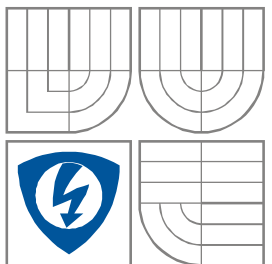


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

INDEX SROZUMITELNOSTI ŘEČI

SPEECH INTELLIGIBILITY INDEX

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

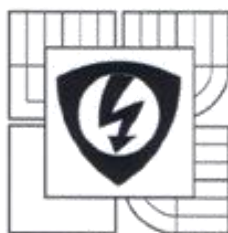
Pavel Kostelník

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.

BRNO, 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Pavel Kostelník
Ročník: 3

ID: 136545
Akademický rok: 2012/13

NÁZEV TÉMATU:

Index srozumitelnosti řeči

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s metodami na objektivní určování kvality řečových signálů. Popište metodu pro měření a vyhodnocení indexu srozumitelnosti řeči podle normy ANSI S3.5-1997 American National Standard Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index (SII). Popište způsob určování artikulačního indexu (AI). Samostatně pořídte nahrávky řeči v různé kvalitě. Vytvořte algoritmus metody SII v jazyce C/C++ a implementujte jeho kód do programu VW Akustik, používaného ve firmě Škoda Auto. Porovnejte výsledky s artikulačním indexem a zdůvodněte případné rozdíly.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] JEKOSCH, U. Voice and Speech Quality Perception. Heidelberg: Springer, 2005.
- [2] QUACKENBUSH, S., BARNWELL, T., CLEMENTS, M. Objective Measures of Speech Quality. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1988.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Petr Pelant, Škoda Auto a.s.


prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce pojednává o určování srozumitelnosti řeči v prostředí s hlukem. K tomuto účelu jsou podrobně popsány dvě metody - artikulační index a index srozumitelnosti řeči podle příslušných norem. Důležitou součástí práce je pojednání o měření akustického tlaku k výpočtu spektra hladiny akustického tlaku. Poslední část této práce obsahuje nahrávky hlasů osmi osob a hluku jedoucího automobilu pro různé situace a následné zpracování a vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

kvalita řeči, srozumitelnost, artikulační index, index srozumitelnosti řeči, měření akustického tlaku, třetinooktávová pásma

ABSTRACT

This bachelor's thesis presents evaluating of speech intelligibility in environment with noise. There are described two methods to reach this purpose – articulation index and speech intelligibility index, according to relevant standards. Part of this thesis deals with measurement of sound pressure to calculation sound pressure spectrum level. The last part of this work includes voice recordings of eight people and noise recordings of moving car in interior for different situations and their processing and evaluation.

KEYWORDS

voice quality, intelligibility, articulation index, speech intelligibility index, sound pressure measurements, one-third octave band

KOSTELNÍK, P. *Index srozumitelnosti řeči*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2013. 54 s., 3 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: prof. Ing. Milan Sigmund, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou semestrální práci na téma Index srozumitelnosti řeči jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 28. 5. 2013

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Milanu Sigmundovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc. Dále děkuji Ing. Petru Pelantovi a Mgr. Róbertu Jurčovi, Ph.D. ze společnosti Škoda Auto a. s. za poskytnuté materiály, konzultace a připomínky k této práci, a všem osobám za umožnění pořízení nahrávek jejich hlasu.

V Brně dne 28. 5. 2013

.....
(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	x
Úvod	1
1 Kvalita řeči a řečových signálů	2
1.1 Foniatrie	2
1.2 Lingvistika	2
1.3 Parametry řečového signálu	2
1.4 Srozumitelnost řeči	3
2 Hodnocení srozumitelnosti řeči	4
2.1 Artikulační index	4
2.1.1 Základní údaje	4
2.1.2 Výpočet z naměřeného spektra hluku a řeči	6
2.1.3 Výpočet z naměřeného spektra hluku	6
2.1.4 Otevřený artikulační index	8
2.2 Index srozumitelnosti řeči	9
2.2.1 Základní údaje	9
2.2.2 Odvození vstupních hodnot	10
2.2.3 Výpočet indexu srozumitelnosti řeči	11
2.2.4 Interpretace indexu srozumitelnosti řeči	13
3 Měření řeči a hluku	15
3.1 Měření akustických signálů	15
3.1.1 Definice základních pojmů	15
3.1.2 Nahrávací řetězec	15
3.1.3 Kalibrace nahrávacího řetězce	17
3.2 Zpracování naměřeného signálu	18
3.2.1 Zpracování naměřeného signálu v Matlabu	19
3.3 Výsledky měření	20
3.3.1 Měření řeči	21

3.3.2	Měření hluku.....	26
4	Vyhodnocování indexu srozumitelnosti řeči	31
4.1	Program pro výpočet SII v jazyce C	31
4.2	Průběhy SII ustálených rychlostí z nahrávaných automobilů.....	33
4.3	Průběhy SII z rozjezdů automobilů Škoda	39
4.4	Vyhodnocení rozdílů mezi AI a SII	44
5	Závěr	49
	Literatura	51
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	53
	Seznam příloh	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Porovnání spekter řeči u AI [6], [17].....	5
Obr. 2.2 Váhovací filtr A (modře) a křivky stejné slyšitelnosti [11].....	7
Obr. 2.3 Oblast řeči podle normy ANSI S3.5-1969, váhovaná filtrem A [9].....	8
Obr. 2.4 Srovnání subjektivních poslechových testů z SII [10]	13
Obr. 3.1 Použitý nahrávací řetězec	15
Obr. 3.2 Modulová frekvenční charakteristika mikrofону, převzato z [12]	16
Obr. 3.3 Modulová kmitočtová charakteristika předzesilovače v používaném frekvenčním rozsahu (simulováno v programu PSpice).....	17
Obr. 3.4 Kalibrátor Brüel & Kjær typ 4231 [19]	18
Obr. 3.5 Hanningovo okno	19
Obr. 3.6 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 1 – žena 18 let.....	21
Obr. 3.7 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 2 – žena 21 let.....	22
Obr. 3.8 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 3 – žena 43 let.....	22
Obr. 3.9 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 4 – žena 50 let.....	23
Obr. 3.10 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 5 – muž 21 let	23
Obr. 3.11 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 6 – muž 21 let	24
Obr. 3.12 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 7 – muž 48 let	24
Obr. 3.13 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 8 – muž 50 let	25
Obr. 3.14 Porovnání průměrného spektra řeči osob č. 1 - 8 s normou k SII	25
Obr. 3.15 Spektrum hluku podle normy k SII pro různé rychlosti u auta 1, pozice mikrofónu vpředu vpravo	27
Obr. 3.16 Spektrum hluku podle normy k SII pro různé rychlosti u auta 1, pozice mikrofónu vzadu vpravo	28
Obr. 3.17 Spektrum hluku podle normy k SII pro různé rychlosti u auta 2, pozice mikrofónu vpředu vpravo	28
Obr. 3.18 Spektrum hluku podle normy k SII pro různé rychlosti u auta 2, pozice mikrofónu vzadu vpravo	29
Obr. 3.19 Test opakovatelnosti – srovnání spekter dvou nahrávek pořízených při stejných podmínkách s odstupem 30 minut	29
Obr. 3.20 Naměřené spektrum hluku auta 1, 50 km/h, pozice vpředu	30
Obr. 3.21 Obdobu Obr. 3.20 s logaritmickými osami.....	30
Obr. 4.1 Závislost srozumitelnosti řeči z různých metod na rychlosti pro auto 1 a poloze vpředu vpravo	34

Obr. 4.2 Závislost srozumitelnosti řeči z různých metod na rychlosti pro auto 1 a poloze vzadu vpravo	34
Obr. 4.3 Závislost srozumitelnosti řeči z různých metod na rychlosti pro auto 2 a poloze vpředu vpravo	35
Obr. 4.4 Závislost srozumitelnosti řeči z různých metod na rychlosti pro auto 2 a poloze vzadu vpravo	35
Obr. 4.5 Porovnání polohy vpředu a vzadu v závislosti na rychlosti u auta 1.....	36
Obr. 4.6 Porovnání polohy vpředu a vzadu v závislosti na rychlosti u auta 2.....	36
Obr. 4.7 Porovnání obou měřených aut z hlediska SII v závislosti na rychlosti, poloha vpředu vpravo	37
Obr. 4.8 Porovnání obou měřených aut z hlediska SII v závislosti na rychlosti, poloha vpředu vpravo	37
Obr. 4.9 Průběh AI pro osoby s nejlepším a nejhorším spektrem řeči podle postupu v kapitole 3.3.1 pro různé rychlosti auta č. 1, pozice vpředu	38
Obr. 4.10 Průběh SII pro osoby s nejlepším a nejhorším spektrem řeči podle postupu v kapitole 3.3.1 pro různé rychlosti auta č. 1, pozice vpředu	38
Obr. 4.11 Pomalý rozjezd, poloha vpředu vlevo, Auto 3, převzatá data	39
Obr. 4.12 Pomalý rozjezd, poloha vpředu vpravo, Auto 3, převzatá data	40
Obr. 4.13 Pomalý rozjezd, srovnání různých poloh, Auto 3, převzatá data	40
Obr. 4.14 Rychlý rozjezd, poloha vpředu vlevo, Auto 3, převzatá data.....	41
Obr. 4.15 Rychlý rozjezd, poloha vpředu vlevo, Auto 3, převzatá data.....	41
Obr. 4.16 Rychlý rozjezd, srovnání různých poloh, Auto 3, převzatá data	42
Obr. 4.17 Srovnání pomalého a rychlého rozjezdu při poloze vpředu vlevo, Auto 3, převzatá data	42
Obr. 4.18 Rychlý rozjezd, poloha vpředu vlevo, Auto 4, převzatá data.....	43
Obr. 4.19 SII při různých akustických opatřeních, Auto 4, převzatá data.....	43
Obr. 4.20 AI při různých akustických opatřeních, Auto 4, převzatá data	44
Obr. 4.21 Pomalý rozjezd, Auto 3, pozice vpředu vpravo.....	45
Obr. 4.22 Porovnání jednotlivých metod na pomalém rozjezdu při poloze vpředu vlevo u Auta 3, průběhy byly umístěny kolem osy x	45
Obr. 4.23 Porovnání SII _{zvys} a SII _{hlas} na pomalém rozjezdu při poloze vpředu vlevo u Auta 3, průběhy byly umístěny kolem osy x	46
Obr. 4.24 Spektrogram hluku při pomalém rozjezdu, poloha vpředu vlevo, Auto 3, osa z značena pouze relativně z důvodu utajení dat	47
Obr. 4.25 Rychlý rozjezd, poloha vpředu vlevo, Auto 4, převzatá data.....	47
Obr. 4.26 Porovnání jednotlivých metod na rychlém rozjezdu Auta 4 při poloze vpředu vlevo, průběhy byly umístěny kolem osy x	48

