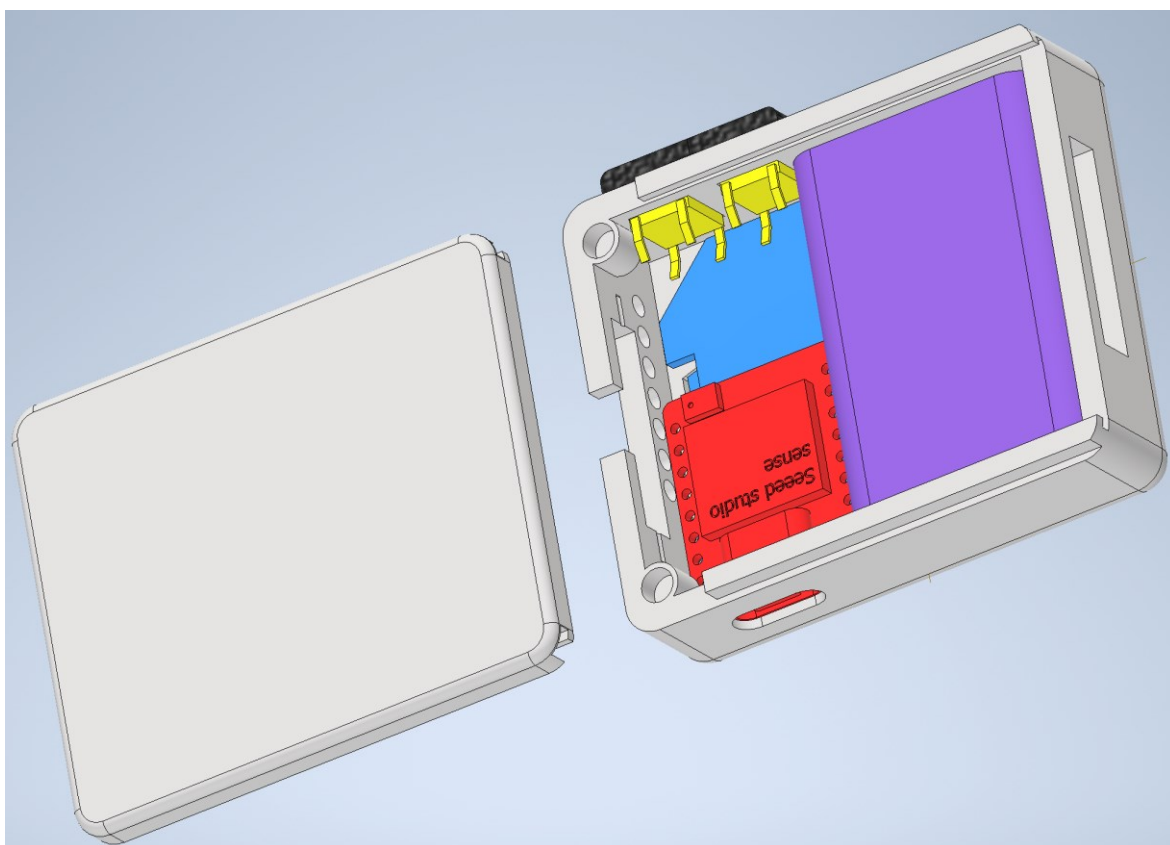
Hodinkové pouzdro bylo navrženo prostřednictvím softwaru Inventor. Nejdříve byly vymodelovány v reálném měřítku jednotlivé součásti hodinek, jako je displej, vývojová deska, tlačítka a baterie. Následně proběhl samotný modeling horního a dolního krytu. Rozměry krytu byly voleny na základě rozměrů jednotlivých komponentů hodinek s vysokým důrazem na kompaktnost výsledného modelu. Důležité bylo zvolit vhodné vůle mezi jednotlivými otvory a součástmi zapadající do nich, zejména vůle u zasunovacích drážek. Mezi hranami dvou různých součástí doléhající na sebe byla zvolena vůle cirká 0,2 mm. Na *Obr. 46-Obr. 48* jsou vyobrazeny různé pohledy na vymodelovanou sestavu hodinek. V rámci bakalářské práce byly zpracovány výkresy horního a dolního krytu hodinek popisující přesné rozměry, které byly pro modeling voleny. Výkresy jsou k nalezení v elektronické příloze P V a P VI.



Obr. 46 Vymodelovaná sestava hodinek – pohled zdola [vlastní]



Obr. 47 Vymodelovaná sestava hodinek – pohled shora [vlastní]



Obr. 48 Vymodelovaná sestava hodinek – pohled zešikma [vlastní]

13 REALIZACE HODINKOVÉHO POUZDRA

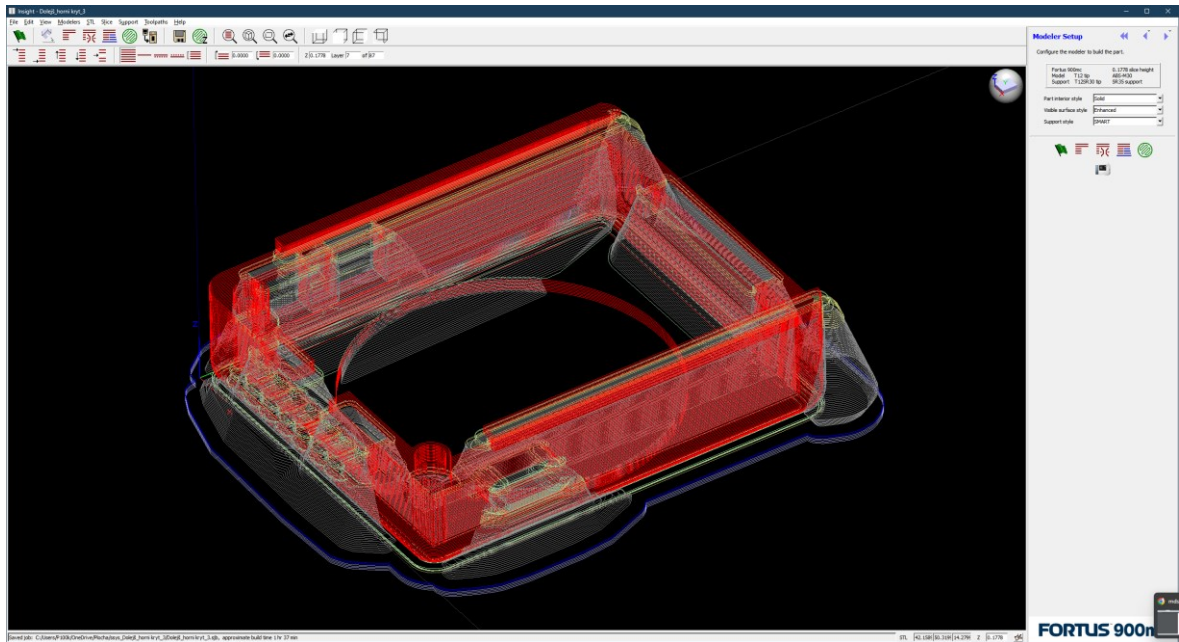
Navržené hodinkové pouzdro bylo vytištěno na stroji Stratasys – Fortus 900mc (3D tiskárna). Předmětem výtisku byl horní a dolní kryt hodinkového pouzdra. V *Tab. 12* jsou shrnuty parametry výtisku.

Tab. 12 Parametry realizovaného 3D tisku hodinkového pouzdra

Materiál	ABS-M30
Podporový materiál	SR35 – chemicky vyplavitelný
Čas tisku obou dílů	1:56 hod
Materiál stavební	18,31 cm ³
Materiál podporový	10,37 cm ³
Cena za cm³	6,5 Kč
Odhadovaná cena za oba díly	180 Kč bez DPH (není započten strojní čas tiskárny)

13.1 Postup před tiskem

Po návrhu 3D modelu pouzdra hodinek následoval export z formátu .dwg do formátu .stl, který je podporován softwarem Insight. Software Insight je nástroj od společnosti Stratasys pro přípravu 3D modelů na tisk. Prostřednictvím tohoto nástroje se nejdříve provedl tzv. slicing, což je proces rozdělení digitálního 3D objektu na tenké vrstvy (neboli řezy), které budou od dolní vrstvy po horní postupně vytisknuty. Jemnost vrstvení tiskárny Fortus 900mc je 0,1778 mm. Dále se automaticky vygenerovaly podpůrné struktury, obvodové křivky a strojní dráhy. Podpůrné struktury bylo možné nastavit i manuálně, nicméně výtisk navrženého pouzdra nebyl tak náročný, aby jej bylo třeba manuálně upravovat. Na *Obr. 49* lze vidět vygenerované vrstvy a podpůrné struktury.



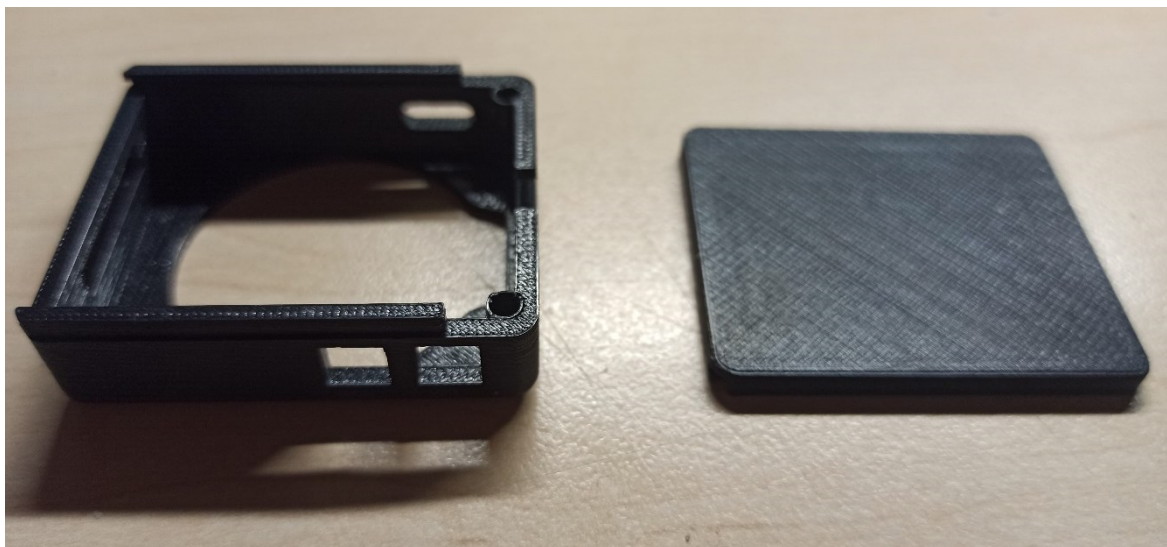
Obr. 49 Pohled na horní kryt připravený k 3D tisku [vlastní]

13.2 Nezbytný postprocessing

Po vytisknutí byly z hodinkového pouzdra mechanicky odstraněny podpůrné struktury, které hrubou silou odstranit šly. Následovalo odstranění zbytku podpůrného materiálu v chemické lázni o teplotě 60 °C. Jednalo se o NaOH 15% roztok. Chemická reakce byla podpořena ultrazvukovými vlnami. Doba odstranění podpůrných struktur trvala cca 90 minut. Na Obr. 50 lze vidět dolní kryt těsně po vytištění ještě s podpůrnými strukturami a na Obr. 51 je vyfotografován horní a dolní kryt už po procesu odstranění podpůrných struktur.



Obr. 50 Vytištěný dolní kryt s podpůrnými strukturami [vlastní]



Obr. 51 Vytištěný kryt s odstraněnou podpůrnou strukturou [vlastní]

13.3 Povrchová úprava

Následovala povrchová úprava. Na povrch hodinkového pouzdra bylo aplikováno pískování za účelem zahlazení povrchu a dosažení lepší přilnavosti dalších užitých prostředků pro úpravu povrchu. Pískování bylo provedeno v pískovacím boxu Unicraft SSK3. Do nádoby pískovacího boxu se vložila opracovávaná část hodinkového pouzdra a zajistila se dvířky s pojistkou. Následně se skrze pracovní otvory do bezpečnostních rukavic vložili ruce, uchopila se pískovací pistole s opracovávaným hodinkovým pouzdem a pomocí nášlapného spínače se aktivoval přísun vysoce koncertovaného proudu vzduchu s pískovacím abrazivem. Pískovací abrazivo bylo aplikováno na celý povrch hodinkového pouzdra ze vzdálenosti cca 12 cm za doprovodu prudkých pohybů kolmo na osu vypouštění vzduchu s abrazivem. Proces pískování trval cca 10 minut na jeden díl hodinek. Následně byly hrany pouzdra ještě manuálně zbruseny brusným papírem. V *Tab. 13* jsou uvedeny technické specifikace popisující aplikovaný proces pískování. Na *Obr. 52* je fotografie použitého pískovacího boxu.

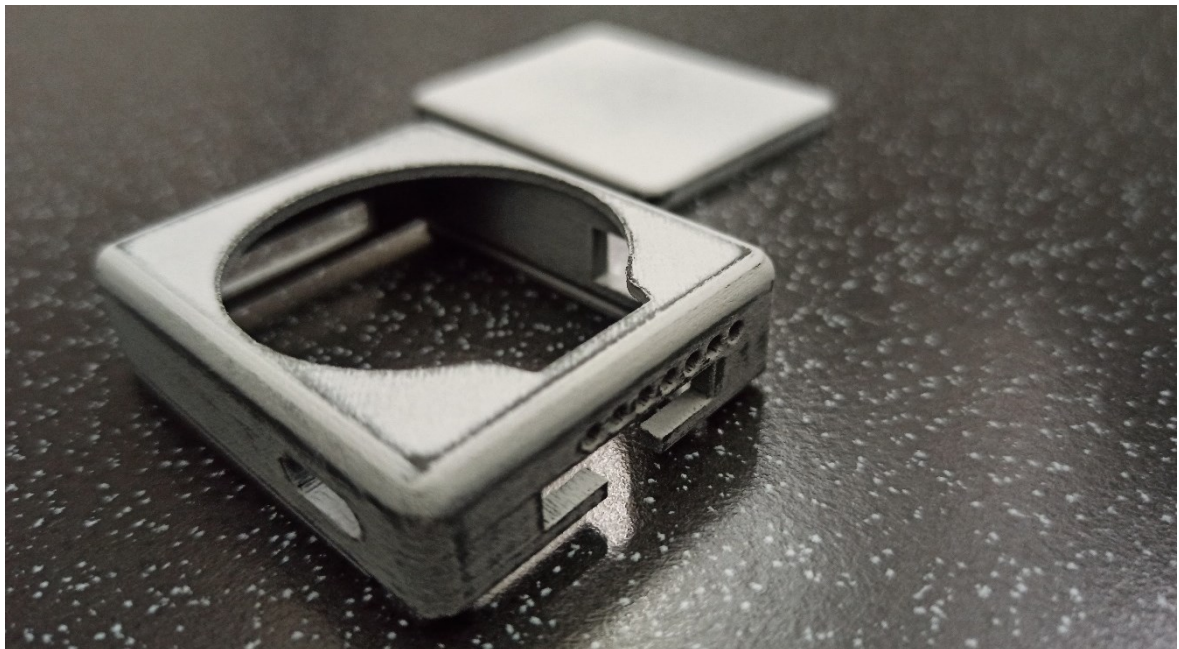
Tab. 13 Technické parametry procesu pískování [57]

Zařízení	Pískovací box Unicraft SSK3
Pracovní tlak	3,4–8,0 bar
Objem nádoby	340 l
Spotřeba vzduchu	400–800 l/min
Plnivo	Pískovací abrazivo Maxi-Blast MC2
Frakce abraziva	0,55-0,85 mm



Obr. 52 Pískovací box Unicraft SSK3 [57]

Následně byl na povrch aplikován tmel ve spreji Dupli-Color Car's za účelem zlepšení přilnavosti mezi povrchem a finální vrstvou. Byly aplikovány celkem dvě vrstvy. Každá vrstva schla cca 2 hodiny a po každé vrstvě byl povrch ještě upraven zbrúšením pomocí jemného brusného papíru pod vodou. Na *Obr. 53* lze vidět horní a dolní kryt po aplikaci tmelu ve spreji.



Obr. 53 Dolní a horní kryt povrchově upraven tmelem ve spreji [vlastní]

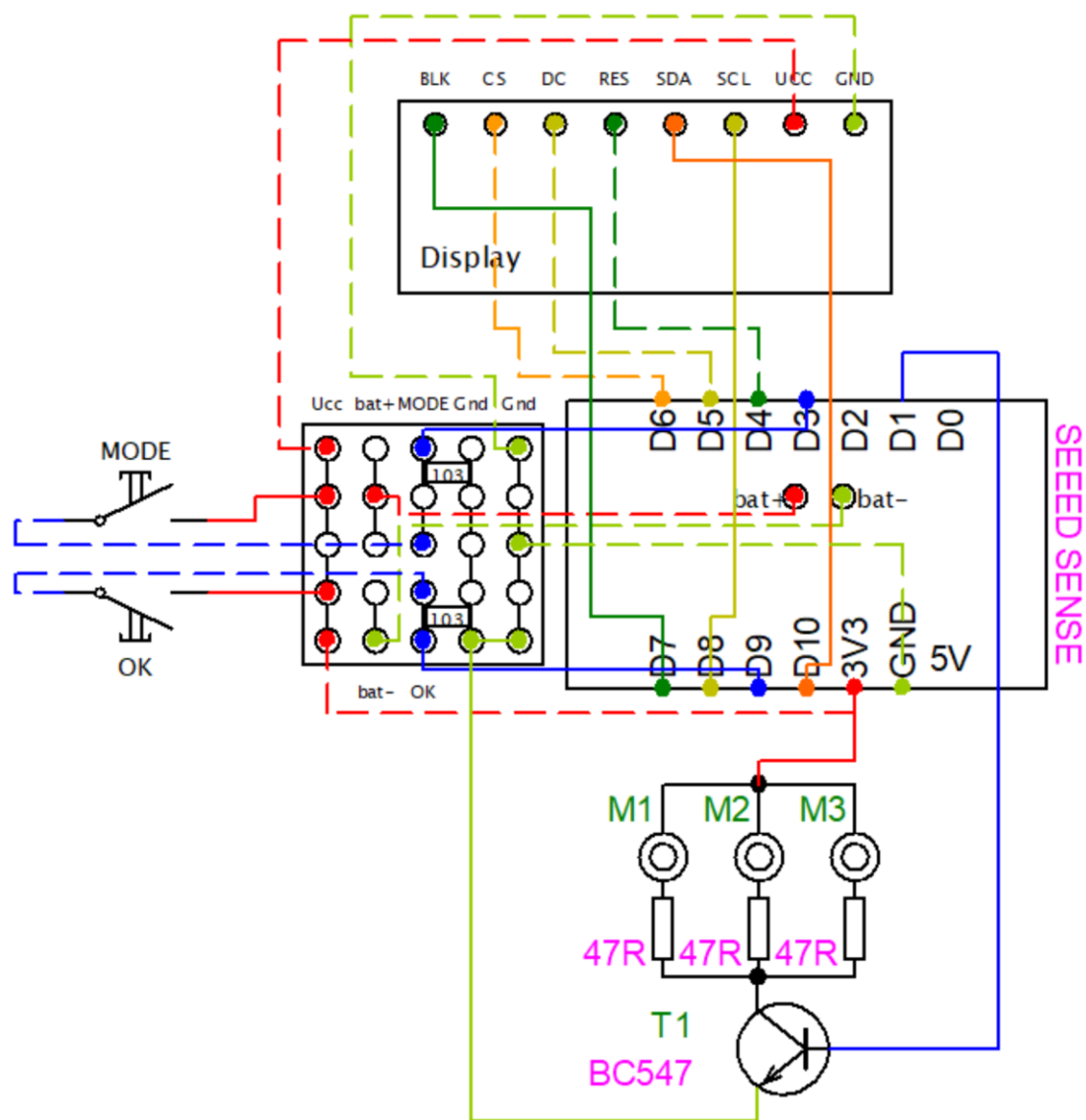
Konečná vrstva byla vytvořena tekutou gumou ve spreji MasRUBBERcomp černé barvy. Na povrch byly aplikovány celkem 3 vrstvy. Každá vrstva schla cca 3 hodiny. Na *Obr. 54* lze vidět horní a dolní kryt po pogumování.



Obr. 54 Horní a dolní kryt po finální povrchové úpravě [vlastní]

14 PROPOJENÍ HARDWAROVÝCH PRVKŮ

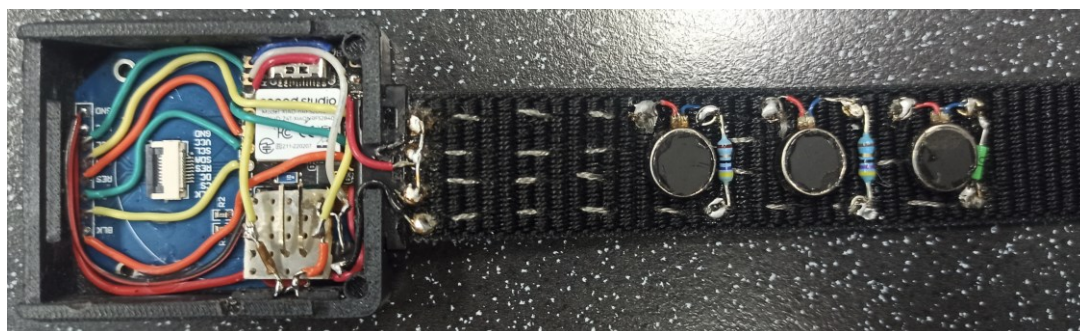
Níže na *Obr. 55* je znázorněno propojení hardwarových prvků. Jednotlivé spoje byly označeny tak, jak jsou reálně v hodinkách vedeny. Čárkovaně značené spoje byly vedeny zespoda vývojové desky a spoje značené plnou čarou byly vedeny shora. Pro možnost propojení bylo použito pájivé pole o rozměrech 5x5 z vodivě propojenými piny ve vertikálním směru. Na pájivém poli byly použity SMD odpory z důvodu kompaktních rozměrů.



Obr. 55 Schéma propojení jednotlivých prvků hardwaru [vlastní]

Motory byly přilepeny na spodní straně řemínku a ukryty pod našitým vatovým polštářkem. Propojení motorů se zbytkem hardwaru bylo realizováno prostřednictvím vodivého dvouvrstvého vlákna 0,20 mm od výrobce Adafruit. Toto řešení bylo zvoleno

z důvodu, že klasické drátové propojení by časem mohlo být díky intenzivnímu mechanickému namáhání rychle poškozeno. Zároveň by pevné vodiče vykazovaly omezenou schopnost přizpůsobování se ohybům řemínku. Bylo vyhodnoceno, že vodivá nit by mohlo být efektivní a elegantní řešení. Nevýhodou je relativně vysoký odpor, kdy vnitřní odpor konkrétního vodivého vlákna o tloušťce 0,2 mm dosahuje 1 Ω na palec. Zároveň bylo důležité respektovat maximální proud, který činí 50 mA u konkrétní nitě. Z tohoto důvodu byl každý z motorů zapojen v sérii s odporem o velikosti 47 Ω . Proud byl tak omezen na cca 40 mA. Na *Obr. 56* a *Obr. 57* lze vidět pohled na propojený hardware.



Obr. 56 Pohled na propojený hardware [vlastní]



Obr. 57 pohled na propojené vibrační motůrky [vlastní]

Motory měly být původně propojeny na samostatné digitální vstupy s možností být programovatelné jednotlivě z důvodu generování více variabilních vibračních vzorců. Původně zde nebyl zamýšlen spínací tranzistor a motůrky měly být napájeny ze samostatných digitálních vstupů. Nicméně po realizaci nebylo toto řešení funkční z důvodu zatížení digitálních vstupů, které zvládnou maximálně 20 mA. Uvažované zapojení motoru v sérii s odporem o velikosti 47 Ω potřebuje odebrat pod napětím 3 V proud 40 mA. Dalším uvažovaným zapojením bylo, že jednotlivé motory budou spínány tranzistory, nicméně po realizaci nebylo již možné implementovat 3 tranzistory, jelikož na to nezbyl dostatek místa v samotném krytu. Jediným řešením bylo veškeré motory spínat pod jedním tranzistorem, na který se místo uvnitř hodinek ještě našlo.

15 NÁVRH FINÁLNÍHO PROGRAMU

Program byl navrhován v několika nezávislých liniích, kdy konečným výstupem bylo spojení navržených podprogramů do jednoho celku. Na základě již provedeného návrhu vyhodnocovací části byl vytvořen program pro záznam a vyhodnocení akustického signálu. Dále byl vytvořen program pro signalizaci prostřednictvím motorů. V neposlední řadě byl navržen program pro zobrazení aktuálního času na displeji. Finální program byl popsán formou vývojového diagramu znázorněného v příloze P II. Vývojový diagram v příloze P II je složen z několika podprogramů, které jsou popsány v příloze P III.

15.1 Podprogram pro záznam a vyhodnocení akustického signálu

Podprogram pro záznam a vyhodnocení akustického signálu byl vytvořen na základě návrhu vyhodnocovací části, o kterém bylo již pojednáno v kapitole 11. V rámci návrhu vyhodnocovací části byl vytvořen:

- a) program pro záznam akustického signálu a převod do frekvenční domény v Arduino IDE,
- b) program pro Pearsonovu korelační analýzu s posunem v nástroji Matlab.

Program pro Pearsonovu korelační analýzu s posunem byl přepsán do jazyka wiring, využíváný prostředím Arduino IDE, a implementován do programu zmíněný v bodě a). Výsledkem byl program pro záznam a vyhodnocení akustického signálu.

Pro výpočet Pearsonova korelačního koeficientu byl do finálního programu aplikován vzorec ve tvaru

$$r = \frac{\sum_{k=1}^n (vreal_k - \overline{vreal})(vref_k - \overline{vref})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (vreal_k - \overline{vreal})^2 \sum_{k=1}^n (vref_k - \overline{vref})^2}}. [55] \quad (22)$$

Jedná se u původní vzorec (21), pouze se použila taková modifikace, která byla vhodnější pro implementaci. Výpočet posuvu byl pouze oproti původnímu programu zjednodušen, a to tak, že aritmetický průměr vektoru frekvenční domény reálného signálu není počítán zvlášť pro každý posuv, nýbrž pouze pro celou posloupnost vektoru. Stejně tak suma pro vektor frekvenční domény ve jmenovateli. Ve výsledném Pearsonově korelačním koeficientu se tak objeví nepatrná nepřesnost, kterou lze zanedbat. Tato metoda výpočtu korelačního koeficientu byla zvolena z důvodu úspory výpočetního času. Referenční

vzorek frekvenční domény použitý ve finálním programu je shodný s referenčním vzorkem, který byl použit v rámci testování spolehlivosti zvolené metody vyhodnocování.

Vyhodnocený korelační koeficient se v reálném čase vypisuje na displej. Pro vyhodnocení poplachu byla nastavena prahová hodnota korelačního koeficientu na $r = 0,55$, kdy po překročení této hodnoty se vypíše na displej poplachová hláška a zařízení se přepne do podprogramu poplachového stavu. Prahová hodnota byla zvolena na základě provedeného měření dle kapitoly 11, kdy ve všech případech byla hodnota 0,55 překročena. Výslednou implementaci programu pro záznam a vyhodnocení signálu lze vidět v příloze P III, kde proces vyhodnocení je popsán v podprogramu s názvem „Korelační analýza“.

15.2 Podprogram poplachového stavu

Pro potřeby signalizace poplachového stavu byl vytvořen podprogram, který je aktivován v moment, kdy vyhodnocený korelační koeficient překročí nastavenou prahovou hodnotu. Podprogram aktivuje motůrky na řemínku hodinek, které byly naprogramovány tak, aby generovaly vibrační vzorec. Podprogram poplachového stavu byl navržen s požadavkem na to, aby nebylo zapotřebí využívat funkce `delay()`, která zamrazí celý program na zvolený časový interval. Bylo žádoucí, aby program vykonával ostatní naprogramované procesy bez jakéhokoli většího zpoždění i v poplachovém stavu. Jedná se například o podprogram hodin. Proto byl podprogram poplachového stavu naprogramován pomocí přepínače.

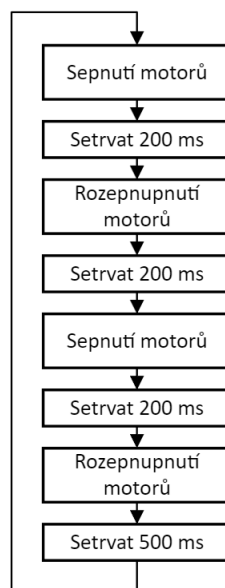
Bylo navrženo, že motůrky budou vibrovat vibrační sekvencí dle *Obr. 58*. Celá sekvence vibračního vzorce se skládá celkem z osmi po sobě jdoucích procesů. Z těchto procesů byly vytipovány pouze neredundantní procesy, tedy:

1. sepnutí motoru,
2. setrvat 200 ms,
3. rozepnutí motoru,
4. setrvat 500 ms.

Každý z těchto neredundantních procesů představoval v programu jeden podprogram přepínače. Poté bylo přiděleno unikátní číslo od 0 do 7 každému dílčímu procesu vibrační sekvence a ty byly pak přiřazeny k odpovídajícímu podprogramu přepínače. Na základě

unikátního čísla tak program dokáže podmíněnou funkcí rozpoznat, na který přepínač se má následně přepnout.

U podprogramů přepínače, ve kterém stav motorů setrvává, je hlídán čas setrvání na základě časové značky. U podprogramů pro sepnutí/rozepnutí motorů se vytvoří časová značka a po přepnutí do podprogramu setrvání se sleduje rozdíl aktuálního systémového času s vytvořenou časovou značkou. Pokud je rozdíl vyšší než nastavený čas setrvání pro daný podprogram, dojde k přepnutí na následující podprogram v sekvenci vibračního vzorce.



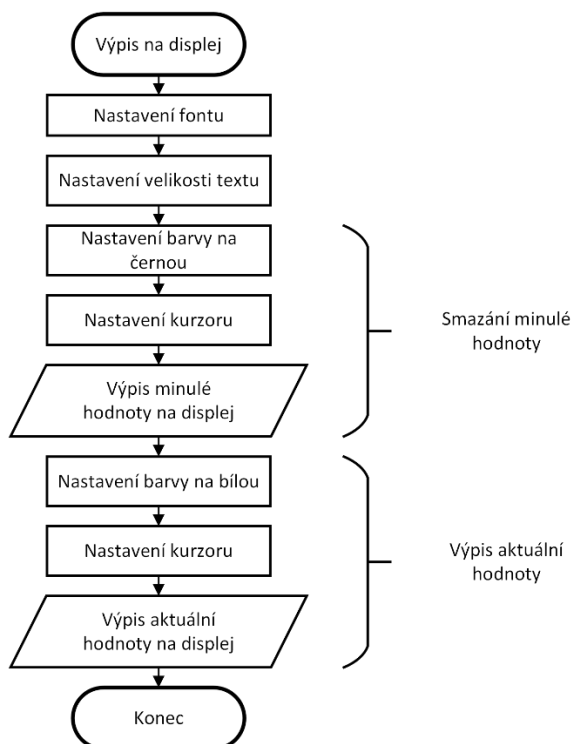
Obr. 58 Navržená sekvence vibračního vzorce [vlastní]

Detailní činnost zařízení v poplachovém stavu popisují vývojové diagramy podprogramů „Poplach1“, „Poplach_ceká1“, „Poplach2“ a „Poplach_ceká2“, které jsou k dispozici v příloze P III.

15.3 Podprogramy pro výpis na displej

Bylo naprogramováno, aby se na displej vypisovaly hodiny, aktuální hodnota vyhodnoceného korelačního koeficientu a poplachová hláška v případě vyhodnocení poplachového stavu. Konfigurace a programování displeje bylo realizováno prostřednictvím knihoven *Adafruit_GFX.h* a *Adafruit_GC9A01A.h*. Veškeré výpisy na displej byly naprogramovány dle vývojového diagramu na Obr. 59. U podprogramů, jako je výpis aktuálního času či výpis korelačního koeficientu, musela být nejdříve smazána minulá vypsána hodnota. To bylo realizováno tím, že byla ještě jednou vypsána

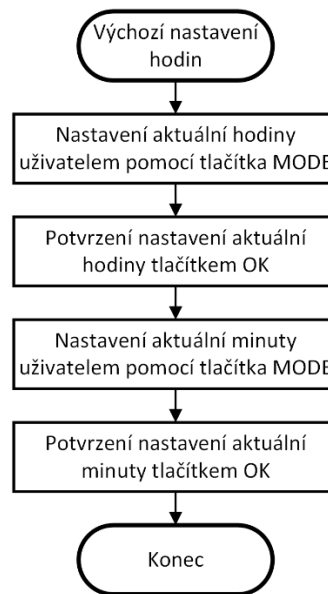
minulá hodnota s totožnými konfiguracemi výpisu s rozdílem, že barva se nastavila na černou. Poté bylo možné vypsát aktuální hodnotu.



Obr. 59 Vývojový diagram pro výpis na displej [vlastní]

15.4 Podprogram pro výchozí nastavení hodin

Podprogram pro výchozí nastavení hodin slouží pro nastavení hodin uživatelem po spuštění hodinek. Tento podprogram byl napsán ve funkci *void setup()*. Podprogram byl složen z procesu nastavení hodin a nastavení minut. Každý z těchto procesů je uzavřen v cyklu *while()*. Pokud uživatel nenastaví hodiny a minuty, program se nedostane do cyklické funkce *void loop()* a nezapočne analýza a vyhodnocování snímaného zvuku. Obecně je činnost výchozího nastavení hodin popsána vývojovým diagramem na Obr. 60. Detailní popis je popsán vývojovým diagramem podprogramu „Výchozí nastavení hodin“ v příloze P III.



Obr. 60 Vývojový diagram obecné funkčnosti programu výchozího nastavení hodin [vlastní]

15.5 Podprogram pro aktualizaci času

Podprogram aktualizace času aktualizuje na displeji výpis hodin, minut a sekund. Do podprogramu aktualizace času se program přepne v moment, co dojde ke změně nejmenší vypisované jednotky, tedy sekund. Výpočet aktuálního času probíhá pomocí vzorečku

$$\text{aktualniCas} = 1000 \cdot 60 \cdot \text{vychoziMinuta} + 1000 \cdot 60 \cdot 60 \cdot \text{vychoziHodina} + \text{millis()} - \text{startCas}.$$

Výchozí minuta a výchozí hodina jsou proměnné nastavované uživatelem během procesu výchozího nastavení hodin. Tyto hodnoty se ve výpočtu převádí na milisekundy. Proměnná *millis()* je funkce vracející čas v milisekundách od startu běhu programu (systémový čas). Proměnná *startCas* je konstantní hodnota a je zde uložena hodnota systémového času, který byl v moment, kdy skončil proces výchozího nastavení hodin. Podprogram „Aktualizace času“ je detailně popsán vývojovým diagramem v příloze P III.

15.6 Implementace do jednoho programu

Bylo potřeba veškeré popsané podprogramy integrovat do jednoho celistvého programu, který je popsán vývojovým diagramem v příloze P II. Seskupení podprogramů korelační analýzy, aktualizace času a podprogramu poplachového stavu bylo provedeno pomocí přepínače.

Finální program lze popsat tím způsobem, že pracuje ve dvou režimech:

1. klidový stav. V případě, že poplach nevyhodnotil poplachový stav, přepínač neustále přepíná mezi podprogramy „aktualizace času“ a „korelační analýza“. Na začátku cyklu *void loop()* je vypočítán aktuální čas. Pokud je potřeba aktualizovat čas, aktivuje se podprogram „aktualizace času“. Tento podprogram se aktivuje jednou za sekundu. V jiném případě je přepínač přepnut do podprogramu „korelační analýza“,
2. poplachový stav. V případě, že vyhodnocený korelační koeficient dosáhl nastavené prahové hodnoty, přepínač přepíná mezi podprogramem „aktualizace času“ a podprogramy „poplach1“, „poplacho_cekal“, „poplach2“ a „poplach_cekal2“. Podprogram „aktualizace času“ je aktivován jednou za sekundu, obdobně jako v klidovém režimu. Podprogramy řídící sekvenci vibračního vzorce jsou aktivovány na základě toho, jakou fázi sekvence je potřeba v daný moment vykonat.

V podprogramu „aktualizace času“ bylo nutné dodefinovat aktualizaci přepínání mezi procesy. Pokud je zařízení v klidovém stavu, po ukončení aktualizace času je přepínač nastaven na podprogram „korelační analýza“. Pokud je zařízení v poplachovém stavu, přepínač se musí po aktualizaci času přepnout do správné fáze vibrační sekvence. Ta je určována na základě očíslovaných procesů vibrační sekvence. Podprogram „aktualizace přepínače mezi procesy“ je popsán vývojovým diagramem v příloze P III.

Celý program napsaný v nástroji Arduino IDE je k nalezení v elektronické příloze P VII.

16 CHARAKTERISTIKA REALIZOVANÉHO PROTOTYPU

Na *Obr. 61-Obr. 63* lze vidět realizovaný funkční prototyp signalizačního zařízení. Realizované zařízení disponuje zejména funkcí upozornit uživatele na zvuk požární sirény. O upozornění se stará trojice vibračních motorů, které generují naprogramovaný vibrační vzorec. Uživatel je upozorněn i výpisem poplachové hlášky na displeji. Dále realizované zařízení vypisuje na displeji čas na základě uživatelem definovaného výchozího času. V neposlední řadě je vypisován na displeji aktuálně vyhodnocený korelační koeficient.



Obr. 61 Prototyp signalizačního zařízení – pohled zezadu [vlastní]



Obr. 62 Prototyp signalizačního zařízení – pohled zepředu [vlastní]



Obr. 63 Prototyp signalizačního zařízení – pohled z boku [vlastní]

16.1 Cenová rozvaha

Níže v Tab. 14 je zpracována cenová rozvaha nákladů za realizované hodinky. Jsou zde uvedeny ceny s DPH mimo položku horního a dolního krytu, kde byla pouze odhadnuta cena za materiál bez DPH. Ostatní položky odpovídají reálně vynaloženým nákladům za dané komponenty.