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Definice třetinooktávových pásem a váhovacího faktoru [9].....	5
Tab. 2.2 Oblast řeči a váhovací filtr [9].....	7
Tab. 2.3 Tabulka možných frekvenčních pásem [7].....	9
Tab. 2.4 Tabulka potřebných hodnot pro výpočet SII pro třetinooktávová pásma [7]...	10
Tab. 3.1 Srovnání naměřených hodnot	26
Tab. 3.2 Tabulka otáček obou měřených aut k odpovídajícím rychlostem	27

ÚVOD

Cílem této práce je seznámení se s metodami na objektivní určování kvality řečových signálů, zvláště pak s metodami na objektivní hodnocení srozumitelnosti řeči v závislosti na prostředí. K těmto metodám, které budou v této práci podrobně probrány, patří artikulační index a index srozumitelnosti řeči. Tato práce vznikla ve spolupráci s firmou Škoda Auto a. s. za účelem sepsání postupu výpočtu indexu srozumitelnosti řeči a jeho implementace do firemního programu pro vyhodnocování akustiky vozů.

Následující text je členěn do čtyř kapitol. První část práce obsahuje krátký přehled parametrů hlasu a řeči v souvislosti s různými vědními obory.

Následující část obsahuje pojednání o artikulačním indexu a indexu srozumitelnosti řeči podle normy ANSI. Součástí kapitoly o artikulačním indexu je krátký pohled do historie na vznik této metody, podrobný popis výpočtu včetně potřebných hodnot a seznámení s otevřeným artikulačním indexem. V rámci popisu metody indexu srozumitelnosti řeči je popsáno odvození vstupních hodnot, podrobný postup výpočtu a následné srovnání se subjektivními poslechovými testy podle dané normy.

Třetí část zahrnuje praktickou část práce, v rámci které bylo provedeno měření řeči u několika osob a hluku jedoucích automobilů při různých podmínkách. Dále je ukázán postup měření akustického signálu a jeho následné zpracování v programu Matlab, aby bylo možné tyto výsledky použít pro výpočet srozumitelnosti dle zmíněných metod.

Poslední kapitola obsahuje zdrojový kód k výpočtu indexu srozumitelnosti řeči v jazyce C a dále vyhodnocování a porovnání indexu srozumitelnosti řeči z naměřených hodnot z předešlé části a také z dat společnosti Škoda Auto a. s.

Na konci práce jsou uvedeny odkazy, kde je možno se s uvedenými pojmy seznámit podrobněji.

1 KVALITA ŘEČI A ŘEČOVÝCH SIGNÁLŮ

Pojem kvalita řeči zahrnuje velké množství vlastností, které mají vliv na její vnímání. Tyto vlastnosti mohou být ovlivněny mnohými faktory, které doprovází vznik a přenos řeči.

1.1 Foniatrie

Vědním oborem, zabývajícím se nejen lidským hlasem, je foniatrie [1]. Samotný lidský hlas je možno popsat mnoha parametry.

- Kvantitativní parametry hlasu
 - Intenzita hlasu
 - Výška hlasu
 - Fonační doba
- Kvalitativní parametry hlasu
 - Čistota hlasu – kvalita hlasu
 - Znělost hlasu
 - Hlasový rozsah
- Estetické parametry hlasu
 - Barva hlasu
 - Hlasová technika

K objektivnímu testování některých parametrů je možno použít například spektrogram hlasu nebo aero-dynamickou analýzu [2].

1.2 Lingvistika

Lingvistika je věda zkoumající přirozený jazyk [3]. Je možné ji rozdělit na mnoho oblastí. Z hlediska kvality řeči a její porozumění jsou podstatné následující části.

- lexikologie – slovní zásoba a význam slov
- fonetika – akustická stránka jazyka
- fonologie – zvukové segmenty - fonémy
- sémantika – význam jazykových výrazů

1.3 Parametry řečového signálu

Řečový signál je akustickým signálem a obsahuje velké množství informací. Obsahuje mimo jiné sdělení, které by bylo možné zapsat písmem. Jeho kvalita není definována pouze pomocí parametrů z oborů z předchozích kapitol, ale i vlivem prostředí, kde se řeč šíří, případně přenosovým kanálem. Řečový signál bývá nejčastěji ovlivněn následujícími parametry.

- šum
- ozvěna
- zpoždění
- zkreslení
- útlum

Existují metody, které si kladou za cíl subjektivně nebo objektivně posoudit kvalitu řečového signálu. Subjektivní metody jsou založeny na poslechových testech s různým vyhodnocováním. Objektivní metody mohou být založeny například na poměru signál šum, případně mohou vycházet z frekvenční oblasti.

- Subjektivní hodnocení kvality řečového signálu [4]
 - Metoda absolutního ohodnocení - ACR
 - Metoda detekovatelnosti odezvy (Quantal-Response Detectability Method)
 - Metoda ohodnocení degradace – DCR
 - Metoda ohodnocení rozdílů – CCR
- Objektivní hodnocení kvality řečového signálu [5]
 - Metoda PESQ
 - Metoda založená na odhadu SNR v časové a frekvenční oblasti
 - Metoda LLR
 - Kepstrální vzdálenost – CD

1.4 Srozumitelnost řeči

Nejvýraznější vlivy můžeme sloučit do jednoho pojmu popisující kvalitu řečového signálu, nazvaného srozumitelnost. Tento pojem popisuje čistotu a věrnost řečového signálu. Srozumitelnost můžeme také popsat jako množství informace, kterou je možno z řečového signálu získat. V procentuálním vyjádření je srozumitelnost definována jako poměr počtu rozeznávaných slov k počtu vyslovených slov.

Jak již bylo zmíněno, na srozumitelnost řeči má vliv velké množství faktorů, zvláště v přenosovém kanálu. Z tohoto důvodu se s pojmem srozumitelnost operuje zvláště v objektivních metodách na určení kvality přenosových cest, kde se parametry hlasu neuvažují. K určení srozumitelnosti je možno využít některé z těchto metod:

- Artikulační index (AI - Articulation Index) [6]
- Index srozumitelnosti řeči (SII – Speech intelligibility index) [7]
- Index přenosu řeči (STI – Speech transmission Index)
- Rychlý index přenosu řeči (RASTI – Rapid speech transmission Index) [8]

Tato práce se bude zabývat artikulačním indexem a hlavně indexem srozumitelnosti řeči, které jsou podrobně rozebrány v kapitole 2.

Metoda STI a RASTI vychází z měření přenosové funkce v daném prostředí. Pro měření je proto třeba použít vysílač a přijímač, kde vysílač vysílá signál simulující lidskou řeč. Výhoda těchto metod spočívá v uvažování odrazů v měřeném prostředí, což vyplývá z vyhodnocení SNR a doby dozvuku. Nevýhodou je složitost, doba měření a silně obtěžující hluk z vysílače.

2 HODNOCENÍ SROZUMITELNOSTI ŘEČI

2.1 Artikulační index

Jednou z objektivních metod pro stanovení kvality přenosových cest pro přenos řeči je artikulační index (AI). Tato metoda je vcelku jednoduchá na výpočet, přibližný výsledek lze mimo jiné jednoduše určit i pomocí tečkové metody z grafu hluku [10].

Tato metoda byla vyvinuta a zdokonalována v období mezi léty 1929 – 1969 různými autory. Jako první verzi artikulačního indexu je možno považovat verzi z roku 1947 (French a Steinberg) [16]. Další verze vznikla o tři roky později v roce 1950 (Fletcher a Galt) [15]. Tato verze se na rozdíl od předchozí liší v komplexnějším pojetí, popisuje více nelineárních efektů, ovšem není často používána. Třetí zjednodušená verze vychází z americké normy ANSI S3.5-1969, která byla sepsána na základě podkladů K. D. Krytera z roku 1962.

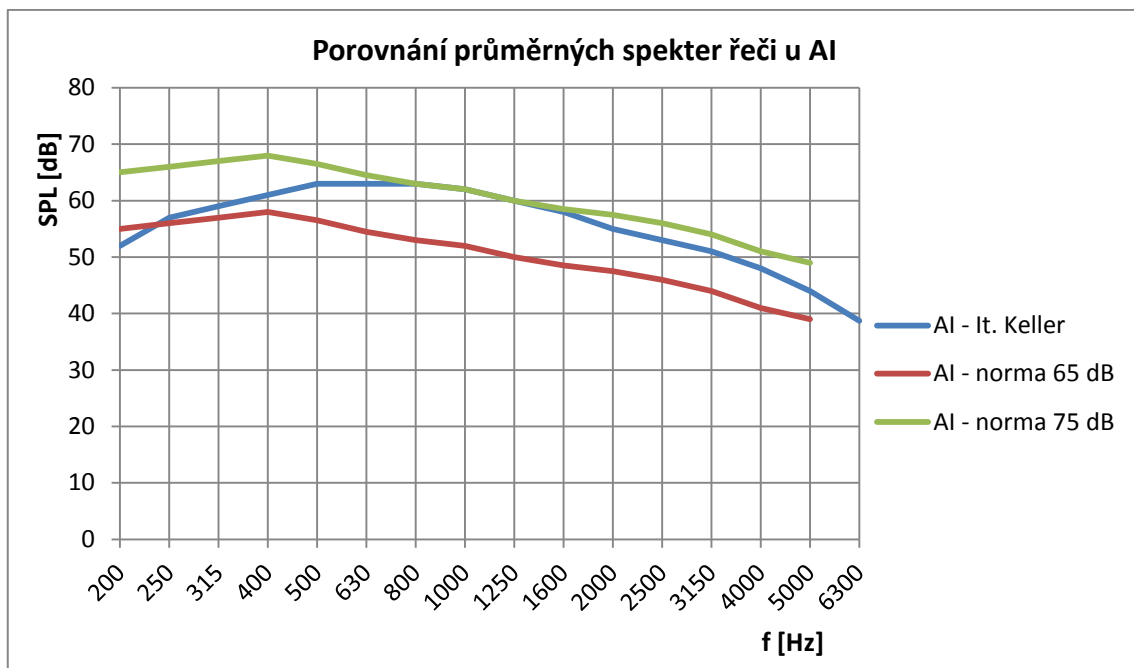
2.1.1 Základní údaje

Informace potřebné k výpočtu závisí na použité verzi artikulačního indexu (AI). V současnosti jsou k dispozici čtyři obdobné metody pro výpočet artikulačního indexu a jedna metoda pro otevřený (upravený) artikulační index

- AI (French and Steinberg 1947) [16]
- AI (Fletcher and Galt, 1950) [15]
- AI (ANSI S3.5-1969) [6]
- AI (Italiana Keller s. p. a.) [17]
- otevřený AI (Interkeller S. A. Zürich) [9]

Zde bude rozebrán postup při výpočtu podle technické zprávy od společnosti Italiana Keller s. p. a. [17] a poté postup výpočtu otevřeného (upraveného) artikulačního indexu. Výpočet podle Italiana Keller s. p. a. se obvykle používá v automobilovém průmyslu. Výpočet je obdobný jako výpočet podle normy ANSI S3.5-1969, jen je použito jiné spektrum řeči, viz Obr. 2.1.

Pro výpočet artikulačního indexu je potřeba znát spektrum hluku a řeči. Spektrum hluku je třeba změřit, spektrum řeči je možno změřit také, nebo použít hodnoty dané normou. Pro vyhodnocování hluku je vhodné využít referenční spektrum řeči dané normou, čímž se zajistí vždy stejný výchozí stav. V praxi se často používá dělení na třetinooktávová pásma, proto i v této práci bude toto dělení použito. Naměřená spektra budou rozdělena na 16 pásem se středními frekvencemi mezi 200 Hz a 6300 kHz. Toto kmitočtové pásmo zcela dostačuje, což bylo potvrzeno při subjektivních poslechových testech srozumitelnosti. Každému pásmu je přiřazena jiná důležitost pomocí váhovacího faktoru W_i , který byl stanoven experimentálně. Rozdělení na jednotlivá pásma a váhovací faktor W_i se nachází v Tab. 2.1.



Obr. 2.1 Porovnání spekter řeči u AI [6], [17]

Tab. 2.1 Definice třetinooktávových pásem a váhovacího faktoru [9]

Pořadí i	Střední frekvence [Hz]	Dolní frekvence [Hz]	Horní frekvence [Hz]	Váhovací faktor W_i [-]
1	200	176	225	1
2	250	225	283	2
3	315	283	353	3,25
4	400	353	440	4,25
5	500	440	565	4,5
6	630	565	707	5,25
7	800	707	880	6,5
8	1000	880	1130	7,25
9	1250	1130	1414	8,5
10	1600	1414	1760	11,5
11	2000	1760	2250	11
12	2500	2250	2825	9,5
13	3150	2825	3530	9
14	4000	3530	4400	7,75
15	5000	4400	5650	6,25
16	6300	5650	7070	2,5
				$\Sigma = 100$

2.1.2 Výpočet z naměřeného spektra hluku a řeči

V každém pásmu je třeba vypočítat rozdíl horní úrovně řečového pásma HH_i (Tab. 2.2) a hluku SPL_{Ni} (2.1), kde index i označuje dané pásmo.

$$\Delta_i = HH_i - SPL_{Ni} \text{ [dB]} \quad (2.1)$$

Z frekvenčních charakteristik mužských hlasů byla experimentálně zjištěna průměrná hladina řeči a dynamický rozsah řeči v každém pásmu, který činí 30 dB. Tím vznikla horní a spodní hranice řečového pásma. Průměrná hladina řeči se nachází 12 dB pod horním okrajem, což už ale při výpočtu nehraje roli. Pokud je hladina hluku v daném pásmu pod spodní hranicí řečového pásma, je příspěvek k artikulačnímu indexu v daném pásmu maximální (2.2) – roven váhovacímu faktoru W_i .

$$\Delta_i > 30 \Rightarrow k_i = 1 \text{ [-]} \quad (2.2)$$

V případě, že je hladina hluku nad horní hranicí řečového pásma, je příspěvek k artikulačnímu indexu nulový (2.3).

$$\Delta_i < 0 \Rightarrow k_i = 0 \text{ [-]} \quad (2.3)$$

V ostatních případech se spočítá poměr zaplnění řečového pásma k_i (2.4).

$$0 < \Delta_i < 30 \Rightarrow k_i = \frac{\Delta_i}{30} \text{ [-]} \quad (2.4)$$

Artikulační index AI je dán součtem všech příspěvků v jednotlivých pásmech vynásobených váhovacím faktorem (2.5). Výsledkem je hodnota z intervalu $<0;100>$.

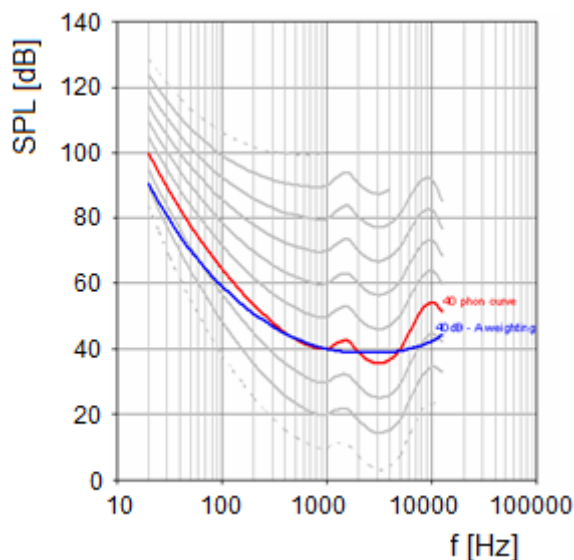
$$AI = \sum_{i=1}^{16} W_i k_i \text{ [%]} \quad (2.5)$$

2.1.3 Výpočet z naměřeného spektra hluku

V případě, kdy je třeba porovnat vlivy prostředí na srozumitelnost řeči, je lepší změřit pouze spektrum hluku, a pro spektrum řeči použít tabulkovou hodnotu podle normy. Je však potřeba měřit v definovaných jednotkách, například akustický tlak v pascálech, nebo hladinu akustického tlaku v decibelech, aby bylo možné tyto hodnoty srovnat s tabulkovým spektrem řeči. Následně je třeba naměřenou hodnotu přepočítat na hladinu akustického tlaku, pokud již v této jednotce není naměřena. Dále je třeba zjistit spektrum naměřeného hluku a váhovat jej filtrem A. Předposledním bodem výpočtu je rozdělení spektra do jednotlivých frekvenčních pásem podle tabulky a zjistit průměrnou hodnotu hladiny akustického tlaku v daném pásmu. Z této hodnoty hladiny akustického tlaku hluku a z tabulkové hodnoty hladiny akustického tlaku řeči se vypočte rozdíl Δ_i (2.1), který se následně použije do vztahů (2.2) – (2.5), odkud vypočítáme artikulační index.

Váhovací filtr A má za úkol upravit měřenou veličinu do takové formy, v jaké by ji slyšelo lidské ucho. Lidské ucho neslyší všechny frekvence stejně, lépe slyší střední frekvence kolem 1 kHz, špatně slyší nízké a vysoké kmitočty. Tuto nedokonalost

popisují křivky stejné hlasitosti Obr. 2.2. Váhovací filtr A aproximuje křivku o hlasitosti 40 Ph. Hodnoty váhovacího filtru A jsou uvedeny v Tab. 2.2. Veškeré hodnoty decibelech na které byl aplikován váhovací filtr A jsou označovány jednotkou dB(A).