Tab. 14 Cenová rozvaha realizovaných hodinek

Položka	Typ	Cena za ks [kč]	Počet [ks]	Celkem [kč]
Vývojová deska	Seeed XIAO BLE nRF52840 Sense	435	1	435
Displej	1.28" 240x240 TFT IPS kulatý barevný displej	328	1	328
Baterie	Pi Supply 600mAh Li-ion	299	1	299
Mikrospínač	1-pólový OFF-(ON) 0.05A 12V DC Nynigi TACT-64K-F	2	2	4
Vibrační minimotor	1027 3V	19	3	57
NPN tranzistor	BC647B	10,42	1	10,42
Řemínek	RhinoTech Quick Release 20mm, černá	347	1	347
Horní a dolní kryt	-	180	1	180
Celkem				1660,42

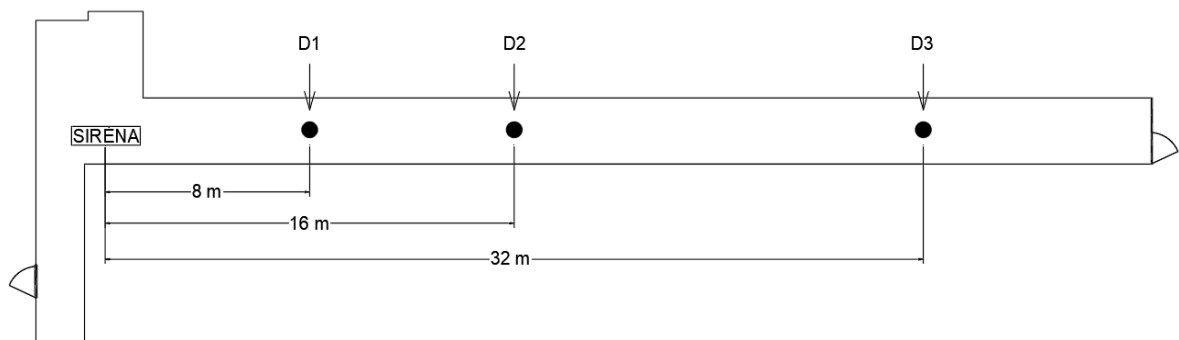
17 MĚŘENÍ SPOLEHLIVOSTI REALIZOVANÉHO ZAŘÍZENÍ

V rámci ověření spolehlivosti realizovaného zařízení bylo provedeno měření, jehož podstatou bylo vyhodnotit, zda realizované zařízení dokáže upozornit na zvuk požární sirény stejně efektivně, jako konkurenční systémy. Byla zkoumána rychlost reakce realizovaného a konkurenčního zařízení na zvuk požární sirény. Pro porovnání byla vybrána, jako konkurenční systém, mobilní aplikace Okamžitý přepis od společnosti Google.

17.1 Postup měření

Měření probíhalo na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, na chodbě ve třetím patře, v prostorách poblíž učeben označené číslem 54. Měřilo se z různých vzdáleností od zdroje v místech D1, D2 a D3 dle

Obr. 64. V místech vyznačených bodů se umístila IR závora, jejíž narušení aktivovalo sirénu a spustilo časomíru. V moment, kdy osoba zaznamenala vibrace, zastavila časomíru. Pokud jakékoli testované zařízení nereagovalo v daný moment na sirénu delší dobu, jak 20 sekund, měření bylo přerušeno a bylo zaznamenáno, že zařízení zůstalo bez odezvy.

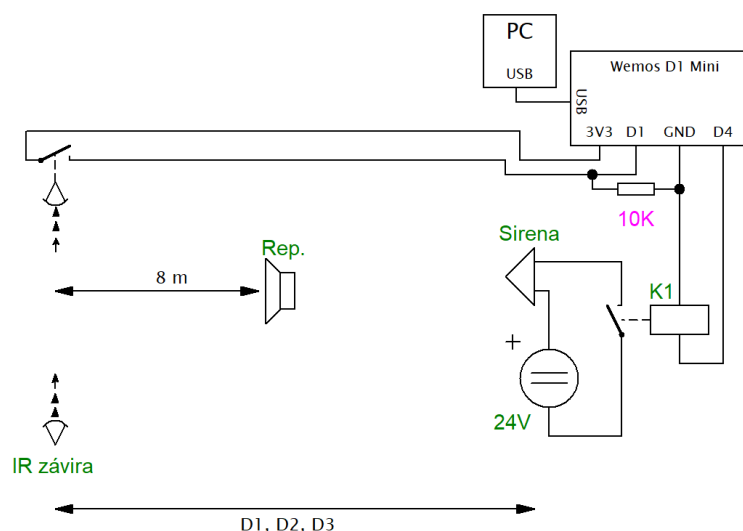


Obr. 64 Půdorys chodby použité pro měření a rozvržení měřicího prostoru [vlastní]

Pro každou vzdálenost se měřila doba reakce i za simulovaných podmínek, kdy do pozadí byl zaveden pomocí reproduktoru simulovaný hluk o přibližné hodnotě akustického tlaku 62 dB, 72 dB a 82 dB. Reprodukční byl ve vzdálenosti 8 m od IR závory. Hodnota hluku byla nastavována pomocí hlukoměru. Pro směrodatný výsledek každé měření probíhalo celkem dvanáctkrát.

Pro účely měření byla použita vývojová deska Wemos D1 mini s integrovaným wifi modulem, která řídila celý chod zaznamenávání hodnot a pro účel měření byla dle potřeb naprogramována. Na digitální vstup byl přiveden reléový výstup z IR závory, jejíž sepnutí vyvolalo aktivační událost, při níž si vývojová deska uložila čas sepnutí IR závory

a sepnula připojené relé ovládající sirénu. Jakmile osoba zaznamenala vibrace navrženého zařízení či konkurenčního systému, na chytrém telefonu stiskla virtuální tlačítko, které vzdáleně poslalo informaci do mikropočítače, který v ten moment vypočítal čas reakce, vypsal ji na konzoli přes sériovou linku a vypnul sirénu. Bezdrátová komunikace byla realizována skrze IoT platformu Blynk. Na Obr. 65 je znázorněno schéma zapojení popisované měřicí sestavy.



Obr. 65 Schéma zapojení měřicí sestavy [vlastní]

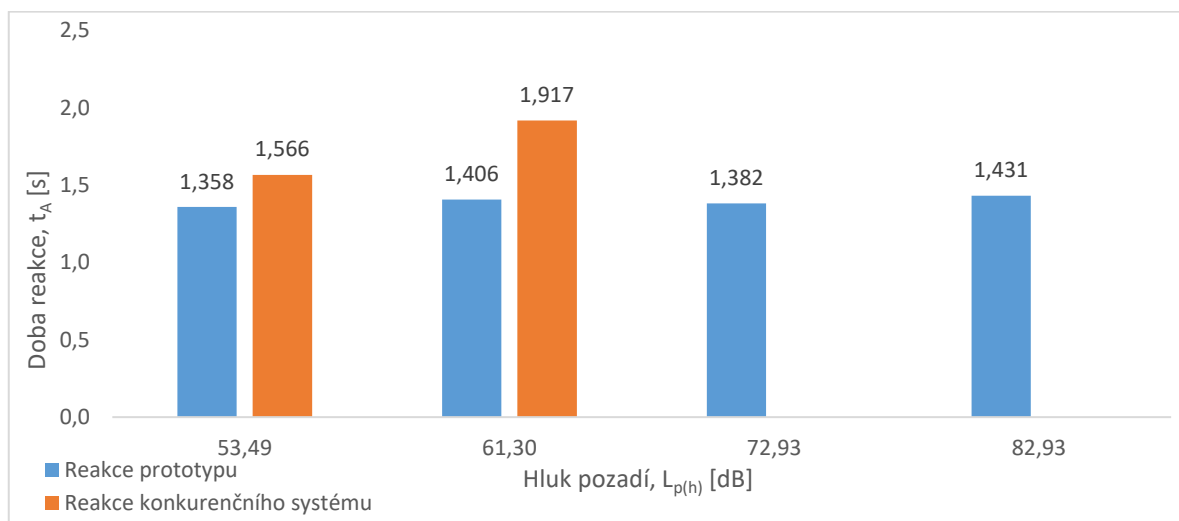
V Tab. 15 je vypsán seznam měřicích zařízení, použité pro účely daného měření.

Tab. 15 Seznam měřicích zařízení

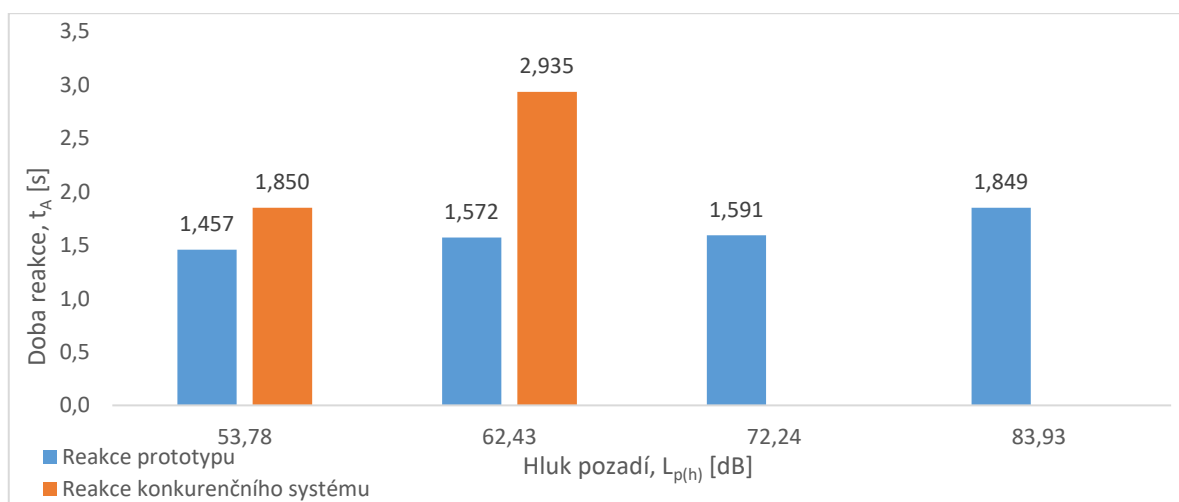
Měřicí zařízení	Typ	Měřicí rozsah	Přesnost
Hlukoměr	PDEME 130 A1	30 až 130 dB(A), 31,5 až 8000 Hz	$\pm 1,5$ dB(A)
Siréna	KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz	-	-
Realizované zařízení	-	-	-
Konkurenční systém	Mobilní aplikace Okamžitý přepis	-	-
Chytrý telefon	Redmi note 8 pro	-	-
Reproduktory	Genius SP-F200	-	-
Nahrávka hluku	Dostupné z odkazu [56]	-	-
Laboratorní zdroj	Mastech HY3003D	-	-
Pásmo	-	15 m	-
IR závora	Optex SL-200QDP	-	-
Vývojová deska	WeMos D1 Mini ESP8266 WiFi modul	-	-

17.2 Výsledky měření

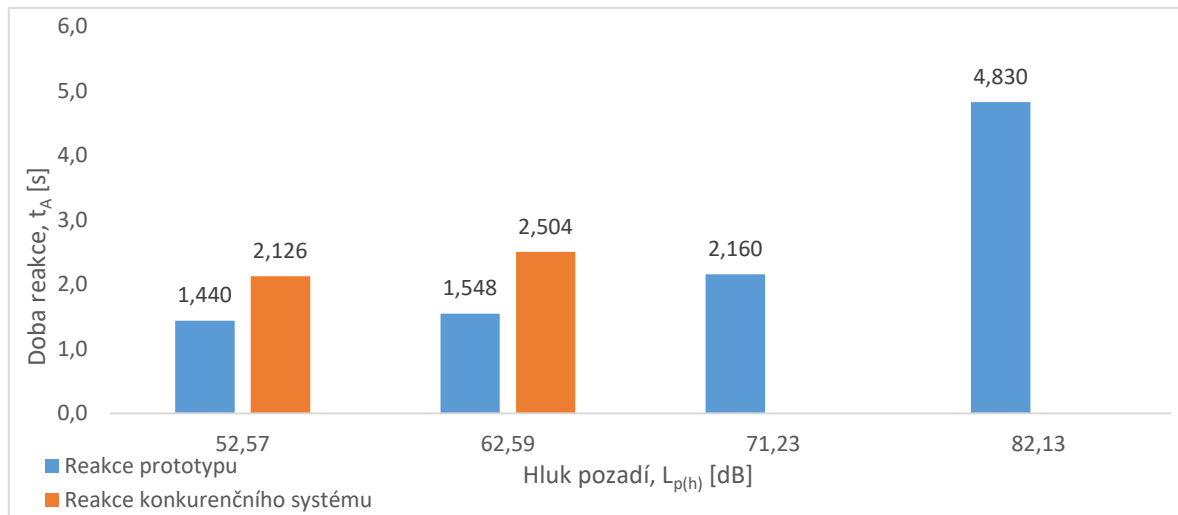
Níže na *Obr. 66 - Obr. 68* jsou zpracována data z měření v podobě sloupcových grafů. Graf na *Obr. 66* zobrazuje zpracovaná data ze vzdálenosti 8 metrů od zdroje, graf na *Obr. 67* zobrazuje zpracovaná data ze vzdálenosti 16 metrů od zdroje a poslední graf na *Obr. 68* zobrazuje zpracovaná data ze vzdálenosti 32 metrů od zdroje. Data použitá pro sestavení sloupcových grafů jsou k dispozici v tabulce v příloze P IV, kde jsou zpracovány i směrodatné odchylky jednotlivých měření.



Obr. 66 Graf doby reakce prototypu a konkurenčního systému na zvuk požární sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz v pracovním režimu L2, v 8 metrech od zdroje, za různých úrovní hluku pozadí



Obr. 67 Graf doby reakce prototypu a konkurenčního systému na zvuk požární sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz v pracovním režimu L2, v 16 metrech od zdroje, za různých úrovní hluku pozadí



Obr. 68 Graf doby reakce prototypu a konkurenčního systému na zvuk požární sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz v pracovním režimu L2, v 32 metrech od zdroje, za různých úrovní hluku pozadí

17.3 Vyhodnocení výsledků měření

Bylo provedeno měření, při kterém se sledovalo, jak rychle vyhodnotí navržený prototyp a konkurenční systém přítomnost zvuku požární sirény. Jako konkurenční systém byla použita mobilní aplikace Okamžitý přepis od společnosti Google. Následně z měření vzešly tři sloupcové grafy, kde byla srovnána doba reakce prototypu s dobou reakce konkurenčního systému. Každý graf se věnuje jiné měřicí vzdálenosti od sirény.

Naměřená doba reakce není přímo spjata s dobou reakce samotných sledovaných signalizačních systémů, jelikož při měření hrál vysokou roli lidský faktor. Osoba zastávající časomíru skrze virtuální tlačítko na chytrém telefonu vnesla do naměřených hodnot jistou prodlevu. Pro přesnější definici doby reakce by bylo vhodné uvést, že:

doba reakce = doba reakce systému na zvuk sirény + doba reakce osoby na vibrace.

V rámci vyhodnocení spolehlivosti tato nepřesnost nehraje příliš velkou roli, jelikož pro vyhodnocení závěru, zda systém dokáže dostatečně rychle zareagovat na zvuk požární sirény, není potřeba vysoké přesnosti pohybující se v desetínách či setinách milisekund.

Ze sestavených sloupcových grafů lze vyčíst, že realizovaný prototyp dokázal zareagovat na zvuk požární sirény ve všech případech nasimulovaných podmínek měření, kdežto aplikace Okamžitý přepis nedokázala zareagovat na zvuk požární sirény v případech, kdy simulovaný hluk dosahoval velikosti přibližně 72 dB a výš ve všech měřených vzdálenostech od zdroje.

Realizovaný prototyp reagoval bez problému ve vzdálenostech 8 m a 16 m od zdroje, kdy nejvyšší průměrná doba reakce dosahovala hodnoty $(1,849 \pm 0,717)$ sekund ve vzdálenosti 16 m za simulovaného hluku $(83,93 \pm 0,89)$ dB. Realizovanému prototypu dělalo největší problém vyhodnotit zvuk požární sirény ve vzdálenosti 32 m za simulovaného hluku $(82,13 \pm 0,55)$ dB, kdy doba reakce dosahovala průměrné hodnoty $(4,830 \pm 3,378)$ sekund.

Ve všech případech dosáhl realizovaný prototyp lepších výsledků než aplikace Okamžitý přepis. Nicméně v případech, kdy aplikace Okamžitý přepis dokázala zareagovat na zvuk požární sirény, upozornila osobu na danou událost řádově v jednotkách sekund, kdy nejhorší průměrná reakce byla $(2,935 \pm 0,606)$ sekund zaznamenaná ve vzdálenosti 16 m za simulovaného hluku $(62,43 \pm 1,09)$ dB.

V rámci doby reakce na zvuk požární sirény za různých simulovaných podmínek lze na základě provedeného měření realizovaný prototyp prohlásit za spolehlivý. V parametru doby reakce ve všech případech realizovaný prototyp předčil konkurenci. Druhou otázkou je, jak by realizovaný prototyp dokázal odolat planým poplachům. Během měření bylo sledováno, zda oba systémy nevyvolají planý poplach zapříčiněný simulovaným hlukem. Ani jeden z testovaných systémů během měření nevyvolal ani jeden planý poplach. Nicméně tato otázka by měla být zodpovězena jiným typem měření, které nebylo zakomponováno do této bakalářské práce.

18 NASTÍNĚNÍ DALŠÍHO VÝVOJE V OBLASTI SIGNALIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ PRO OSOBY SE SLUCHOVÝM POSTIŽENÍM

Signalizační zařízení pro osoby se sluchovým postižením představují důležitou technologii, která těmto jedincům pomáhá kompenzovat jejich ztrátu sluchu. Na trhu existuje mnoho typů zařízení od systému chytrých domácností přizpůsobených osobám se ztrátou sluchu až po mobilní aplikace či vibrační hodinky upozorňující osobu na notifikace, nebezpečné události, či dokonce převádějí reálný zvuk na směs vibračních vzorců, díky kterým se mohou naučit vnímat zvuk jiným smyslem. S čím dál tím větším a každým dnem nabývajícím technologickým rozmachem jsou vývojářům a inovátorům poskytnuty nové a modernější technologie vytvářející prostor pro další vývoj v této oblasti, zejména s cílem poskytnout osobám efektivnější a přizpůsobitelnější možnosti. Mezi směry dalšího vývoje může patřit:

1. integrace s běžně využívanými chytrými domácnostmi. V posledních letech se stal, nejen mezi milovníky moderních technologií, velice oblíbený trend chytrých domácností. Signalizační zařízení pro osoby se sluchovým postižením by mohla být integrována do běžně využívaných systémů chytrých domácností, jako jsou například systémy od společností Apple, Google či Amazon. Signalizační zařízení pro sluchově postižené by se tak staly dostupnějšími a uživatelsky přívětivějšími,
2. pokročilé vyhodnocovací metody pro rozpoznání zvuku. Poslední technologický trend, který v dnešní době otřásá světem, je umělá inteligence a její enormní rozkvět. Umělá inteligence by mohla být aplikována v rámci zařízení či aplikací určených sluchově postiženým osobám, kdy postupným trénováním na bázi strojového učení by dokázaly rozpoznávat jisté zvukové vzorce s ještě vyšší přesností.

ZÁVĚR

Cílem teoretické části práce bylo vytvořit základní teoretický přehled o oblastech dotýkající se otázky návrhu signalizačního zařízení pro osoby se sluchovým postižením. Je zde pojednáváno o základních charakteristikách zvuku a teorii zpracování signálu v oblasti frekvenční analýzy. Následovalo pojednání o klasifikaci sluchového postižení a seznámení se se signalizačními prostředky pro osoby se sluchovým postižením aktuálně dostupnými na trhu.

Cílem praktické části práce bylo navrhnout signalizační zařízení vhodné pro osoby se sluchovým postižením, které by bylo schopné upozornit uživatele na poplachový stav požární signalizace.

Na samém počátku návrhu byly stanoveny požadavky na typ zařízení, účel, požadavky na signalizaci a stanovení způsobu vyhodnocení. Zařízení bylo koncipováno do podoby hodinek. Myšlenka spočívala ve vytvoření cenově dostupného zařízení, které by během denních aktivit měla sluchově postižená osoba připnuté na ruce a upozorňovalo jí na nebezpečnou událost v podobě poplachového stavu požární signalizace. Uživatel by dostával upozornění skrze tři vibrační motůrky upevněné na řemínku hodinek, které by dokázaly generovat jednoznačné vibrační vzorce. V případě, že by navrhované zařízení bylo rozšířeno o funkce umožňující upozornit i na jiné události, mimo poplachový stav požární signalizace, uživatel by na základě stanovených vibračních vzorců byl schopen události rozeznávat. Na počátku návrhu bylo předpokládáno, že by způsob vyhodnocení mohl být postaven na Pearsonově korelační analýze s kombinací s rychlou Fourierovou transformací (dále jen FFT). Vyhodnocoval by se zvuk požární sirény. Zařízení by snímalo zvuk z okolí, digitalizovalo jej, převedlo pomocí aplikace FFT do frekvenční domény a porovnávalo s frekvenční doménou referenčního vzorku signálu sirény prostřednictvím korelační analýzy. Pokud by frekvenční domény dosáhly jisté míry korelace, došlo by k signalizaci poplachu.