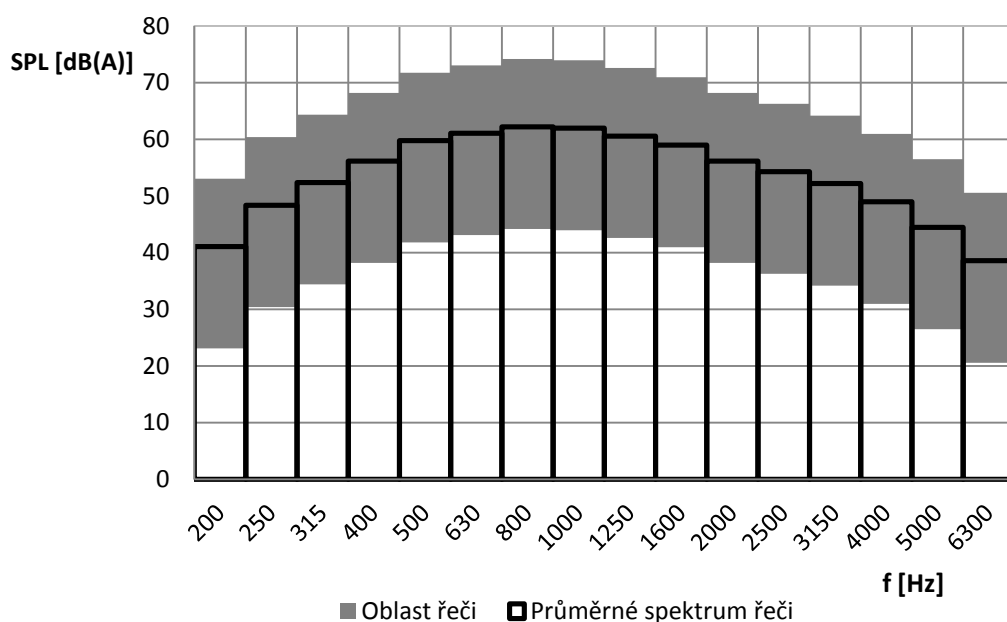


Obr. 2.2 Váhovací filtr A (modře) a křivky stejné slyšitelnosti [11]

Tab. 2.2 obsahuje spektrum řeči podle normy ANSI S3.5-1969 rozdělené do třetinooktávnových pásem a hodnoty váhovacího filtru A pro tyto pásma. Obr. 2.3 zobrazuje tuto oblast řeči graficky.

Tab. 2.2 Oblast řeči a váhovací filtr [9]

Pořadí i	Střední frekvence [Hz]	Horní hranice HH [dB(A)]	Dolní hranice DH [dB(A)]	Váhovací filtr A [dB]
1	200	53,1	23,1	-10,9
2	250	60,4	30,4	-8,6
3	315	64,4	34,4	-6,6
4	400	68,2	38,2	-4,8
5	500	71,8	41,8	-3,2
6	630	73,1	43,1	-1,9
7	800	74,2	44,2	-0,8
8	1000	74	44	0
9	1250	72,6	42,6	0,6
10	1600	71	41	1
11	2000	68,2	38,2	1,2
12	2500	66,3	36,3	1,3
13	3150	64,2	34,2	1,2
14	4000	61	31	1
15	5000	56,5	26,5	0,5
16	6300	50,6	20,6	-0,1



Obr. 2.3 Oblast řeči podle normy ANSI S3.5-1969, váhovaná filtrem A [9]

2.1.4 Otevřený artikulační index

V případě, kdy se většina hluku nachází pod dolní hranicí řečového pásma (v případě velmi tichých aut), se artikulační index blíží k 100 %. Rozdíl mezi jednotlivými měřeními modifikacemi pak může být tak malý, že znemožňuje jejich hodnocení. Proto byl zaveden otevřený (modifikovaný) artikulační index (AIM) [9]. Na rozdíl od artikulačního indexu není jeho maximum 100 %, ale blíží se k 226 %. Výpočet je obdobný jako u artikulačního indexu, příspěvky k AIM však nejsou omezeny spodní ani horní hranicí řečového pásma. Spodní hranice řečového pásma je posunuta na hodnotu 0 dB. Proměnná SPL_{Ni} značí hladinu akustického tlaku hluku. Proměnná HH značí horní hranici řečového pásma. Proměnná Δ_i (2.1) je stejná jako u AI. Pokud je úroveň hluku vyšší než 0 dB, vypočítá se poměr zaplnění pásma (2.6), obdobně jako u AI.

$$SPL_{Ni} > 0 \text{ dB} \Rightarrow k_i = \frac{\Delta_i}{30} \quad [-] \quad (2.6)$$

V případě úrovně hluku pod 0 dB, vypočítá se plocha daného pásma (2.7) podle horní hranice řečového pásma HH_i .

$$SPL_{Ni} < 0 \text{ dB} \Rightarrow k_i = \frac{HH_i}{30} \quad [-] \quad (2.7)$$

Výsledný AIM je dán součtem příspěvků v každém pásmu, násobených váhovacím faktorem W_i (2.8).

$$AIM = \sum_{i=1}^{16} W_i k_i \quad [\%] \quad (2.8)$$

2.2 Index srozumitelnosti řeči

Další metodou pro objektivní určování srozumitelnosti řeči v určitém prostředí je index srozumitelnosti řeči. Tento pojem je definován normou ANSI S3.5-1997 [7], která vznikla jako určité pokračování již zmíněné normy ANSI S3.5-1969, která definuje artikulační index. Index srozumitelnosti řeči je tedy možno nazvat jistým vylepšením artikulačního indexu.

2.2.1 Základní údaje

Běžné použití indexu srozumitelnosti řeči je omezeno na přirozenou řeč bez úprav různými filtry a posluchače bez sluchových vad a dalších omezení, týkajících se vnímání řeči. Index srozumitelnosti řeči není vztažen ke konkrétnímu jazyku. S úpravou je možno tuto metodu použít i pro osoby s částečnou ztrátou sluchu, volitelně i s naslouchátkem.

Výpočet indexu srozumitelnosti řeči se provádí ze tří vstupních proměnných, kterými jsou:

- spektrum ekvivalentní hladiny řeči E'_i
- spektrum ekvivalentní hladiny hluku N'_i
- spektrum relativní hladiny prahu slyšení T'_i

Tyto tři proměnné, definované pro každé frekvenční pásmo, je nutné vypočítat z naměřených, případně tabulkových hodnot. Jak již bylo zmíněno, výpočet probíhá ve frekvenčních pásmech. Norma ANSI S3.5-1997 definuje 4 rozložení, daná v Tab. 2.3. Všechny další hodnoty pro třetinooktávová pásma jsou definovaná v Tab. 2.4.

Tab. 2.3 Tabulka možných frekvenčních pásem [7]

Frekvenční rozlišení	Počet pásem	Frekvenční rozsah středů pásem [Hz]	Frekvenční rozsah [Hz]
kritická pásma	21	150 - 8500	100 - 9500
třetinooktávová pásma	18	160 - 8000	141 - 8910
kritická pásma se stejným váhovým faktorem	17	350 - 5800	300 - 6400
oktávová pásma	6	250 - 8000	178 - 11200

Pro výpočet indexu srozumitelnosti řeči je možné, obdobně jako u artikulačního indexu, využít tabulkové hodnoty standardního spektra hladiny řeči dané normou pro SII. Zde jsou na výběr čtyři možnosti řeči:

- normální
- zvýšená
- hlasitá
- křik

Všechny hodnoty pro jednotlivá třetinooktávová pásma jsou nadefinované v Tab. 2.4. Mimo ekvivalentní hladiny řeči E_i je v Tab. 2.4 definovaná také referenční hladina prahu slyšení X_i a váhovací faktor I_i .

Tab. 2.4 Tabulka potřebných hodnot pro výpočet SII pro třetinooktávová pásma [7]

Frekvenční pásmo			Standardní hladina řeči [dB]				X_i [dB]
Číslo pásma i	Střední frekvence [Hz]	Váhovací faktor I_i	Normální	Zvýšená	Hlasitá	Křik	
1	160	0,0083	32,41	33,81	35,29	30,77	0,6
2	200	0,0095	34,48	33,92	37,76	36,65	-1,7
3	250	0,015	34,75	38,98	41,55	42,5	-3,9
4	315	0,0289	33,98	38,57	43,78	46,51	-6,1
5	400	0,044	34,59	39,11	43,3	47,4	-8,2
6	500	0,0578	34,27	40,15	44,85	49,24	-9,7
7	630	0,0653	32,06	38,78	45,55	51,21	-10,8
8	800	0,0711	28,3	36,37	44,05	51,44	-11,9
9	1000	0,0818	25,01	33,86	42,16	51,31	-12,5
10	1250	0,0844	23	31,89	40,53	49,63	-13,5
11	1600	0,0882	20,15	28,58	37,7	47,65	-15,4
12	2000	0,0898	17,32	25,32	34,39	44,32	-17,7
13	2500	0,0868	13,18	22,35	30,98	40,8	-21,2
14	3150	0,0844	11,55	20,15	28,21	38,13	-24,2
15	4000	0,0771	9,33	16,78	25,41	34,41	-25,9
16	5000	0,0527	5,31	11,47	18,35	28,24	-23,6
17	6300	0,0364	2,59	7,67	13,87	23,45	-15,8
18	8000	0,0185	1,13	5,07	11,39	20,72	-7,1
		$\Sigma = 1$					

2.2.2 Odvození vstupních hodnot

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, k výpočtu SII je třeba znát ekvivalentní hladinu řeči E'_i , ekvivalentní hladinu hluku N'_i a relativní hladinu prahu slyšení T'_i .

Při měření hladiny akustického tlaku L_p , ať už řeči nebo hluku, je třeba před začátkem výpočtu naměřené spektrum v pásmech normovat na šířku jednoho hertzu vztahem (2.9), čímž vznikne spektrální hustota.

$$L_{1\text{Hz}} = L_p - 10 \log(f_{\max} - f_{\min}) \quad [\text{dB}] \quad (2.9)$$

Ekvivalentní hladinu řeči E'_i je možno změřit, nebo lze použít standardní hodnoty dané normou pro vybraný hlasový projev. Pro měřenou hodnotu hladiny řeči E_i je přepočet dán vztahem (2.10), kde d je vzdálenost mikrofону od úst řečníka v metrech a G je přidání zesílení, se kterým je možno počítat, pokud je měření prováděno pro osoby používající naslouchátko. V této práci tato možnost nebude uvažována, proto $G = 0$ dB. V případě použití definované standardní hladiny řeči se za ekvivalentní hladinu řeči E'_i přímo dosadí standardní hladina řeči z Tab. 2.4.

$$E'_i = E_i - 20 \log d + G \quad [\text{dB}] \quad (2.10)$$

Ekvivalentní hladina hluku N'_i se odvodí obdobně jako ekvivalentní hladina řeči (2.11). Nahrávání probíhá v místě hlavy posluchače v pozici ucha. Je možné opět počítat i s přidaným zesílením G .

$$N'_i = N_i + G \quad [\text{dB}] \quad (2.11)$$

Relativní hladina prahu slyšení T'_i je definována normou [7] pro posluchače bez poruchy sluchu na 0 dB pro monaurální poslech a -1,7 dB pro binaurální poslech ve všech frekvenčních pásmech. Definuje tedy rozdíl mezi monaurálním a binaurálním poslechem. Ve skutečnosti hodnoty ve všech pásmech nejsou přesně stejné, ale odchylky jsou malé, proto pro zjednodušení výpočtu je normou definována konstantní hodnota.

2.2.3 Výpočet indexu srozumitelnosti řeči

V této kapitole je popsán postup výpočtu indexu srozumitelnosti řeči podle normy ANSI S3.5-1997. Vstupní hodnoty, ekvivalentní hladina řeči E'_i , ekvivalentní hladina hluku N'_i a ekvivalentní hladina prahu slyšení T'_i , byly odvozeny v kapitole 2.2.2.

Nejprve je třeba určit **samomaskovací hladinu řeči V_i** pro každé pásmo i . Její hodnota vyjadřuje maskovací úroveň, kde zvuky pod touto úrovní jsou maskovány a nejsou slyšitelné. Toto frekvenční maskování se odráží i do jiných pásem v jistém rozsahu – největší vliv je na okolní pásma, což je vysvětleno dále. Samomaskovací hladina řeči je dána vztahem (2.12), kde E'_i je ekvivalentní hladina řeči.

$$V_i = E'_i - 24 \quad [\text{dB}] \quad (2.12)$$

Pomocná proměnná B_i , potřebná k dalším výpočtům, je dána jako větší z hodnot ekvivalentní hladiny hluku N'_i a samomaskovací hladiny řeči V_i , pro každé frekvenční pásmo zvlášť (2.13). Pomocná proměnná B_i tedy kontroluje, zda je v daném pásmu větší vliv hluku nebo samomaskování řeči, a danou hodnotu předává k dalším výpočtům.

$$B_i = \max(N'_i; V_i) \quad [\text{dB}] \quad (2.13)$$

Proměnná C_i , **strmost na oktávu mezipásmového maskování**, vyjadřuje, jaký vliv má rušení daného pásma (hluk nebo samomaskování řeči) na ostatní pásma. Jednoduše řečeno, C_i popisuje, o kolik se snižuje vliv se zvyšující se vzdáleností k jinému pásmu. Proměnná C_i je pro třetinooktávová pásma popsána vztahem (2.14), kde F_i je střední frekvence daného třetinooktávového pásma, viz Tab. 2.4.

$$C_i = -80 + 0,6(B_i + 10 \log F_i - 6,353) \quad [\text{dB}] \quad (2.14)$$

Dále je třeba určit **ekvivalentní maskovací hladinu Z_i** , která je pro nejnižší frekvenční pásmo dána pomocnou proměnnou B_i (2.15). Pro ostatní frekvenční pásma je nutné použít vztah (2.16). Ekvivalentní maskovací hladina slučuje vlivy maskování v daném pásmu, mezipásmového maskování a samomaskování řeči. Suma ve vzorci

(2.16) připočítává jednotlivé vlivy z ostatních nižších pásem. Případné vlivy z vyšších pásem započteny nejsou, protože jejich vliv je mnohem menší.

$$Z_1 = B_1 \text{ [dB]} \quad (2.15)$$

$$Z_i = 10 \log\{10^{0,1N'_i} + \sum_{k=1}^{i-1} 10^{0,1[B_k+3,32C_k \log(0,89F_i/F_k)]}\}, \quad i > 1 \text{ [dB]} \quad (2.16)$$

Ekvivalentní hladina prahu slyšení X'_i je dána součtem referenční hladiny prahu slyšení X_i a relativní hladiny prahu slyšení T'_i (2.17). Referenční hladina prahu slyšení odpovídá hladině prahu slyšení zvuků se spojitým spektrem. Hodnoty referenční hladiny prahu slyšení X_i jsou definovány normou v Tab. 2.4. Hodnota referenční hladiny prahu slyšení vychází z prahu slyšení čistých tónů, upravených podle výzkumů E. Zwickera [18].

$$X'_i = X_i + T'_i \text{ [dB]} \quad (2.17)$$

Ekvivalentní hladina rušení D_i popisuje celkový vliv negativních jevů na srozumitelnost, což je maskování a hluk. Proto je dán jako větší z hodnot ekvivalentní maskovací hladiny Z_i a ekvivalentní hladiny prahu slyšení X'_i pro každé pásmo zvlášť (2.18).

$$D_i = \max (Z_i; X'_i) \text{ [dB]} \quad (2.18)$$

Činitel zkreslení L_i definuje, zda a v jakém množství ovlivňuje srozumitelnost příliš hlasitá řeč. Pokud je dané pásmo ekvivalentní hladiny řeči vyšší o 10 dB oproti standardní hladině řeči podle normy, příspěvek ke srozumitelnosti se postupně snižuje, což vyjadřuje snížení L_i . Činitel zkreslení je proto definován pomocí ekvivalentní hladiny řeči E'_i a standardní hladiny řeči pro normální hlasitost U_i z Tab. 2.4. Pokud je činitel zkreslení menší než nula, je třeba za L_i dosadit nulu. Obdobně pro L_i větší než jedna (2.19).

$$L_i = 1 - \frac{(E'_i - U_i - 10)}{160} \text{ [-]}, \quad 0 \leq L_i \leq 1 \quad (2.19)$$

Dále je třeba určit **pomocnou proměnnou K_i** . Tato proměnná vyjadřuje vliv celkového rušení pro konkrétní řeč. Pokud je rozdíl ekvivalentní hladiny řeči E'_i a ekvivalentní hladiny rušení D_i menší než 15dB, příspěvek ke srozumitelnosti se snižuje (2.20). Pokud hodnota K neleží v intervalu $<0,1>$, je třeba za K_i dosadit nejbližší hranici z tohoto intervalu.

$$K_i = \frac{E'_i - D_i + 15}{30} \text{ [-]}, \quad 0 \leq K_i \leq 1 \quad (2.20)$$

Faktor slyšitelnosti pásma A_i je dán součinem činitele zkreslení L_i a dočasné proměnné K_i (2.21). Vyjadřuje tedy příspěvek ke srozumitelnosti pro dané frekvenční pásmo. Může nabývat hodnot 0 pro nesrozumitelnou řeč v daném pásmu až 1 pro zcela srozumitelnou řeč v daném pásmu.

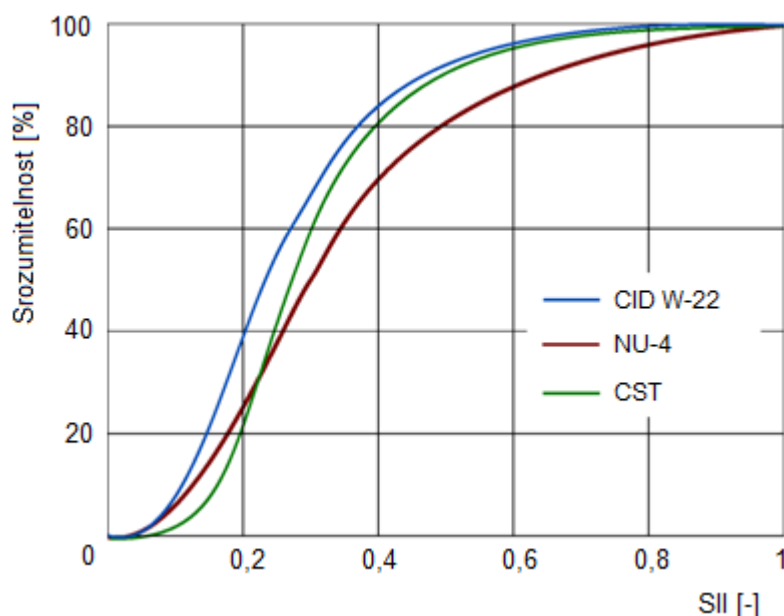
$$A_i = L_i K_i [-] \quad (2.21)$$

Index srozumitelnosti řeči SII se vypočítá jako součet příspěvků všech pásem, ve kterých je faktor slyšitelnosti pásma A_i váhován váhovacím faktorem I_i (2.22). Váhovací faktor vyjadřuje citlivost lidského ucha v daném frekvenčním pásmu a určuje tedy míru příspěvku v daném pásmu. Váhovací faktor pro třetinooktávová pásma je uveden v Tab. 2.4 na straně 10.