Po stanovení požadavků na zařízení a způsobu vyhodnocení následoval samotný návrh a realizace. Součástí návrhu a realizace byl výběr konkrétní požární sirény jakožto předmětu detekce, měření frekvenční charakteristiky vybrané požární sirény, výběr vhodných komponentů, stanovení parametrů pro záznam a digitalizaci, návrh vyhodnocovací části programu, návrh a realizace krytu hodinek, osazení hardwarových

prvků do hodinkového pouzdra a jejich propojení a v neposlední řadě návrh finálního programu, který byl následně implementován do realizovaných hodinek.

Během návrhu vyhodnocovací části bylo zjištěno, že metoda určení korelace mezi frekvenčními doménami referenčního a reálného signálu prostřednictvím hrubého výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu není vhodná. Nicméně se podařilo proces korelační analýzy adekvátně modifikován tak, aby výsledné vyhodnocení zvuku požární sirény pomocí korelační analýzy bylo použitelné a směrodatné.

Výstupem praktické části práce je navrhnutý funkční prototyp nositelného přístroje v podobě hodinek, jehož cena za materiál dle cenové rozvahy činí 1 660 korun českých. Hodinky disponují displejem, dvěma tlačítky, baterií a třemi signalizačními vibračními motorky. Jádrem celých hodinek je vývojová deska Seeed Studio nRF52840 Sense s integrovaným PDM mikrofonom. Hodinky v momentě vyhodnocení zvuku požární sirény upozorní uživatele vibracemi pomocí motůrků a vypíší na displeji poplachovou hlášku. Byly naprogramovány i doplňkové funkce, jako je výchozí nastavení hodin uživatelem, zobrazení času na displeji podle výchozího nastavení hodin a výpis na displej aktuálně vyhodnoceného korelačního koeficientu.

Funkčnost prototypu potvrzuje provedené měření spolehlivosti, kde byla poměřována doba reakce na požární sirénu mezi realizovaným prototypem a aplikací Okamžitý přepis od společnosti Google jakožto konkurenčním systémem. Měření proběhlo za simulace reálných provozních podmínek, kdy realizovaný prototyp za všech provedených simulovaných podmínek zareagoval v průměru rychleji než konkurenční aplikace. Druhou otázkou by bylo, jak by realizovaný prototyp dokázal odolat planým poplachům. Během měření bylo sledováno, zda oba systémy nevyvolají planý poplach zapříčiněný simulovaným hlukem. Ani jeden z testovaných systémů během měření nevyvolal ani jeden planý poplach.

Výsledky práce by mohly posloužit jako podklad pro další vývoj v oblasti signalizačních zařízení pro osoby se sluchovým postižením. Samotný realizovaný prototyp by šel po mnoha stránkách též zdokonalovat. Použitá vývojová deska disponuje kromě mikrofону a výkonného mikroprocesoru dalším doplňkovým hardwarem, jako je gyroskop, akcelerometr, Bluetooth či NFC technologie. To znamená, že tu je nespočet možností pro implementaci dalších nových funkcí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVÝ, Richard. Hluk a chvění. 4. přepracované vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2019. ISBN 978-80-01-06554-9.
- [2] Hearing loss prevalence and years lived with disability, 1990–2019: findings from the Global Burden of Disease Study 2019: Findings. The Lancet [online]. Washington: University of Washington, 2021, 2021 [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(21\)00516-X/fulltext#seccetitle190](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(21)00516-X/fulltext#seccetitle190)
- [3] Deafness and hearing loss. World Health Organization [online]. Ženeva: WHO, 2021 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- [4] CHAJDA, Radek. Matematické, fyzikální a chemické tabulky: pro střední školy. Praha: Ottovo nakladatelství, 2012. ISBN 978-80-7451-222-3.
- [5] ŠÍŘENÍ ZVUKU. Eduportál Techmania [online]. Plzeň: Techmania Science Center, 2007 [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/sireni-zvuku>
- [6] KRÁLOVÁ, Magda. ZÁKLADY FYZIOLOGICKÉ AKUSTIKY. Eduportál Techmania [online]. Plzeň: Techmania Science Center, 2007 [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/zaklady-fyziologicke-akustiky>
- [7] KRÁLOVÁ, Magda. INFRAZVUK. Eduportál Techmania [online]. Plzeň: Techmania Science Center, 2007 [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/infrazvuk>
- [8] KRÁLOVÁ, Magda. ULTRAZVUK. Eduportál Techmania [online]. Plzeň: Techmania Science Center, 2007 [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/ultrazvuk>
- [9] Infrasound a new weapon in cancer therapy?. National Library of Medicine [online]. Washington: National Institutes of Health, 2021, 2021 Mar 9 [cit. 2022-12-16]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33745848/>
- [10] JANČA, Radek. Základy zpracování signálů, Fourierova transformace [přednáška]. In: YouTube [online]. Praha: FEL ČVUT v Praze, 27. září 2021. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=TDFMIaWAgEA&t=2724s>

- [11] DAVÍDEK, Vratislav a Miloš SEDLÁČEK. Implementace algoritmů číslicového zpracování signálů v reálném čase. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-3114-4.
- [12] DRŠATA, Jakub a Radan HAVLÍK A KOLEKTIV. Foniatrie – sluch. Havlíčkův Brod: Tobiáš, 2015. ISBN 978-80-7311-159-5.
- [13] BLANAŘ, Vít, Arnošt PELLANT a Jan MEJZLÍK. Vyšetřování a hodnocení potíží nemocných s nedoslýchavostí podmíněnou hlukem. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2020. ISBN 978-80-7560-341-8.
- [14] Age-Related Hearing Loss (Presbycusis). National Institutes of Health (NIH) [online]. Bethesda: National Institute on Deafness and Other Communication Disorders, 2023 [cit. 2023-05-28]. Dostupné z: <https://www.nidcd.nih.gov/health/age-related-hearing-loss>
- [15] ČESKO. § 10 odst. 2 nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací – znění od 9. 11. 2018. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 28. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272#p10-2>
- [16] WHO releases new standard to tackle rising threat of hearing loss. World Health Organization [online]. Ženeva: WHO, 2022 [cit. 2023-05-28]. Dostupné z: <https://www.who.int/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>
- [17] Ochrana zdraví před hlukem. Státní zdravotní ústav [online]. Praha: SZÚ, © 2023 [cit. 2023-05-28]. Dostupné z: <https://szu.cz/tema/zivotni-prostredi/hluk/ochrana-pred-hlukem/>
- [18] RF alerting system: Signolux [online]. Berlin: Humantechnik, c1998-2018 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/en/products/wireless-alerting-systems/rf-alerting-system-signolux/>
- [19] Wireless alerting systems [online]. Berlin: Humantechnik, c1998-2018 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/en/products/wireless-alerting-systems/>
- [20] Uživatelská příručka: Přímí univerzální vysílač. Humantechnik [online]. Berlin: Humantechnik, 2020 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/downloads/pdf/bedienungsanleitung/a2655N.pdf>

- [21] Universal transmitters [online]. Berlin: Humantechnik, c1998-2018 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/en/products/wireless-alerting-systems/>
- [22] Wireless signalux transmitter for existing smoke alarm systems. Humantechnik [online]. Berlin: Humantechnik, c1998-2018 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/en/products/wireless-alerting-systems/rf-alerting-system-signalux/signalux-alarm-monitor-alarml/>
- [23] Uživatelská příručka: Přijímač S. Humantechnik [online]. Berlin: Humantechnik, 2018 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/downloads/pdf/bedienungsanleitung/a2616N.pdf>
- [24] S-Receiver [online]. Berlin: Humantechnik, c1998-2018 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/en/products/wireless-alerting-systems/rf-alerting-system-signalux/s-receiver/>
- [25] Uživatelská příručka: Budík s přijímačem signalux. Humantechnik [online]. Berlin: Humantechnik, 2020 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/downloads/pdf/bedienungsanleitung/a2634N.pdf>
- [26] Signalux receiver alarm clock [online]. Berlin: Humantechnik, c1998-2018 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/en/products/wireless-alerting-systems/rf-alerting-system-signalux/signalux-receiver-alarm-clock/>
- [27] Vibrační polštářek Humantechnik | Pomůcky pro neslyšící [online]. Brno: Unie neslyšících Brno, c2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.pomuckyproneslysici.cz/prislusenstvi-budiky/univerzalni-vibracni-polstarek-humantechnik/>
- [28] »signalux« Gateway for smartphones. Humantechnik [online]. Berlin: Humantechnik, c1998-2018 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.humantechnik.com/en/products/wireless-alerting-systems/rf-alerting-system-signalux/signalux-gateway/>
- [29] Zákon č. 133/1985 Sb.: Zákon České národní rady o požární ochraně. Zákony pro lidi [online]. Zlín: AION CS, c2010-2022, 2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1985-133/zneni-20220101>
- [30] ČSN EN 54-23 (342710): Elektrická požární signalizace – Část 23: Požární poplachová zařízení – Optická výstražná zařízení. Praha: ČNI, 2010.

- [31]6000/VAD/C/WHITE [online]. Praha: AVALON, c2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <http://www.avalon.cz/produkty/adresovatelne-sireny-majaky/6000vadcred.htm>
- [32]Protec 6000PLUS/OPHT/TSVAD [online]. Praha: AVALON, c2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <http://www.avalon.cz/produkty/automaticke-hlasice-adresovatelne/protec-6000plusophtsl.htm>
- [33]UL 1971: Standard for Signaling Devices for the Hearing Impaired. GlobalSpec [online]. Northbrook: UL, 2018 [cit. 2023-05-28]. Dostupné z: <https://standards.globalspec.com/std/13051703/ul-1971>
- [34]New Android feature alerts you to smoke alarms and other 'critical' sounds. Engadget: Technology News & Reviews [online]. Santa Clara: Yahoo, c2022, 8 October 2020 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/android-sound-notification-alerts-170045534.html>
- [35]Wearable devices help people 'feel' sounds in their environment. Hearing aid and hearing clinic directory [online]. Los Angeles: Healthy Hearing, c2022, September 13, 2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.healthyhearing.com/report/53155-Buzz-device-routes-sound-through-skin>
- [36]Neosensory Clarify. Home - Neosensory [online]. Palo Alto: Neosensory, 2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://neosensory.com/product/clarify/>
- [37]Sound Awareness. Home - Neosensory [online]. Palo Alto: Neosensory, 2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://neosensory.com/product/buzz-otp/>
- [38]Neosensory Reviews & Testimonials. Endorsal [online]. Sticky Toffee Studios, c2019-2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: https://endorsal.io/reviews/neosensory?source=Testimonial+Widget&utm_source=Testimonial+Widget&utm_medium=Powered+By&utm_campaign=Neosensory
- [39]Home - Neosensory [online]. Palo Alto: Neosensory, 2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://neosensory.com/>
- [40]GOTO, Hideaki, Tomo SAKAI, Koichiro MIZOGUCHI a Makoto IMAI. Odor generation alarm and method for informing unusual situation. 2015. United States. US 9,082.274 B2. Uděleno 2015. Zapsáno 2015.

- [41] Why would you want a wasabi fire alarm?. National Museums Scotland Blog [online]. Edinburgh: National Museums Scotland [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://blog.nms.ac.uk/2018/08/29/why-would-you-want-a-wasabi-fire-alarm/>
- [42] Wasabi alert: the Ig Nobel Prize-winning alarm. Science and Me [online]. Maki, c2022, May 1, 2014 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://blogs.ubc.ca/sumi/2014/05/01/wasabi-alert-the-ig-nobel-prize-winning-alarm/>
- [43] JHA, Alok. Wasabi fire alarm scoops Ig Nobel prize for Japanese scientists. The Guardian [online]. Londýn: Maki, c2022, 30 Sep 2011 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/science/2011/sep/30/wasabi-fire-alarm-ig-nobel-prize>
- [44] AIR WATER SAFETY SERVICE INC. [online]. Hyogo: AIR WATER SAFETY SERVICE [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://awb.co.jp/eng/>
- [45] ČSN EN ISO 3741 (011607). Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Přesné metody pro dozvukové zkušební místnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [46] Popis zkušebního postupu: Měření akustických parametrů v dozvukové komoře dle ČSN EN ISO 3741. Zlín, 2022.
- [47] Data Sheet: MSM261D3526H1CPM. Seeed Studio Bazaar, The IoT Hardware enabler [online]. Šen-Čen: Seeed Technology, 2018 [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: <https://files.seeedstudio.com/wiki/XIAO-BLE/mic-MSM261D3526H1CPM-ENG.pdf>
- [48] NRF52840. Nordic Semiconductor | Empowering Wireless Innovation - nordicsemi.com [online]. Oslo: Nordic Semiconductor, 2019 [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52840_PS_v1.1.pdf
- [49] Seeed Studio XIAO nRF52840 Sense - TinyML/TensorFlow Lite- IMU / Microphone - Bluetooth5.0. Seeed Studio Bazaar, The IoT Hardware enabler [online]. Šen-Čen: Seeed Technology, © 2008-2023 [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/Seeed-XIAO-BLE-Sense-nRF52840-p-5253.html>
- [50] 1.28" 240x240 TFT IPS kulatý barevný displej GC9A01, SPI. LaskaKit.cz | by Makers for Makers [online]. Rychnov nad Kněžnou: LaskaKit, c2023 [cit. 2023-05-

- 29]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/1-28--240x240-tft-ips-kulaty-barevny-displej-gc9a01--spi/>
- [51] Vibrační minimotor - 1027 3V. Dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSE [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/121940-vibracni-minimotor-1027-3v.html>
- [52] Pi Supply 600mAh baterie. RPishop.cz [online]. Roudné: RPishop.cz, © 2023 [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/li-pol/2028-pi-supply-600mah-baterie-646648333591.html>
- [53] Mikrospínač do DPS spínací 1-pólový OFF-(ON) 0.05A 12V DC Ninigi TACT-64K-F. SVĚTSoučástek - Elektronické součástky levně, zítra u vás [online]. Praha: Radio plus, ©2013 - 2023 [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: <https://www.svetsoucastek.cz/mikrospinac-ninigi-tact-64k-f-p55237/#gallery>
- [54] RhinoTech univerzální nylonový řemínek Quick Release 20mm, černá. CZC.cz - rozumíme vám i elektronice [online]. Praha: CZC.cz [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/rhinotech-univerzalni-nylonovy-reminek-quick-release-20mm-cerna/343369/produkt>
- [55] Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu. Matematická biologie učebnice: Úvod [online]. Brno: Institut biostatistiky a analýz Lékařské fakulty Masarykovy univerzity [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickych-a-biologickych-dat--biostatistika-pro-matematickou-biologii--zaklady-korelacni-analyzy--pearsonuv-korelacni-koeficient--vypocet-pearsonova-korelacniho-koeficientu>
- [56] 12 Hodin / Zvuky / V ULICÍCH ŠTRASBURKU / Bílý šum / Zvuky Ulice / Hluk ulice / Street Sounds. YouTube [online]. Mountain View: 12hodin, 2019 [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=1LMQaZ6Cju8&t=21920s>
- [57] Pískovací box SSK 3.1 6204005 Unicraft. ELESPO - ruční nářadí [online]. Praha: Elespo.cz, © 2010 - 2023 [cit. 2023-05-30]. Dostupné z: <https://www.elespo.cz/piskovaci-box-ssk-3-1-6204005-unicraft>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)
m/s	Metry za sekundu
°C	Stupeň Celsia
f	Frekvence
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
s ⁻¹	Převrácená hodnota sekundy
Pa	Pascal
μPa	Mikropascal
T	Perioda
W	Akustický výkon, watt
W ₀	Referenční hodnota akustického výkonu
N	Měrný akustický výkon
ϑ	Úhel normálového vektoru
S	Plocha
F	Síla
p	Akustický tlak
p ₀	Referenční hodnota akustického tlaku
v	Rychlost
I	Intenzita zvuku
I ₀	Referenční hodnota intenzity zvuku
W/m ²	Watt na metr čtvereční
dB	Decibel
log	Logaritmus
L _p	Hladina akustického tlaku
L _w	Hladina akustického výkonu
L _I	Hladina intenzity zvuku
FT	obecná Fourierova transformace
FŘ	Fourierovy řady
DTFT	Fourierova transformace diskrétní v čase
DFT	Diskrétní Fourierova transformace
$\widehat{X}(f)$	Funkční hodnota pro FT a DTFT vyjádřena v komplexní rovině
$\widehat{c}[f_k]$	Funkční hodnota pro FŘ vyjádřena v komplexní rovině

$\widehat{X}[f_k]$	Funkční hodnota pro DFT vyjádřena v komplexní rovině
$x[n]$	Hodnota daného vzorku posloupnosti vzorků
$x(t)$	Funkce spojitá v čase
n	Pořadí vzorku
k	Koeficient
f_k	Frekvence určena dle koeficientu k
f_0	Frekvence periodicity signálu
T_0	Perioda signálu
N_0	Počet vzorků
f_s	Vzorkovací frekvence
T_s	Vzorkovací perioda
e	Eulerovo číslo
π	Ludolfovo číslo
t	Čas
$W_{N_0}^k$	Vektor komplexních koeficientů
SZÚ	Státní zdravotní ústav
L_{Aeq}	průměrná expozice hluku
EPS	Elektrická požární signalizace
V	Volt
NO	Normally open
PIR	Pasivní infračervené čidlo
LED	Elektroluminiscenční dioda
FFT	Rychlá Fourierova transformace
L1	První pracovní režim měřené sirény
L2	Druhý pracovní režim měřené sirény
SW	Software
$f_{krit.}$	Kritická frekvence
$S_{M(max)}$	Maximální tolerovaná směrodatná odchylka
PDM	Pulse Density Modulation
NFC	Near Field Communication
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
SNR	Odstup signál-šum
f_{CLOCK}	frekvence hodin
U_{DD}	Napájecí napětí mikrofonu
PCM	Pulsně kódová modulace

TFT	Thin-Film Transistor
SPI	Serial Peripheral Interface
RGB	Red-Green-Blue
M Ω	Megaohm
Ω	Ohm
mm	Milimetr
mAh	Miliampérhodina
mA	Miliampér
m Ω	Miliohm
d _f	kmitočtový krok
r	Pearsonův korelační koeficient
v _{real}	Vektor frekvenční domény reálného akustického signálu
v _{ref}	Vektor frekvenční domény referenčního akustického signálu
s _{v_{real}}	Směrodatná odchylka vektoru frekvenční domény reálného akustického signálu
s _{v_{ref}}	Směrodatná odchylka vektoru frekvenční domény referenčního akustického signálu
$\overline{v}_{\text{real}}$	Aritmetický průměr vektoru frekvenční domény reálného akustického signálu
$\overline{v}_{\text{ref}}$	Aritmetický průměr vektoru frekvenční domény referenčního akustického signálu
A/D	Analogově-digitální
L _{p(h)}	Hladina akustického tlaku simulovaného hluku
D	Vzdálenost od sirény
r _{pos}	Pearsonův korelační koeficient s posunem
NaOH	Hydroxid sodný
SMD	Součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
M1	Motor 1
M2	Motor 2
M3	Motor 3
Gnd	Zem
bat+	Kladný pól baterie
bat-	Záporný pól baterie
U _{cc}	Napájecí napětí
T1	Tranzistor
IR	Infračervený
IoT	Internet věcí
K1	Relé
t _A	Doba reakce