$$SII = \sum_{i=1}^{18} I_i A_i [-] \quad (2.22)$$

2.2.4 Interpretace indexu srozumitelnosti řeči

Hodnota indexu srozumitelnosti řeči může nabývat hodnot mezi 0 - 1, kdy 0 značí řeč nesrozumitelnou a číslo 1 zcela srozumitelnou. Srovnání výsledku této metody se subjektivními poslechovými metodami na posluchačích je možno vidět na Obr. 2.4 [10]. Z něj je patrné, že výsledek metody SII není přímo úměrný výsledům z poslechových testů. Přesto však lze úpravou výpočtu docílit, aby hodnota indexu srozumitelnosti řeči svou hodnotou odpovídala dané poslechové metodě. Je nutné použít jiný **váhovací faktor I_i** . Váhovací faktory I_i pro některé poslechové texty jsou uvedeny v normě ANSI S3.5-1997 v její příloze B.



Obr. 2.4 Srovnání subjektivních poslechových testů z SII [10]

Tyto tři poslechové testy se mezi sebou liší slovy, ze kterých se poslechový test skládá [14].

Test CID W-22 obsahuje čtyři části po 50 slovech. Slova jsou foneticky vyvážená. 120 slov je tvořen stylem samohláska-souhláska (if), souhláska-samohláska (do), nebo souhláska-samohláska-souhláska (dog). 80 slov pak tvoří často užívaná anglická slova.

Test NU-4 se skládá ze dvou částí po 50 foneticky vyvážených slovech. Test je

složen pouze ze slov typu souhláska-samohláska-souhláska (cat, dog).

Test CST se skládá z 9 – 10 vět na běžná témata, které musí posluchač zopakovat.

3 MĚŘENÍ ŘEČI A HLUKU

Tato kapitola se zabývá způsobem měření akustických signálů a jejich následným zpracováním do podoby použitelné při výpočtu indexu srozumitelnosti řeči.

3.1 Měření akustických signálů

V následujících kapitolách budou nejdříve představeny základní pojmy související s akustickými signály. Následovat bude popis použitého nahrávacího řetězce.

3.1.1 Definice základních pojmů

Základní jednotka, se kterou je možno pracovat při popisu akustických veličin, je akustický tlak.

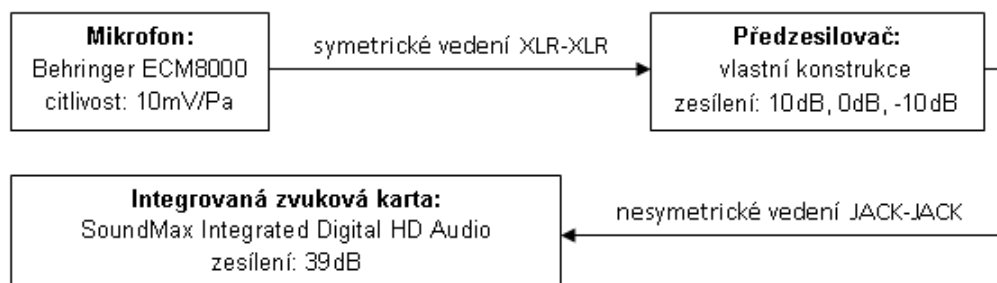
Zvuková vlna v prostředí se projevuje zhušťováním a zředěním tohoto prostředí. Změny tlaku prostředí popisuje akustický tlak p . Akustický tlak je superponován na barometrický tlak, a je stejně jako on skalární, protože u něj nelze určit směr. Obvykle se uvádí jeho efektivní hodnota, jeho jednotkou je pascal. Hodnoty akustického tlaku dosahují velkého rozpětí, zhruba $20 \mu\text{Pa} - 100 \text{ Pa}$, proto je pro vyjádření akustického tlaku vhodné použít logaritmus.

Pojem hladina akustického tlaku L_p je velmi často využíván. Jedná se o logaritmické vyjádření poměru akustického tlaku k referenční hodnotě $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ (3.1). Pro lidské vnímání se hladina akustického tlaku pohybuje v rozmezí $0 - 130 \text{ dB}$.

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ [dB]} \quad p_0 = 20 \mu\text{Pa} \quad (3.1)$$

3.1.2 Nahrávací řetězec

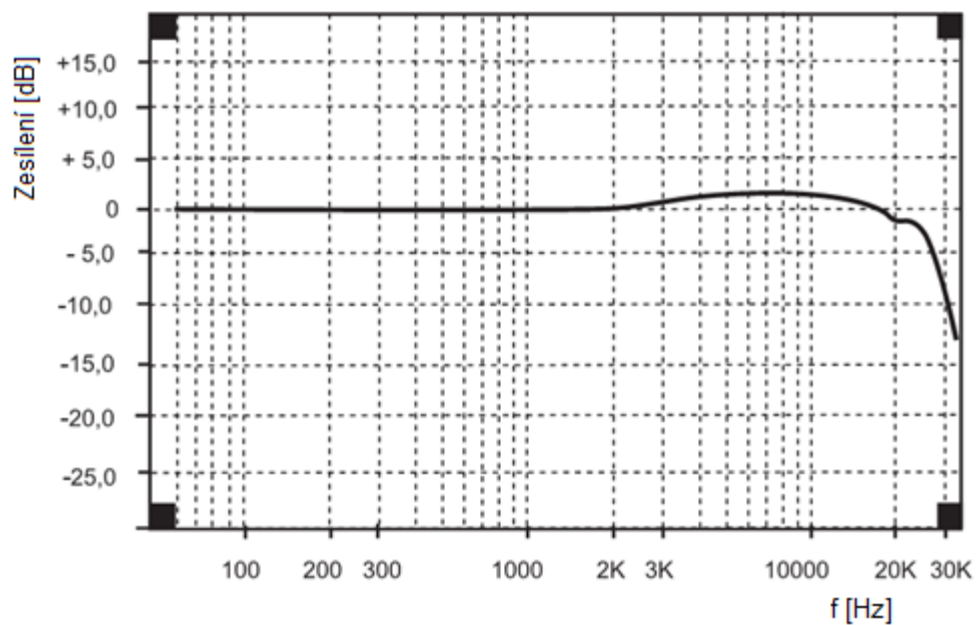
Pro účely jednoduchého orientačního měření akustických signálů bez požadavku na vysokou přesnost byl navrhnut následující nahrávací řetězec, který byl použitý při všech následujících měřeních.



Obr. 3.1 Použitý nahrávací řetězec

Mikrofon Behringer ECM8000:

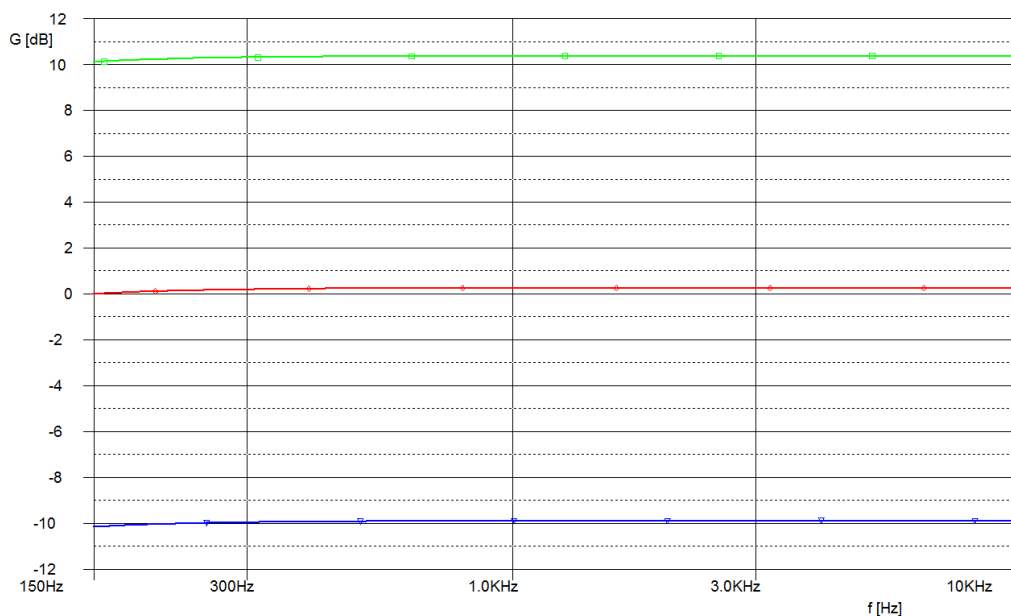
- elektretový všesměrový měřicí mikrofon
- frekvenční rozsah 15 Hz – 20 kHz, viz Obr. 3.2
- citlivost: 10 mV/Pa



Obr. 3.2 Modulová frekvenční charakteristika mikrofonu, převzato z [12]

Předzesilovač:

- převod symetrické vedení – nesymetrické vedení
- frekvenční rozsah 40 Hz – 500 kHz (simulováno v programu PSpice, viz Obr. 3.3)
- nastavitelné zesílení 10 dB, 0 dB, -10 dB



Obr. 3.3 Modulová kmitočtová charakteristika předzesilovače v používaném frekvenčním rozsahu (simulováno v programu PSpice)

- zelená = zesílení 10 dB
- červená = zesílení 0 dB
- modrá = zesílení -10 dB

3.1.3 Kalibrace nahrávacího řetězce

Za účelem podávání přesnějších výsledků nahraných nahrávacím řetězcem byla provedena kalibrace tohoto řetězce. Kalibrace byla provedena na profesionálním zařízení Brüel & Kjær ve společnosti Škoda Auto a. s.