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Vývoj akustické vlny v bodové řadě [1].....</i>	16
<i>Obr. 2 Šíření akustického vlnění jakožto vlnění rovinného [1]</i>	17
<i>Obr. 3 Hladiny akustického tlaku v různém prostředí [1]</i>	19
<i>Obr. 4 Grafické znázornění obecné Fourierovi transformace [vlastní].....</i>	22
<i>Obr. 5 Grafické znázornění Fourierových řad [vlastní]</i>	23
<i>Obr. 6 Grafické znázornění Fourierovy analýzy diskrétní v čase [vlastní].....</i>	24
<i>Obr. 7 Grafické znázornění diskrétní Fourierovy transformace [vlastní]</i>	26
<i>Obr. 8 Hierarchie technických prostředků určené sluchově postiženým osobám [vlastní]</i>	29
<i>Obr. 9 Příklad využití systému Signolux [19]</i>	31
<i>Obr. 10 Přímý univerzální vysílač Signolux [20][21]</i>	32
<i>Obr. 11 Vysílač pro stávající systémy požární signalizace Alarmo [22]</i>	32
<i>Obr. 12 Přijímač Signolux S [24]</i>	33
<i>Obr. 13 Přijímač Signolux – budík [26]</i>	33
<i>Obr. 14 Vibrační polštářek [27]</i>	33
<i>Obr. 15 GATEWAY – přijímač Signolux [28]</i>	34
<i>Obr. 16 Protec 6000/VAD/C/WHITE dle ČSN EN 54-23 [31].....</i>	35
<i>Obr. 17 Protec 6000PLUS/OPHT/TSVAD [32]</i>	35
<i>Obr. 18 Aplikace Live Transcribe [34]</i>	37
<i>Obr. 19 Vibrační náramek vyvíjený společností Neosensory [39]</i>	38
<i>Obr. 20 Autonomní požární hlásič s wasabi pachovou signalizací [41]</i>	39
<i>Obr. 21 Princip činnosti navržených hodinek [vlastní].....</i>	42
<i>Obr. 22 Siréna KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz [vlastní].....</i>	44
<i>Obr. 23 Půdorys dozvukové místnosti a rozvržení měřicích komponentů [46]</i>	45
<i>Obr. 24 Bokorys dozvukové místnosti a rozvržení měřicích komponentů [46]</i>	46
<i>Obr. 25 Pohled na instalovanou aparaturu v dozvukové místnosti [vlastní]</i>	46
<i>Obr. 26 Spektrální analýza sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz vyjádřena ve třetinooktávových pásmech pro pracovní režim L1</i>	49
<i>Obr. 27 Waterfall diagram akustického signálu sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L1.....</i>	50
<i>Obr. 28 Spektrální analýza sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz vyjádřena ve třetinooktávových pásmech pro pracovní režim L2</i>	51
<i>Obr. 29 Waterfall diagram akustického signálu sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L2.....</i>	51
<i>Obr. 30 Popis jednotlivých pinů vývojové desky Seeed Studio nRF52840 [49].....</i>	54

<i>Obr. 31 Seeed Studio nRF52840 Sense: a) ilustrativní fotografie, b) rozvržení hardwaru na vývojové desce [49]</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 32 1.28" 240x240 TFT IPS kulatý barevný displej GC9A01, SPI [50].....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 33 Vibrační motor 1027 3 V [51]</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 34 Pi Supply 600mAh Li-ion baterie [52]</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 35 RhinoTech univerzální nylonový řemínek Quick Release 20mm [54]</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 36 Vývojový diagram preprocessingu pro následný záznam a frekvenční analýzu [vlastní].....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 37 Vývojový diagram funkce audio_rec_callback() [vlastní]</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 38 Vývojový diagram pro záznam akustického signálu, převod do frekvenční domény a výpis frekvenční a časové domény na sériovou linku [vlastní].....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 39 Vývojový diagram programu pro Pearsonovu korelační analýzu napsán v prostředí Matlab [vlastní].....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 40 Graf frekvenčního spektra akustického signálu sirény KLAXON v pracovním režimu L2 měřena vývojovou deskou Seeed v bezodrazové místnosti ve vzdálenosti 1 m a 2 m [vlastní].....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 41 Vývojový diagram korelační analýzy s posunem napsaný v nástroji Matlab [vlastní].....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 42 Korelační analýza vybraného naměřeného referenčního vzorku s naměřenými vzorky sirény KLAXON za simulace reálného prostředí, z různých vzdáleností od zdroje, bez zavedeného šumu, za hluku pozadí $L_{p(h)} = (36,4 \pm 0,8)$ dB</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 43 Korelační analýza vybraného naměřeného referenčního vzorku s naměřenými vzorky sirény KLAXON za simulace reálného prostředí, z různých vzdáleností od zdroje, se zavedeným šumem, za hluku pozadí $L_{p(h)} = (63 \pm 1,1)$ dB.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 44 Korelační analýza vybraného naměřeného referenčního vzorku s naměřenými vzorky sirény KLAXON za simulace reálného prostředí, z různých vzdáleností od zdroje, se zavedeným šumem, za hluku pozadí $L_{p(h)} = (72 \pm 0,2)$ dB.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 45 Korelační analýza vybraného naměřeného referenčního vzorku s naměřenými vzorky sirény KLAXON za simulace reálného prostředí, z různých vzdáleností od zdroje, se zavedeným šumem, za hluku pozadí $L_{p(h)} = (83,3 \pm 0,9)$ dB.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 46 Vymodelovaná sestava hodinek – pohled zdola [vlastní]</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 47 Vymodelovaná sestava hodinek – pohled shora [vlastní]</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 48 Vymodelovaná sestava hodinek – pohled zešikma [vlastní]</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 49 Pohled na horní kryt připravený k 3D tisku [vlastní]</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 50 Vytištěný dolní kryt s podpůrnými strukturami [vlastní].....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 51 Vytištěný kryt s odstraněnou podpůrnou strukturou [vlastní].....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 52 Pískovací box Unicraft SSK3 [57]</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 53 Dolní a horní kryt povrchově upraven tmelem ve spreji [vlastní]</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 54 Horní a dolní kryt po finální povrchové úpravě [vlastní]</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 55 Schéma propojení jednotlivých prvků hardwaru [vlastní]</i>	<i>81</i>

<i>Obr. 56 Pohled na propojený hardware [vlastní]</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 57 pohled na propojené vibrační motůrky [vlastní]</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 58 Navržená sekvence vibračního vzorce [vlastní]</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 59 Vývojový diagram pro výpis na displej [vlastní]</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 60 Vývojový diagram obecné funkčnosti programu výchozího nastavení hodin [vlastní]</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 61 Prototyp signalizačního zařízení – pohled zezadu [vlastní]</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 62 Prototyp signalizačního zařízení – pohled zepředu [vlastní]</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 63 Prototyp signalizačního zařízení – pohled z boku [vlastní]</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 64 Půdorys chodby použité pro měření a rozvržení měřicího prostoru [vlastní]</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 65 Schéma zapojení měřicí sestavy [vlastní]</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 66 Graf doby reakce prototypu a konkurenčního systému na zvuk požární sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz v pracovním režimu L2, v 8 metrech od zdroje, za různých úrovní hluku pozadí</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 67 Graf doby reakce prototypu a konkurenčního systému na zvuk požární sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz v pracovním režimu L2, v 16 metrech od zdroje, za různých úrovní hluku pozadí</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 68 Graf doby reakce prototypu a konkurenčního systému na zvuk požární sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz v pracovním režimu L2, v 32 metrech od zdroje, za různých úrovní hluku pozadí</i>	<i>94</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Stanovení bezpečné délky průměrné expozice hluku [17]</i>	28
<i>Tab. 2 Maximální tolerované hodnoty směrodatných odchylek</i>	46
<i>Tab. 3 Specifikace použitých přístrojů</i>	48
<i>Tab. 4 Podmínky měření sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L1</i>	49
<i>Tab. 5 Podmínky měření sirény KLAXON FIRE SHRIEKER HP RED KN4053X 970 Hz pro pracovní režim L2</i>	50
<i>Tab. 6 Parametry vybrané vývojové desky [49]</i>	54
<i>Tab. 7 Parametry vybraného displeje [50]</i>	55
<i>Tab. 8 Parametry vibračního motoru 1027 3 V [51]</i>	56
<i>Tab. 9 Parametry vybrané baterie [52]</i>	57
<i>Tab. 10 Parametry vybraného mikrospínače [53]</i>	58
<i>Tab. 11 Seznam měřicích přístrojů použitých v rámci testování zvolené konfigurace digitalizace a zvolené metody vyhodnocení</i>	66
<i>Tab. 12 Parametry realizovaného 3D tisku hodinkového pouzdra</i>	76
<i>Tab. 13 Technické parametry procesu pískování [57]</i>	78
<i>Tab. 14 Cenová rozvaha realizovaných hodinek</i>	90
<i>Tab. 15 Seznam měřicích zařízení</i>	92

SEZNAM PŘÍLOH

Interní přílohy

Příloha P I: Zpracovaná data z procesu testování funkčnosti zvolené konfigurace digitalizace a spolehlivosti zvolené vyhodnocovací metody vývojové desky Seed Studio XIAO nRF52840 Sense

Příloha P II: Vývojový diagram hlavního programu navrženého signalizačního zařízení

Příloha P III: Vývojové diagramy podprogramů hlavního programu navrženého signalizačního zařízení

Příloha P IV: Zpracovaná data z procesu testování spolehlivosti realizovaného zařízení

Externí přílohy (elektronické)

Příloha P V: Výkres horního krytu hodinek

Příloha P VI: Výkres dolního krytu hodinek

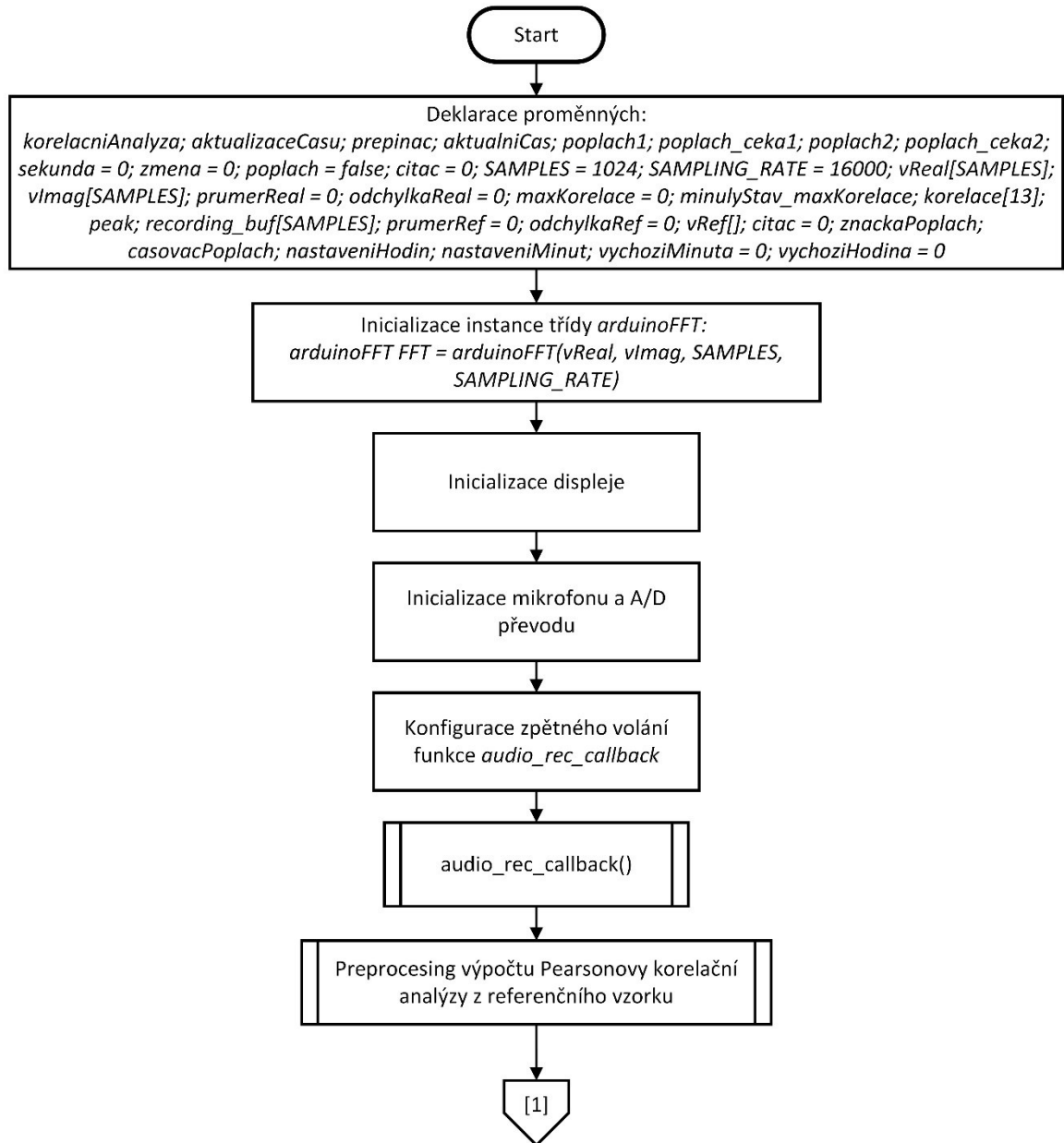
Příloha P VII: Finální program hodinek

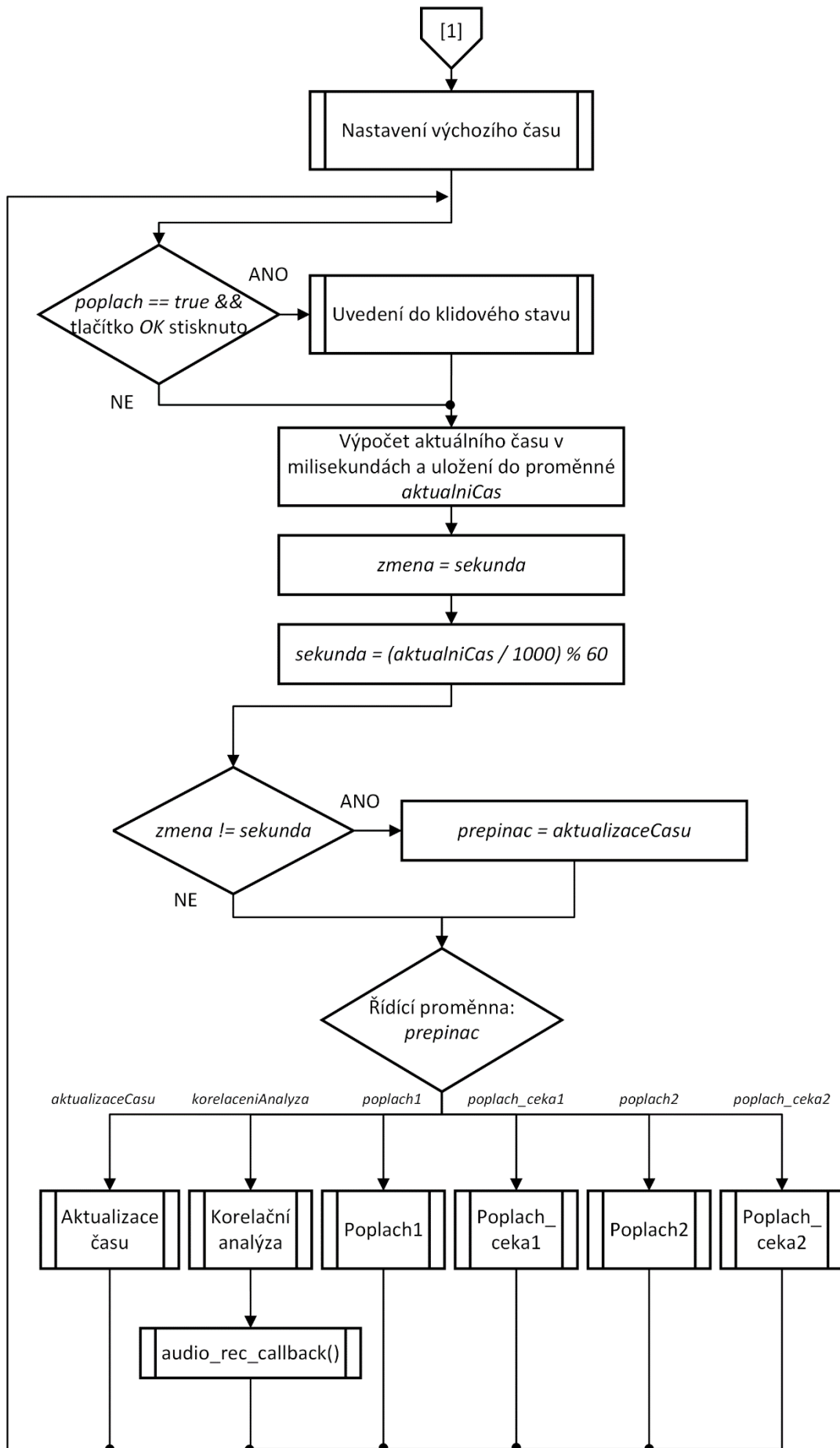
**PŘÍLOHA P I: ZPRACOVANÁ DATA Z PROCESU TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI ZVOLENÉ KONFIGURACE
DIGITALIZACE A SPOLEHLIVOSTI ZVOLENÉ VYHODNOCOVACÍ METODY VÝVOJOVÉ DESKY SEED
STUDIO XIAO NRF52840 SENSE**

Předmět korelace	Vzdálenost, d [m]	Úroveň hluku pozadí, $L_{p(h)}$ [dB]	Úroveň hluku sirény, $L_{p(s)}$ [dB]	Korelace bez posunu, $r [-] \pm s [-]$	korelace s posunem, $r_{pos} [-] \pm s [-]$
Referenční vzorky	1	35,0	95,5	0,8437 \pm 0,1352	0,9264 \pm 0,0494
Referenční vzorky	2	34,4	85,7	0,2174 \pm 0,0678	0,7950 \pm 0,0437
Hluk na chodbě bez simulace hluku	1	36,0	-	-0,0560 \pm 0,0078	-0,0404 \pm 0,0104
Siréna na chodbě bez simulace hluku	1	36,0	94,3	0,5618 \pm 0,1271	0,7660 \pm 0,0348
Simulace hluku na chodbě	1	62,0	-	0,0289 \pm 0,0304	0,0959 \pm 0,0637
Siréna na chodbě za simulace hluku	1	62,0	92,0	0,5537 \pm 0,1634	0,7785 \pm 0,1741
Simulace hluku na chodbě	1	72,0	-	0,0565 \pm 0,0272	0,1223 \pm 0,0345
Siréna na chodbě za simulace hluku	1	72,0	95,0	0,2566 \pm 0,0998	0,6515 \pm 0,0402
Simulace hluku na chodbě	1	84,0	-	0,0325 \pm 0,0177	0,0959 \pm 0,0297
Siréna na chodbě za simulace hluku	1	84,0	92,5	0,4162 \pm 0,1733	0,5941 \pm 0,0630
Siréna na chodbě bez simulace hluku	2	36,0	87,0	0,1712 \pm 0,1573	0,6391 \pm 0,0489
Siréna na chodbě za simulace hluku	2	64,5	84,5	0,1086 \pm 0,0317	0,6715 \pm 0,0574
Siréna na chodbě za simulace hluku	2	72,0	88,5	0,4451 \pm 0,1742	0,7947 \pm 0,0471
Siréna na chodbě za simulace hluku	2	84,0	89,0	0,5081 \pm 0,1261	0,5891 \pm 0,0828

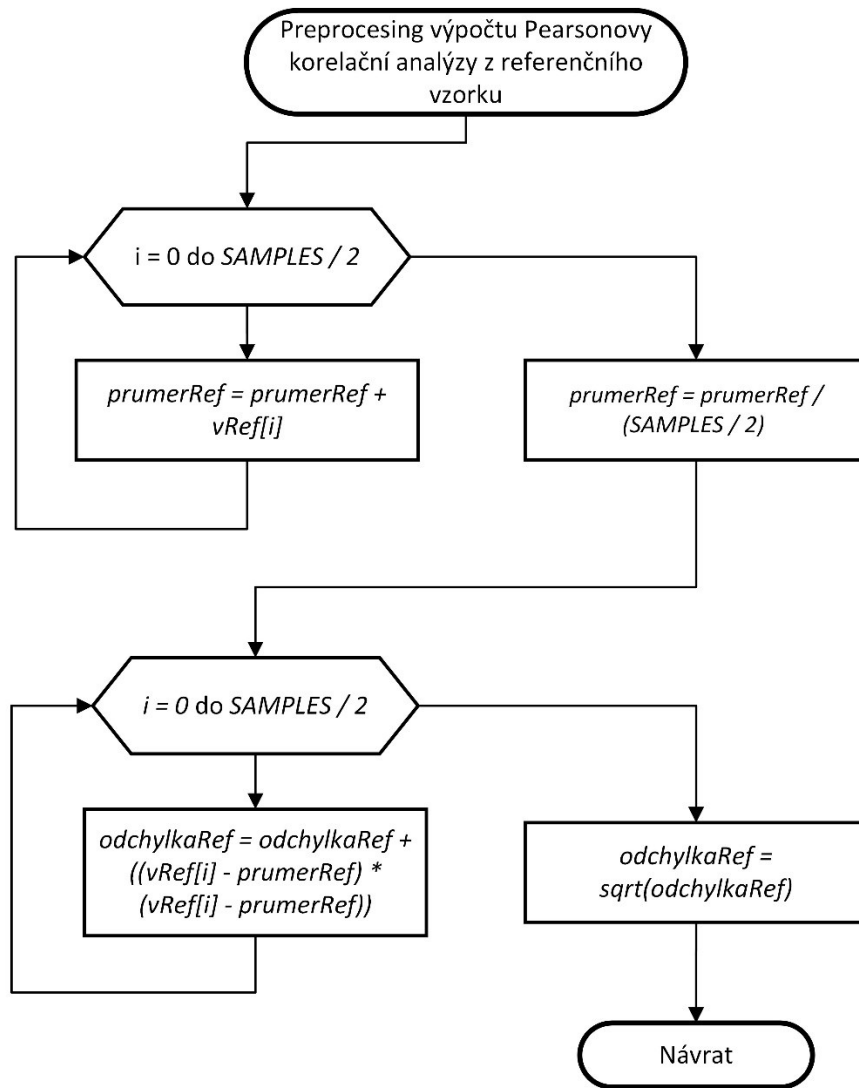
Předmět korelace	Vzdálenost, d [m]	Úroveň hluku pozadí, $L_{p(h)}$ [dB]	Úroveň hluku sirény, $L_{p(s)}$ [dB]	Korelace bez posunu, $r [-] \pm s [-]$	korelace s posunem, $r_{pos} [-] \pm s [-]$
Siréna na chodbě bez simulace hluku	4	36,0	82,6	0,1808 \pm 0,1161	0,7479 \pm 0,0230
Siréna na chodbě za simulace hluku	4	64,5	91,2	0,4436 \pm 0,1371	0,7773 \pm 0,0418
Siréna na chodbě za simulace hluku	4	72,0	89,5	0,2190 \pm 0,0915	0,7726 \pm 0,0510
Siréna na chodbě za simulace hluku	4	84,0	93,0	0,1572 \pm 0,0684	0,7239 \pm 0,0265
Siréna na chodbě bez simulace hluku	8	37,0	84,6	0,6863 \pm 0,0729	0,6860 \pm 0,0731
Siréna na chodbě za simulace hluku	8	63,0	81,2	0,5538 \pm 0,0945	0,6040 \pm 0,0329
Siréna na chodbě za simulace hluku	8	72,0	82,8	0,7914 \pm 0,0614	0,8369 \pm 0,0252
Siréna na chodbě za simulace hluku	8	82,5	86,0	0,3216 \pm 0,1338	0,5349 \pm 0,1081
Siréna na chodbě bez simulace hluku	12	36,0	78,0	0,7064 \pm 0,0951	0,8683 \pm 0,0190
Siréna na chodbě za simulace hluku	12	62,8	78,0	0,8964 \pm 0,0726	0,9252 \pm 0,0311
Siréna na chodbě za simulace hluku	12	72,0	83,5	0,6659 \pm 0,1415	0,8536 \pm 0,0310
Siréna na chodbě za simulace hluku	12	84,0	87,6	0,6877 \pm 0,0955	0,8147 \pm 0,0433
Siréna na chodbě bez simulace hluku	16	38,0	82,8	0,1157 \pm 0,0638	0,6356 \pm 0,0386
Siréna na chodbě za simulace hluku	16	62,0	82,9	0,8680 \pm 0,0200	0,8680 \pm 0,0200
Siréna na chodbě za simulace hluku	16	72,0	86,2	0,7873 \pm 0,0455	0,8333 \pm 0,0259
Siréna na chodbě za simulace hluku	16	82,0	86,4	0,8447 \pm 0,0458	0,8531 \pm 0,0327
Siréna na chodbě bez simulace hluku	32	36,0	81,0	0,3882 \pm 0,1441	0,8267 \pm 0,0520
Siréna na chodbě za simulace hluku	32	62,0	80,4	0,5069 \pm 0,1773	0,8308 \pm 0,0512
Siréna na chodbě za simulace hluku	32	72,5	83,4	0,4170 \pm 0,1117	0,7939 \pm 0,0435
Siréna na chodbě za simulace hluku	32	82,5	85,3	0,6357 \pm 0,0666	0,6472 \pm 0,0604

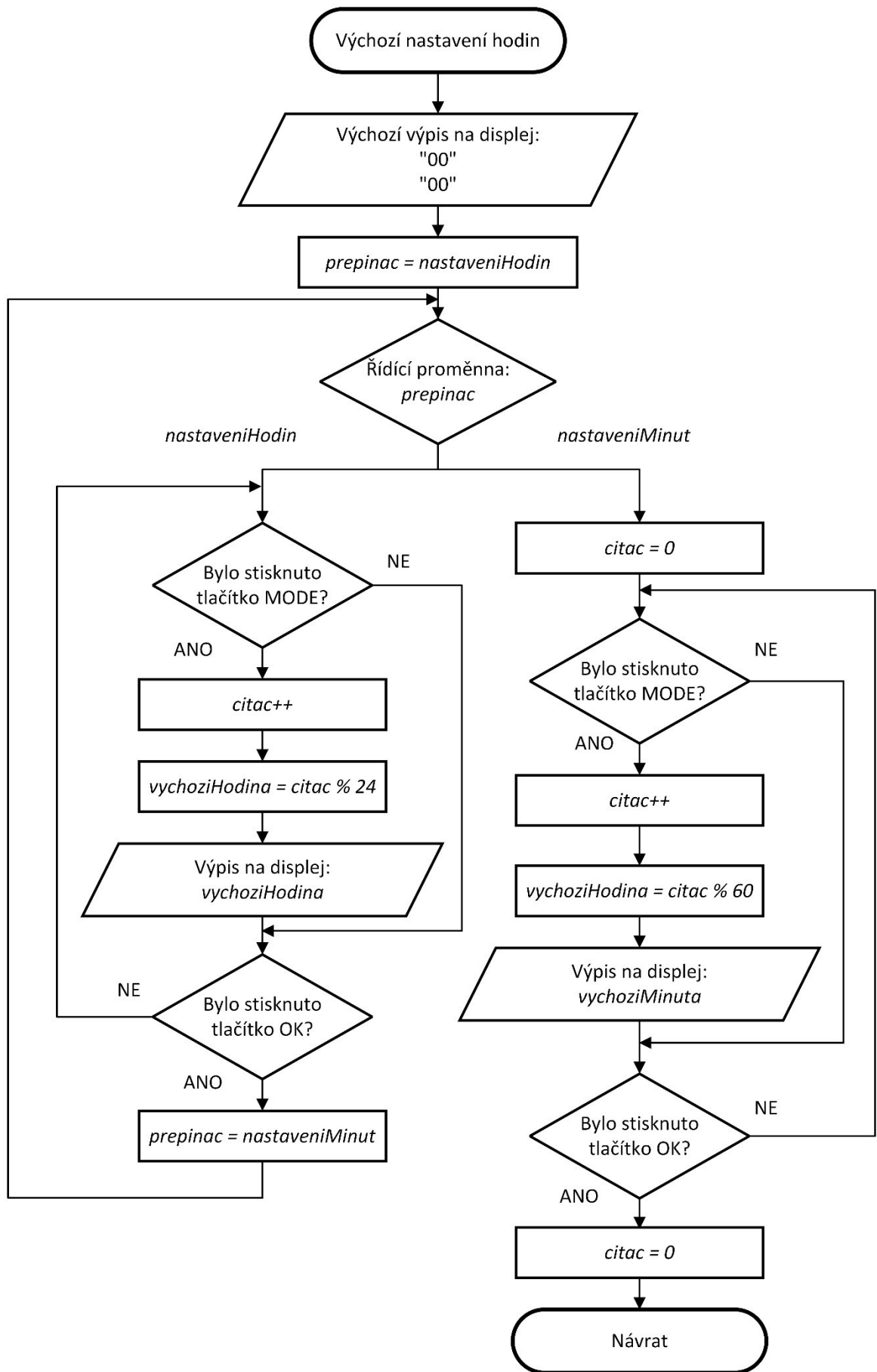
PŘÍLOHA P II: VÝVOJOVÝ DIAGRAM HLAVNÍHO PROGRAMU NAVRŽENÉHO SIGNALIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

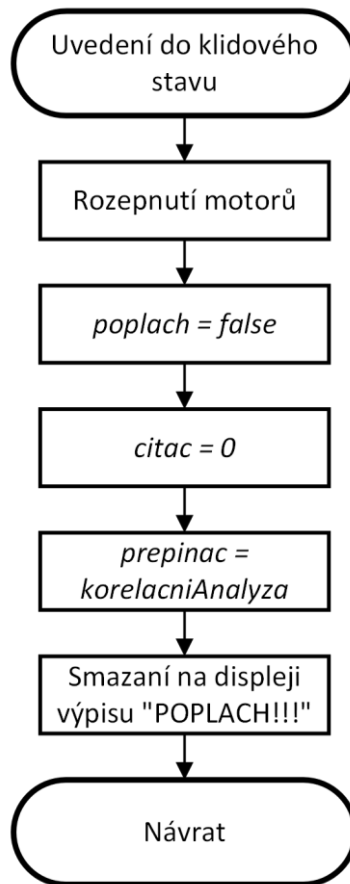


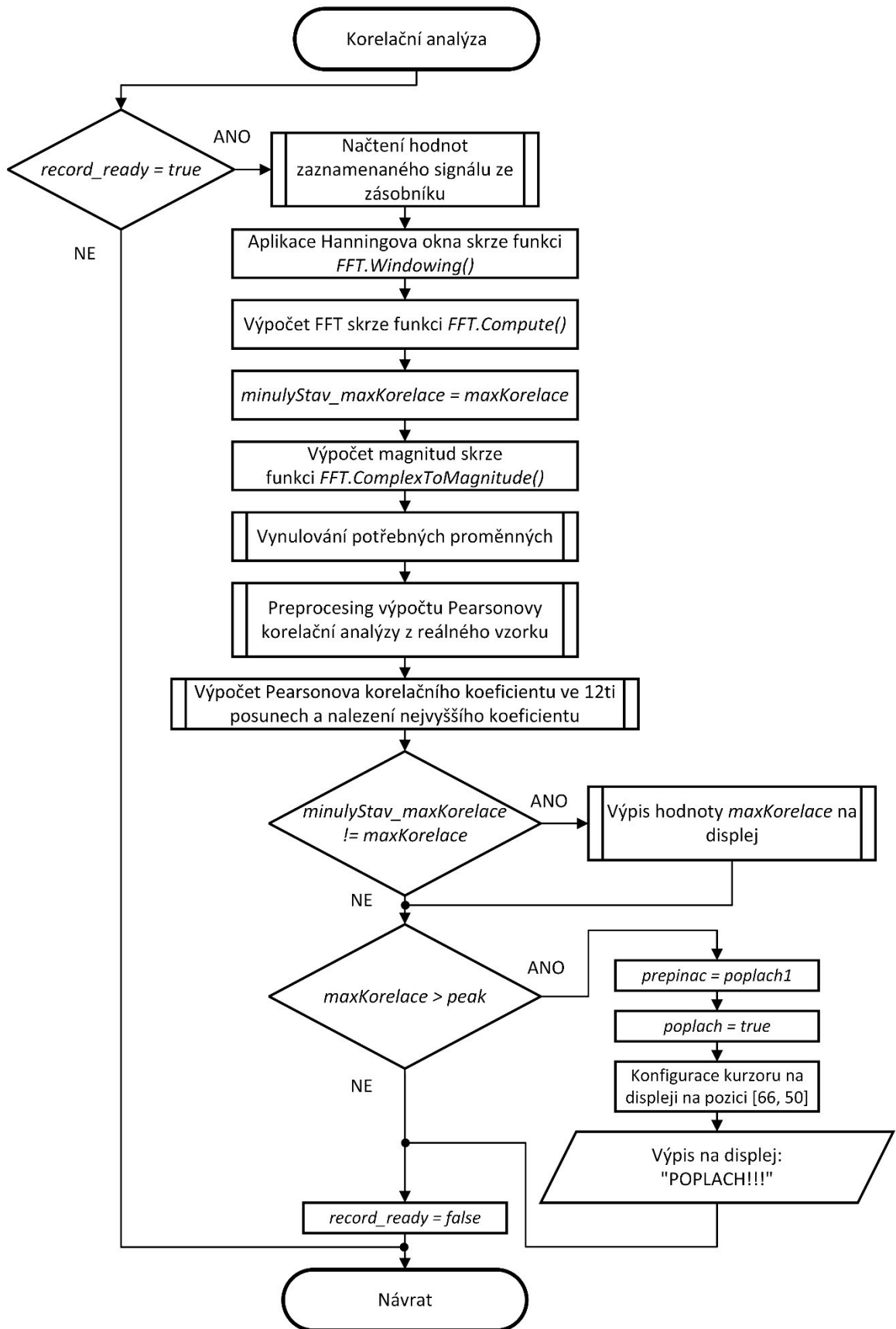


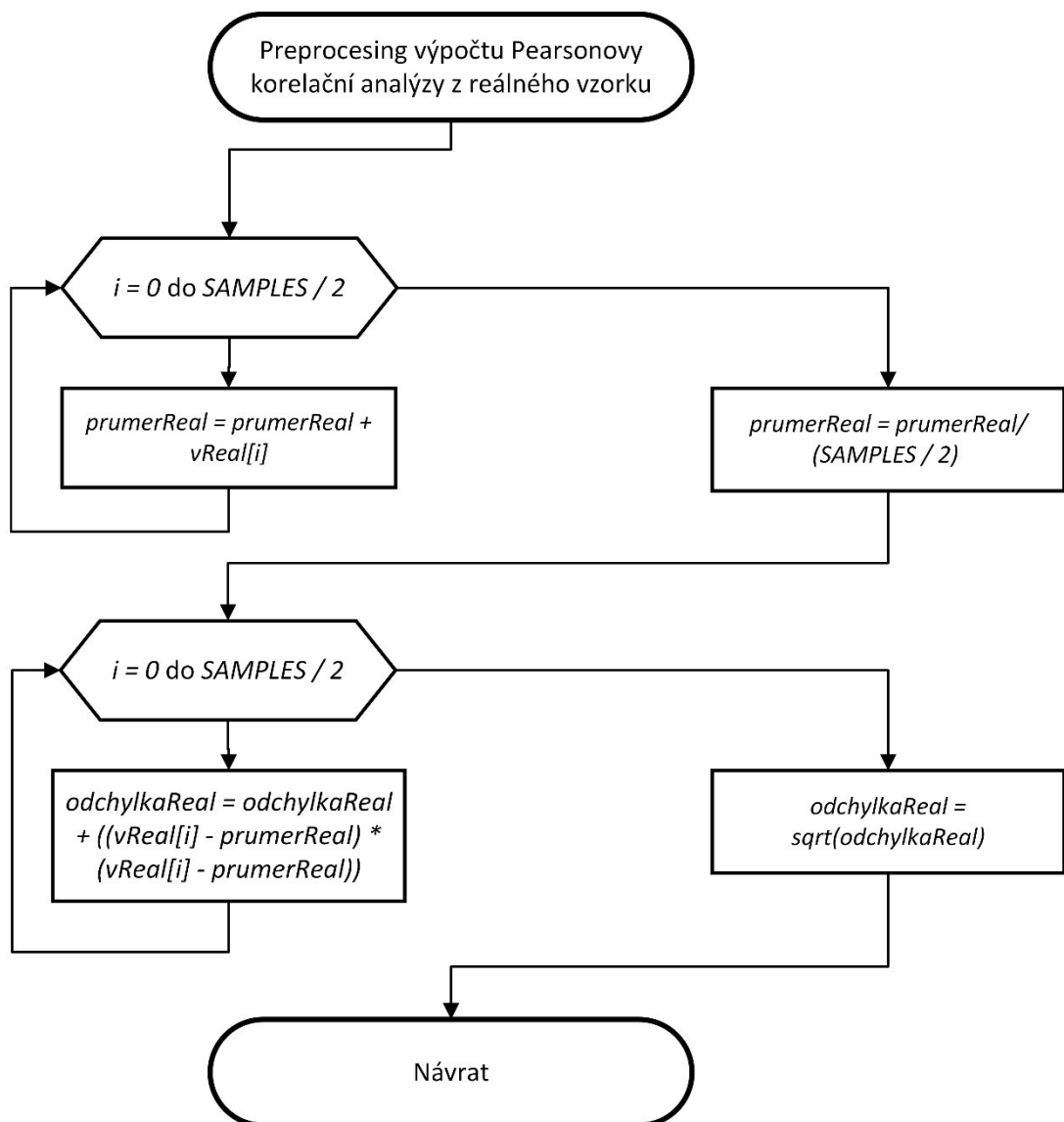
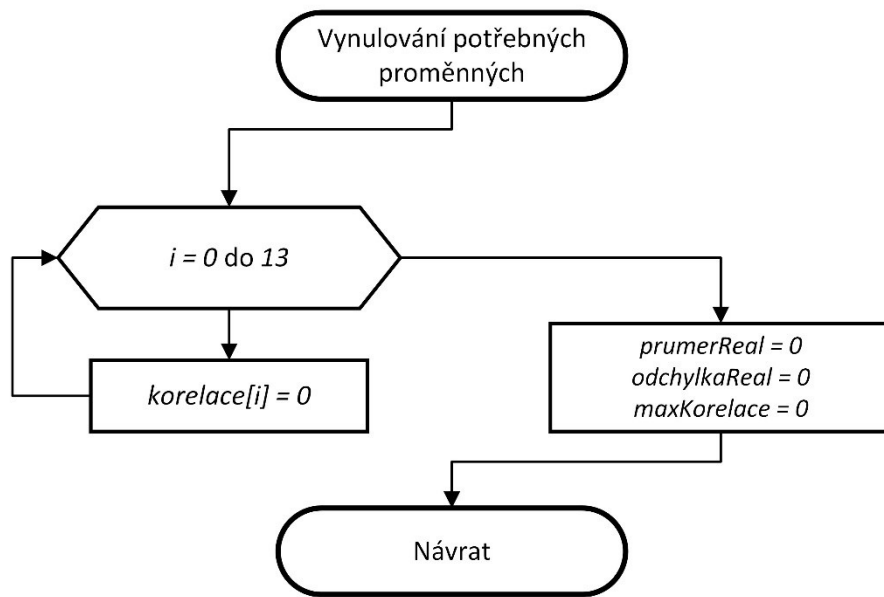
**PŘÍLOHA P III: VÝVOJOVÉ DIAGRAMY PODPROGRAMŮ
HLAVNÍHO PROGRAMU NAVRŽENÉHO SIGNALIZAČNÍHO
ZAŘÍZENÍ**