Jako zdroj referenčního zvuku byl použit jednofrekvenční kalibrátor Brüel & Kjær typ 4231 [19]. Tento kalibrátor je vyobrazen na Obr. 3.4 a má následující specifikace:

- kalibrační úroveň 94 dB
- kalibrační frekvence 1 kHz
- přesnost úrovně $\pm 0,2$ dB
- přesnost frekvence $\pm 0,1$ %



Obr. 3.4 Kalibrátor Brüel & Kjær typ 4231 [19]

Dále byl použitý modulový akustický analyzátor Brüel & Kjær typ 3560.

Výsledné hodnoty citlivostí řetězce (mikrofon + předzesilovač) jsou následující

- zesílení 0 dB – citlivost 11,00 mV/Pa
- zesílení 10 dB – citlivost 35,33 mV/Pa
- zesílení -10 dB nebylo nikdy v praxi využito, proto se pro něj kalibrace nedělala

Pro další zvýšení přesnosti měření by bylo nutné provést kalibraci v celém frekvenčním pásmu mikrofону pro různé frekvence, což by vyžadovalo pokročilejší kalibrační techniku. Nadále tedy bude považována frekvenční charakteristika mikrofónu jako konstantní v definovaném frekvenčním rozsahu, viz Obr. 3.2.

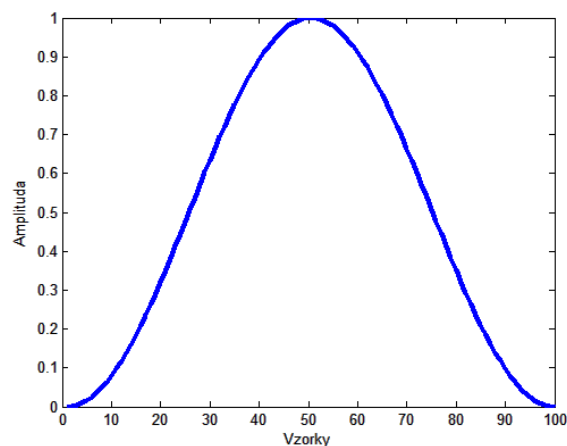
3.2 Zpracování naměřeného signálu

Účelem zpracování naměřeného signálu je rozdělení do třetinooktávových pásem a přepočet úrovně signálu na hladinu akustického tlaku, aby jej bylo možné použít při výpočtu AI a SII. Postup výpočtu se skládá z několika kroků.

Nejprve je nutné vypočítat hodnotu akustického tlaku na vstupu mikrofónu. V tomto kroku je nutné uvažovat zesílení všech částí v nahrávacím řetězci, což je při použití uvedeného nahrávacího řetězce nejprve citlivost mikrofónu při převodu na napětí, zesílení předzesilovače a zvukové karty.

V druhém kroku je třeba zadat požadované hodnoty analýzy, konkrétně délku zpracovaného úseku, počet průměrovaných úseků, frekvenční rozlišení při FFT a překrytí (overlap) [20]. Z toho vyplývá, že signál se při analýze rozdělí na malé časové úseky, u kterých se zvlášť vypočítá FFT, a ty se pak následně průměrují. Případné překrytí zajistí, že úseky nebudou na sebe navazovat, ale budou se vzájemně překrývat o definovanou hodnotu.

Dále je potřeba definovat okno pro vybírání jednotlivých úseků. Zvolením vhodného okna se omezí tzv. chyba únikem (leakage) [20], která je dána aplikovatelností FFT pouze na periodické signály. Bylo zvoleno v praxi používané Hanningovo (Hannovo) okno [20], viz Obr. 3.5.



Obr. 3.5 Hanningovo okno

Pomocí tohoto okna jsou dále vybrány úseky signálu o definované délce s roztečí definovanou překrytím. U všech úseků je provedena FFT a následně jsou spektra uložena do pole.

V tomto poli jsou pak napříč spektry počítány průměry jednotlivých frekvenčních čar, čímž vznikne jedno zprůměrované spektrum.

Na závěr je třeba jednotlivé frekvenční čáry vždy v konkrétním třetinooktávovém pásmu sečíst. Sčítání je však nutné provést pro akustické jednotky vztahem (3.2), kde číslo 1,5 je nutné kvůli použitému Hanningovu oknu [21].

$$L = 10 \log \left(\frac{L_1}{1,5} + \frac{L_2}{1,5} + \frac{L_3}{1,5} + \dots \right) \text{ [dB]} \quad (3.2)$$

3.2.1 Zpracování naměřeného signálu v Matlabu

Pro zpracování zvukových signálů byl zvolen program Matlab, hlavně z důvodu jednoduché práce se soubory typu WAV. Použitý postup odpovídá naznačenému postupu v kapitole 3.1.2 a 3.2. Ve zdrojovém kódu jsou komentáře pro rychlejší orientaci a pochopení některých příkazů.

```
[y,fvz,nbits]= wavread('NAZEV.wav');      %nacitani WAV souboru
y = y';

mix=10;                                     %zesileni predzesilovace
pc=37;                                     %zesileni zvukove karty
mix=power(10,mix/20)
pc=power(10,pc/20)
y=y/(pc*mix);                             %vypocet napeti mikrofону
y=y*90.91;                               %prepocet na akusticky tlak
                                           %s uvazenim kalibrace

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
frekv_rozlis=1;                         %frekv. rozliseni FFT [Hz]
overlap=0;                             %prekryti useku <0-100)
prumery=60;                           %pocet prumeru
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
deltat=1/frekv_rozlis;

pom=zeros(1,deltat*fvz);
SPE=zeros(prumery+1,deltat*fvz);          %pole pro FFT
HW=hann(deltat*fvz);                      %definice Hanningova okna
HWR=HW';

start=0;
for i=(0):(prumery-1)
    for k=1:(deltat*fvz)                  %nacteni jednoho useku
        pom(k)=y((start)+k);
    end
        start=round(start+deltat*fvz-(overlap/100*deltat*fvz));
                                           %pocatek jednoho useku
        pom=2*pom.*HWR;
        SPE(i+1,:)=(2*abs(fft(pom)))/length(pom);
                                           %vypocet FFT jednoho useku
end

prum=zeros(2,9000/frekv_rozlis);
for i=1:(9000/frekv_rozlis)
    prum(1,i)=frekv_rozlis*(i-1);
    prum(2,i)=mean(SPE(:,i));             %vypocet prumeru ze spekter
end
prum(2,:)=20*log10(prum(2,:)/0.00002);    %vypocet hladiny akust. tlaku

Fmin=[141 176 225 283 353 440 565 707 880 1130 1414 1760 2250 2825
3530 4400 5650 7070];
Fmax=[176 225 283 353 440 565 707 880 1130 1414 1760 2250 2825 3530
4400 5650 7070 8800];
Fstr=[160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150
4000 5000 6300 8000];

for i=1:18

    k=1;
    SumLi=0;
    while (Fmax(2,i)>prum(1,k))
        if(Fmin(1,i)<=prum(1,k))
            SumLi=SumLi+(10^(prum(2,k)/10))/1.5;
        end
        k=k+1;
    end
    vysl(1,i)=Fstr(3,i);
    vysl(2,i)=10*log10(SumLi);
    vysl(2,i)=vysl(2,i)-10*log10(F(2,i)-F(1,i));
                                           %vypocet spektralni hustoty
end

```

3.3 Výsledky měření

V rámci této práce byly zhotoveny nahrávky řeči různých osob v tichém prostředí a hluku v interiéru vozidla pro porovnání vlivu na srozumitelnost řeči. Hluk byl nahráván při různých rychlostech a polohách mikrofону.