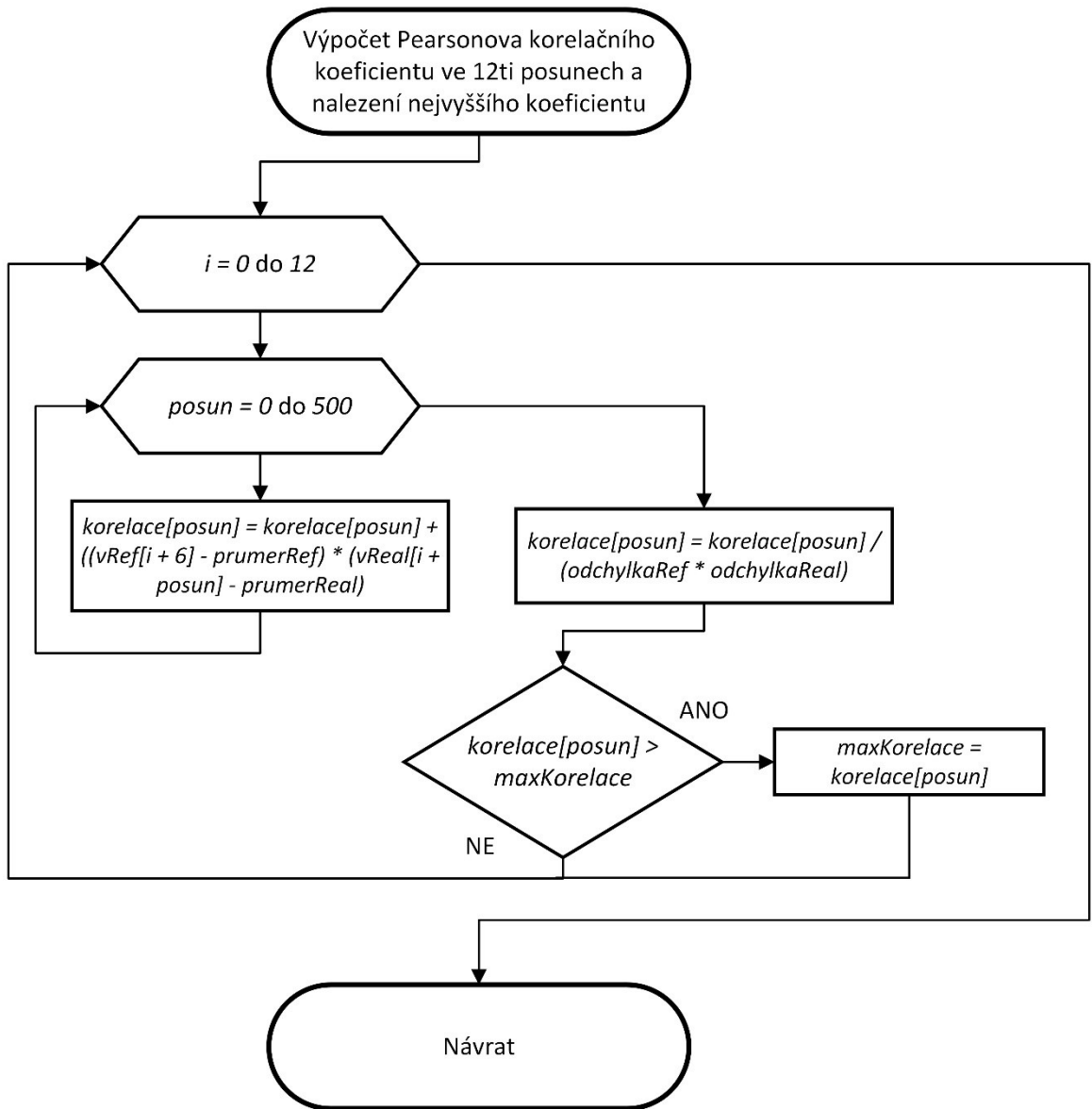


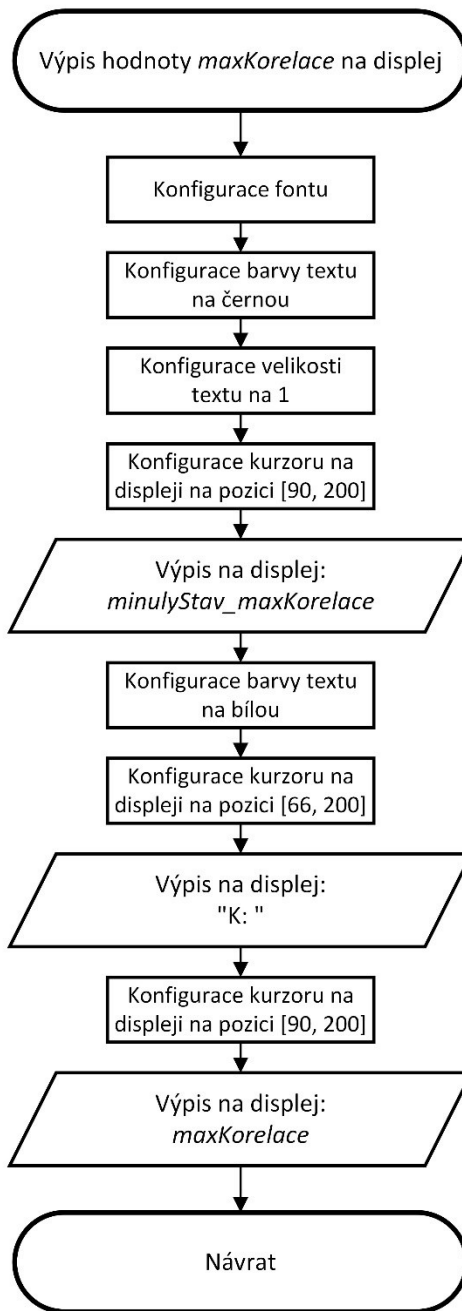


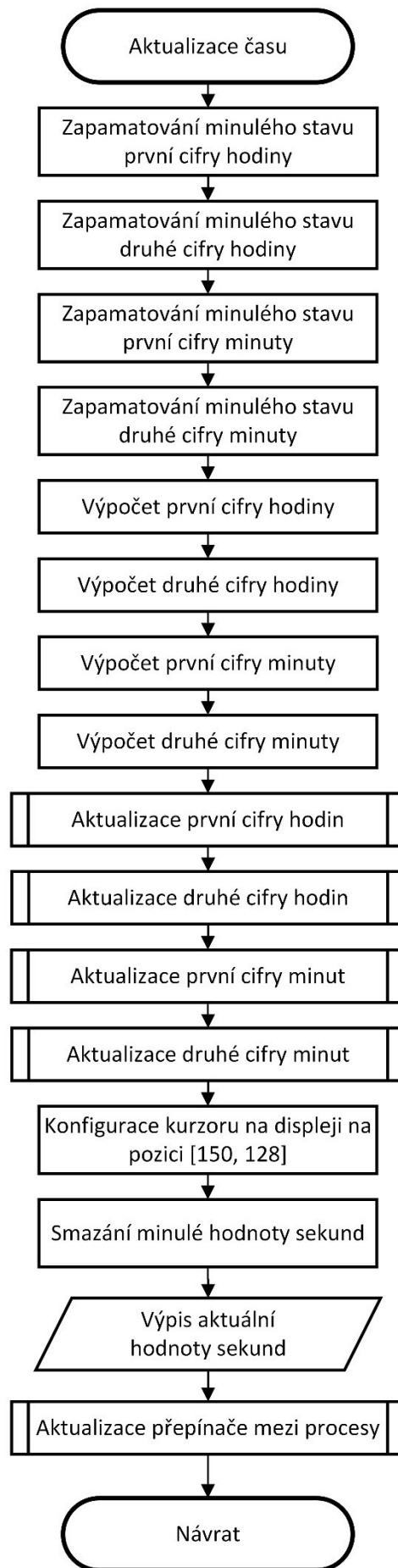


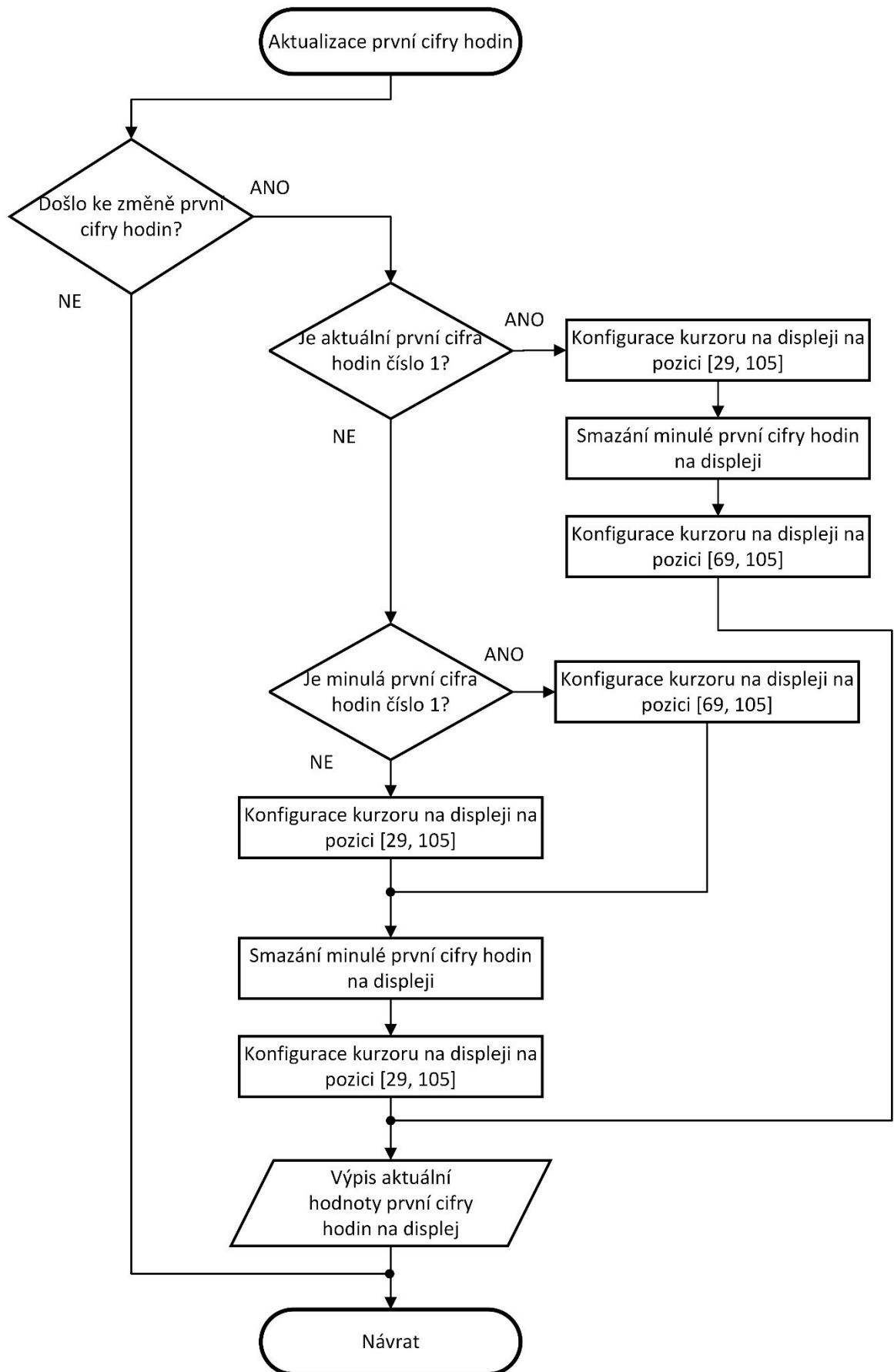


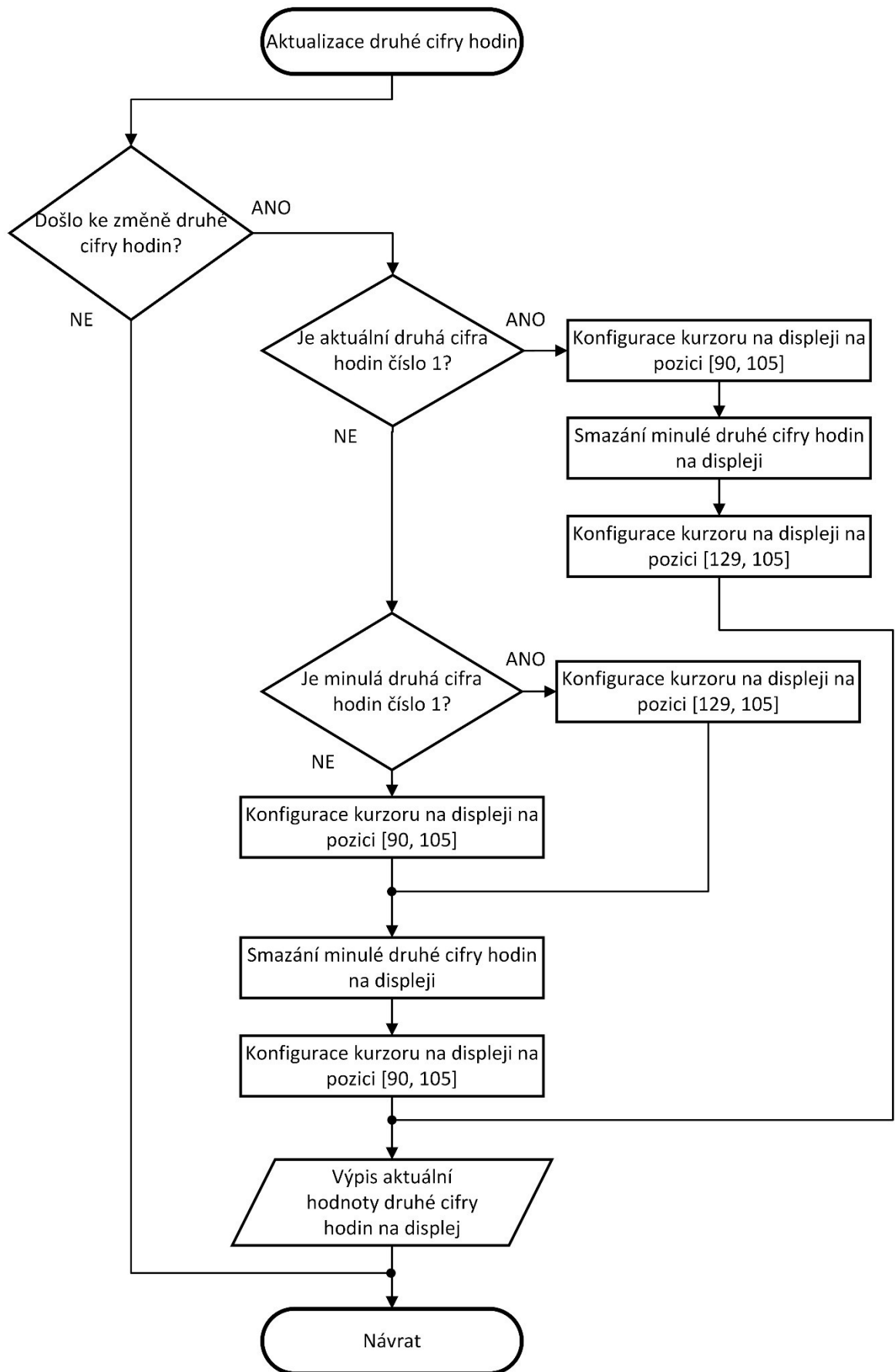


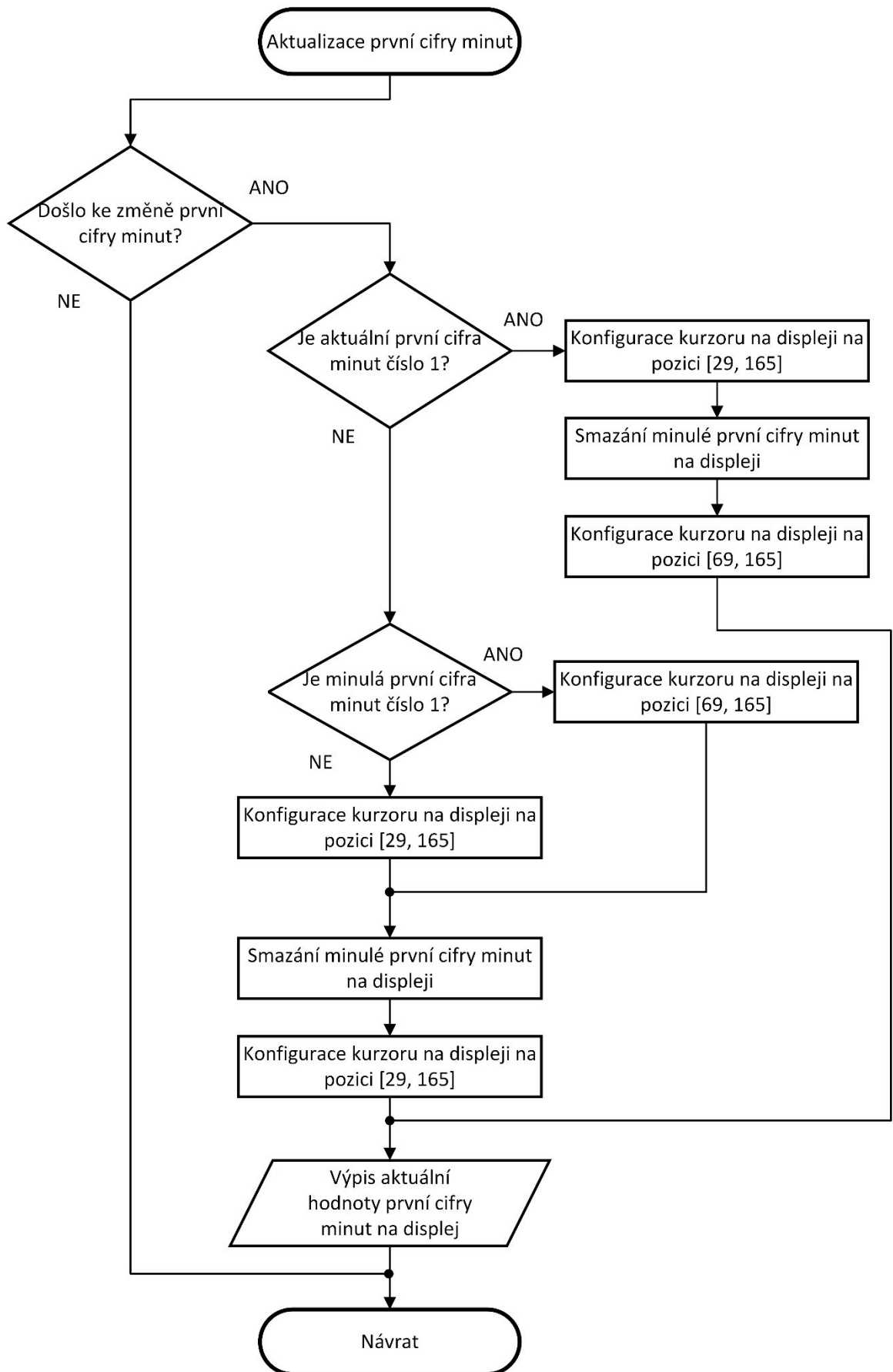


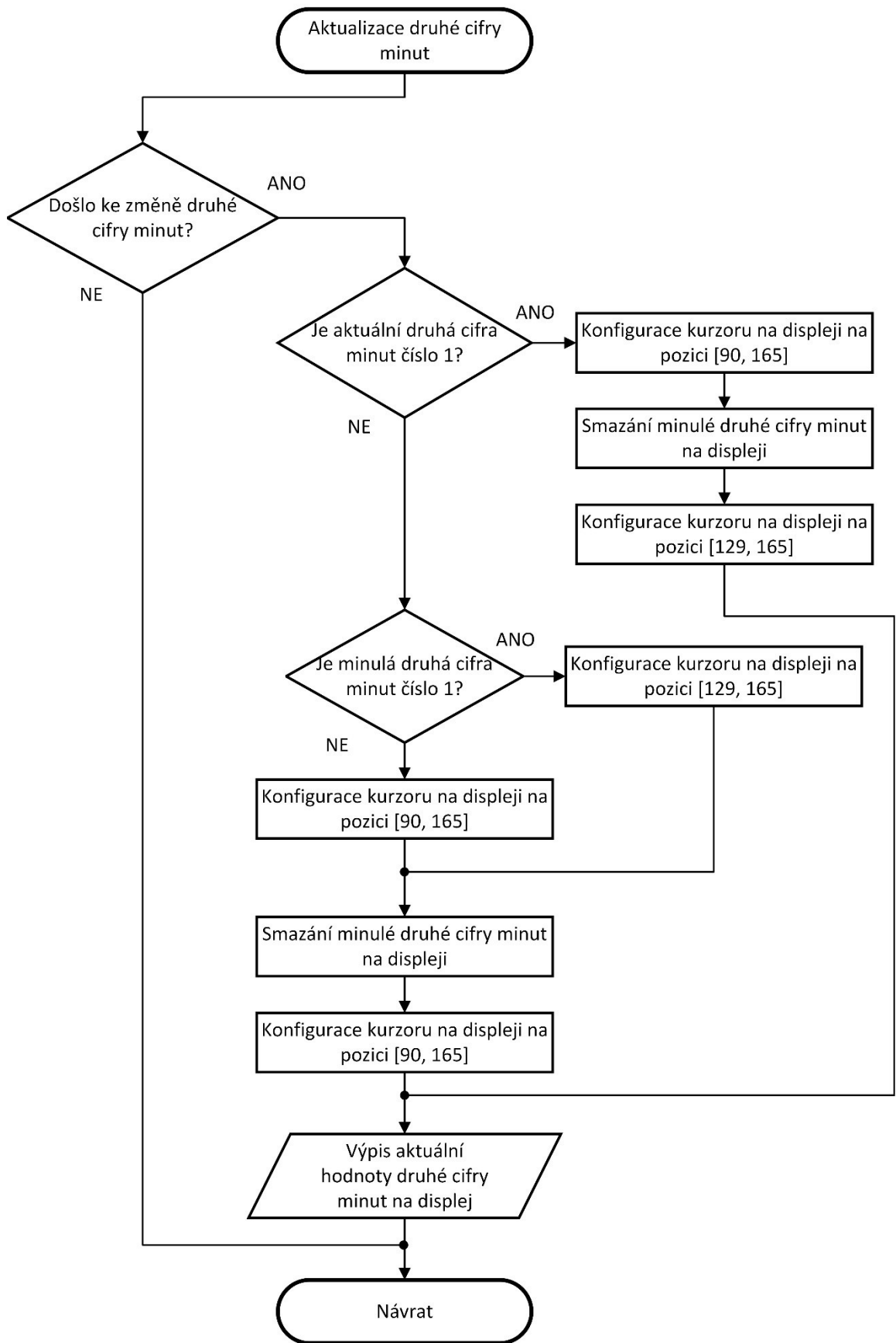


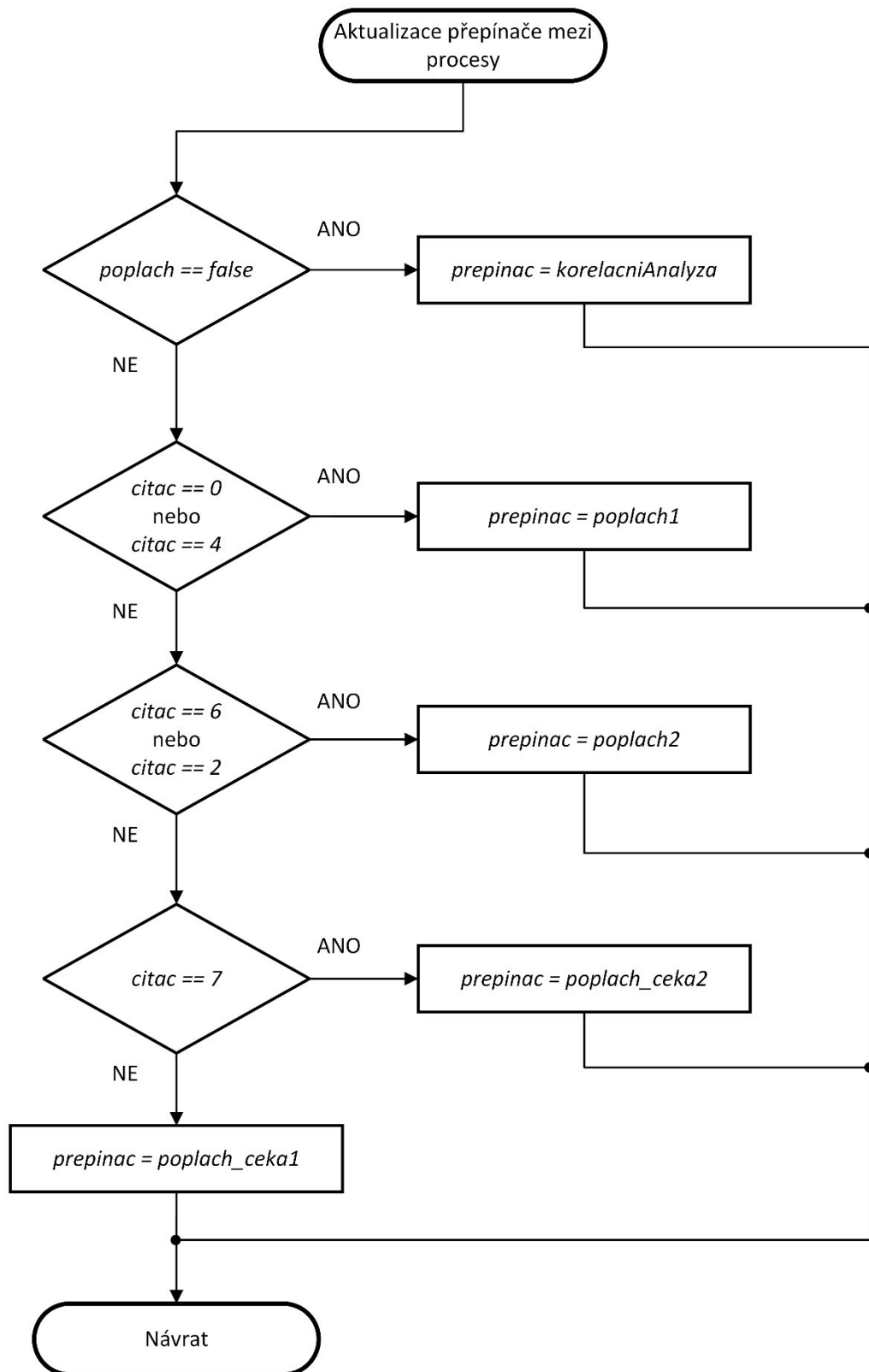


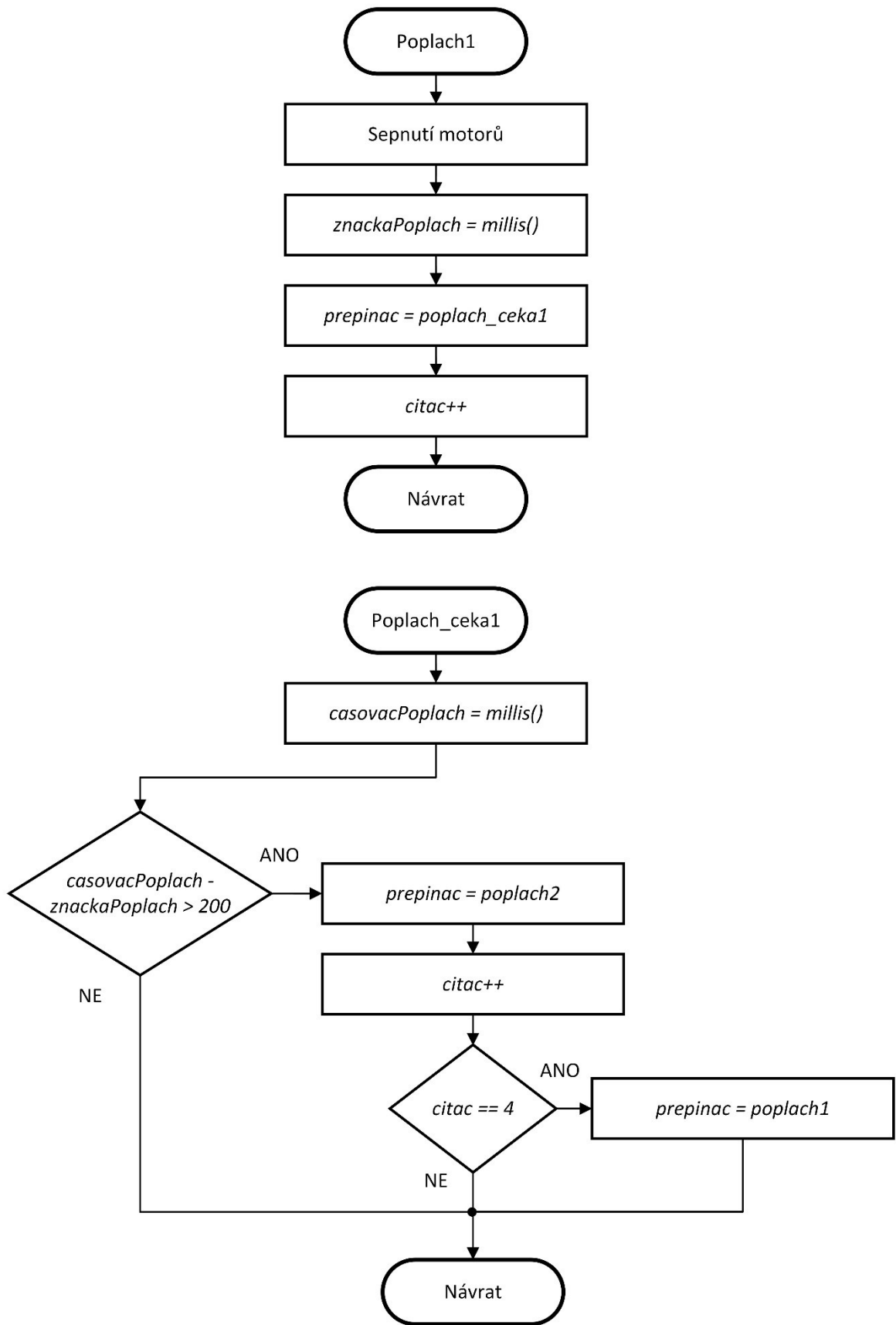


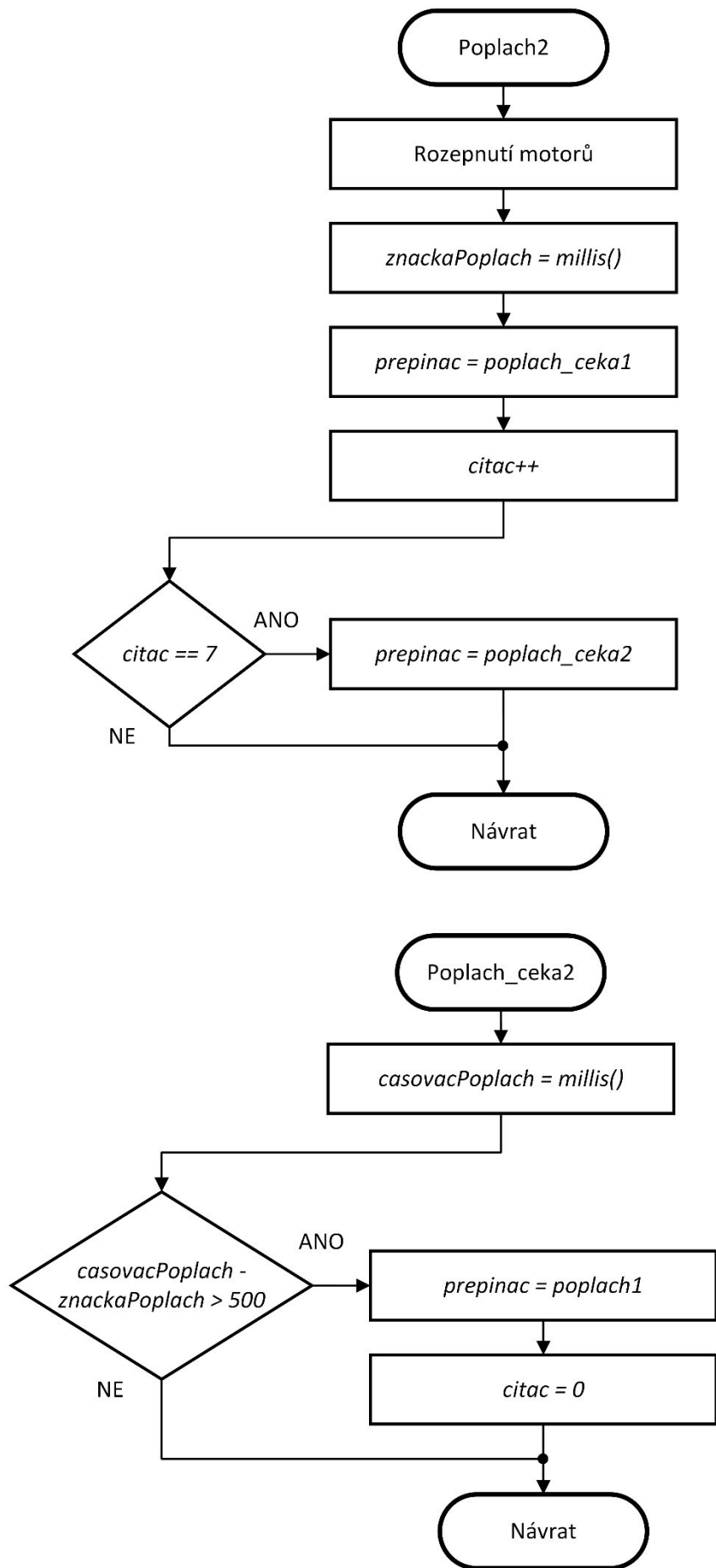


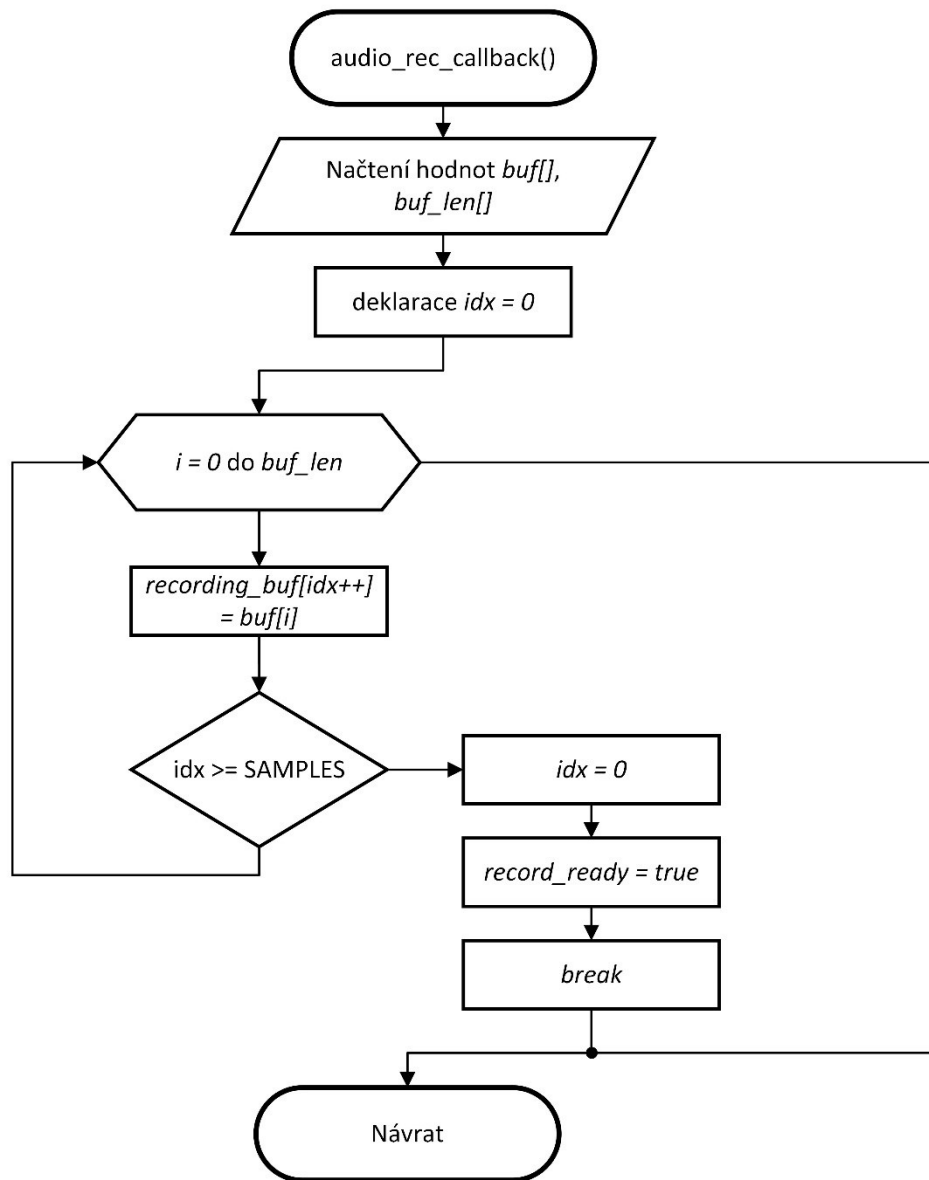












PŘÍLOHA P IV: ZPRACOVANÁ DATA Z PROCESU TESTOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI REALIZOVANÉHO ZARÍZENÍ

Číslo měření	Vzdálenost, d [m]	Hluk sirény, ($L_{p(s)} \pm s$) [dB]	Hluk pozadí, ($L_{p(h)} \pm s$) [dB]	Doba reakce prototypu, ($t_A \pm s$) [s]	Doba reakce konkurenčního systému, ($t_A \pm s$) [s]
1	8	92,53 \pm 1,18	53,49 \pm 0,48	1,358 \pm 0,295	1,566 \pm 0,365
2	8	92,53 \pm 1,18	61,30 \pm 0,50	1,406 \pm 0,262	1,917 \pm 0,452
3	8	92,53 \pm 1,18	72,93 \pm 0,74	1,382 \pm 0,148	bez odezvy
4	8	92,53 \pm 1,18	82,93 \pm 0,71	1,431 \pm 0,250	bez odezvy
5	16	82,85 \pm 1,39	53,78 \pm 0,86	1,457 \pm 0,223	1,850 \pm 0,516
6	16	82,85 \pm 1,39	62,43 \pm 1,09	1,572 \pm 0,728	2,935 \pm 0,606
7	16	82,85 \pm 1,39	72,24 \pm 1,21	1,591 \pm 0,508	bez odezvy
8	16	82,85 \pm 1,39	83,93 \pm 0,89	1,849 \pm 0,717	bez odezvy
9	32	87,19 \pm 0,40	52,57 \pm 0,54	1,440 \pm 0,266	2,126 \pm 0,400
10	32	87,19 \pm 0,40	62,59 \pm 1,03	1,548 \pm 0,190	2,504 \pm 0,658
11	32	87,19 \pm 0,40	71,23 \pm 0,86	2,160 \pm 0,912	bez odezvy
12	32	87,19 \pm 0,40	82,13 \pm 0,55	4,830 \pm 3,378	bez odezvy