3.3.1 Měření řeči

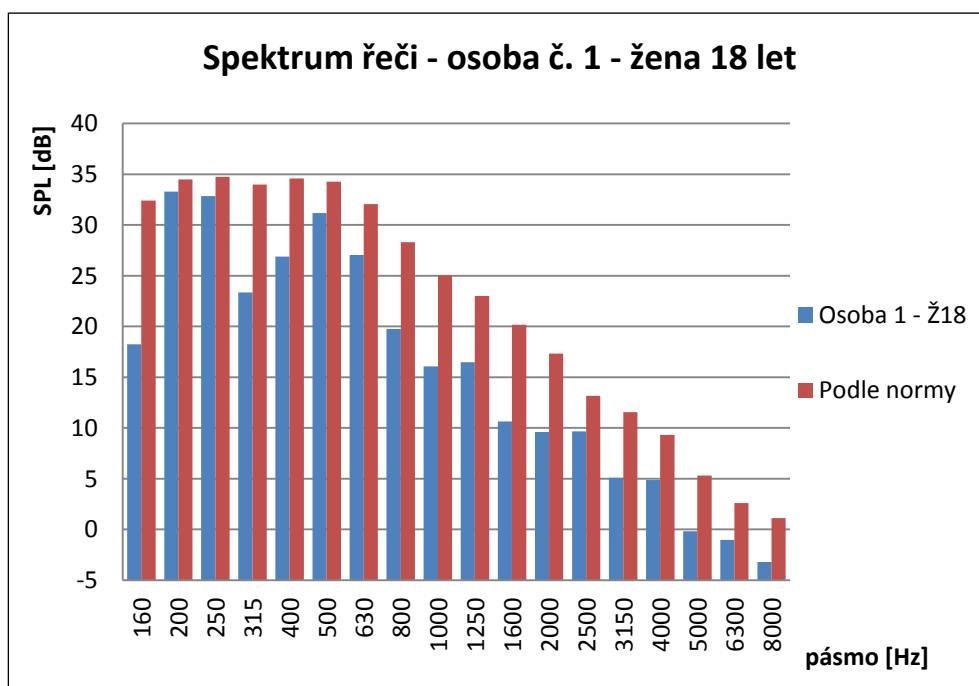
Pro možnost porovnání spektra řeči s normou ANSI-S3.5-1997 byly zhotoveny nahrávky řeči u 8 osob s rovnoměrným zastoupením obou pohlaví ve věkovém rozmezí 18 - 50 let. Žádná nahrávaná osoba netrpěla poruchou řeči ani jinou nemocí, ovlivňující její hlasový projev. Mateřským jazykem všech osob je čeština.

Osobám byl předložen ke čtení vždy stejný text, doba čtení tohoto textu je zhruba 1 minuta. Text byl zvolen náhodně, jedná se o část rozhovoru, zveřejněného v [13].

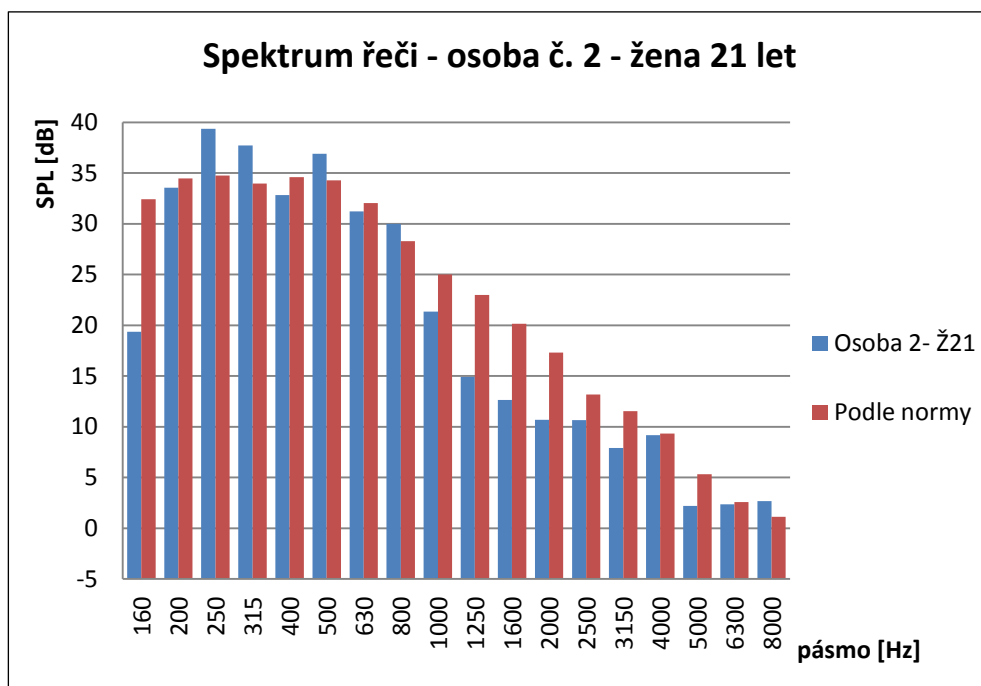
Řeč byla nahrána podle kapitoly 3.1.2. Vzdálenost mikrofonu od úst osoby byla 1 metr. Nahrávání proběhlo v místnosti o rozměrech 5,5 m x 4 m x 2,5 m, zařízené nábytkem. Nahraná řeč obsahovala také šum, který byl odstraněn použitím volně šiřitelného programu Audacity 2.0.2. Rozdíl mezi spektry odšuměné a zašuměné řeči nebyl příliš znatelný, přesto však bylo odšumění provedeno. Nastavení programu pro odstranění šumu:

- Noise reduction (dB): 24
- Sensitivity (dB): 0
- Frequency smoothing (Hz): 150
- Attack/decay time (secs): 0,15

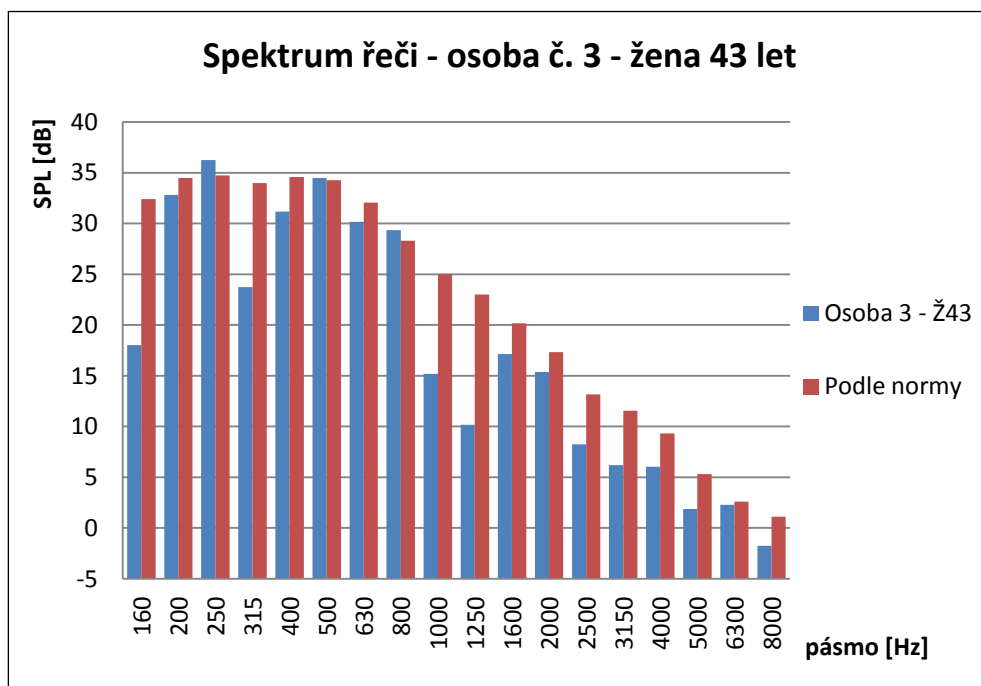
Následně byly naměřené signály zpracovány v Matlabu algoritmem z kapitoly 3.2.1. Výsledná spektra hladin akustického tlaku řeči (spektra řeči podle normy k SII [7]) jsou zobrazena na obrázcích Obr. 3.6 až Obr. 3.13 a porovnána s tabulkovou hodnotou pro normální řeč indexu srozumitelnosti řeči pro každou osobu zvlášť. Dále byla spektra řeči všech osob zprůměrována. Výsledek je zobrazen na Obr. 3.14.



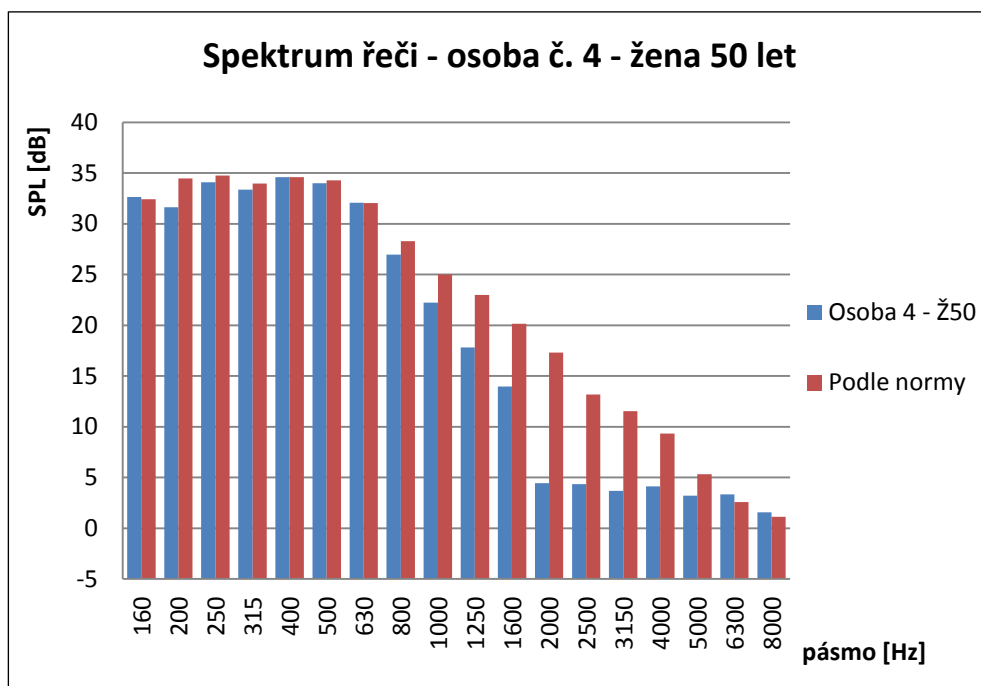
Obr. 3.6 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 1 – žena 18 let



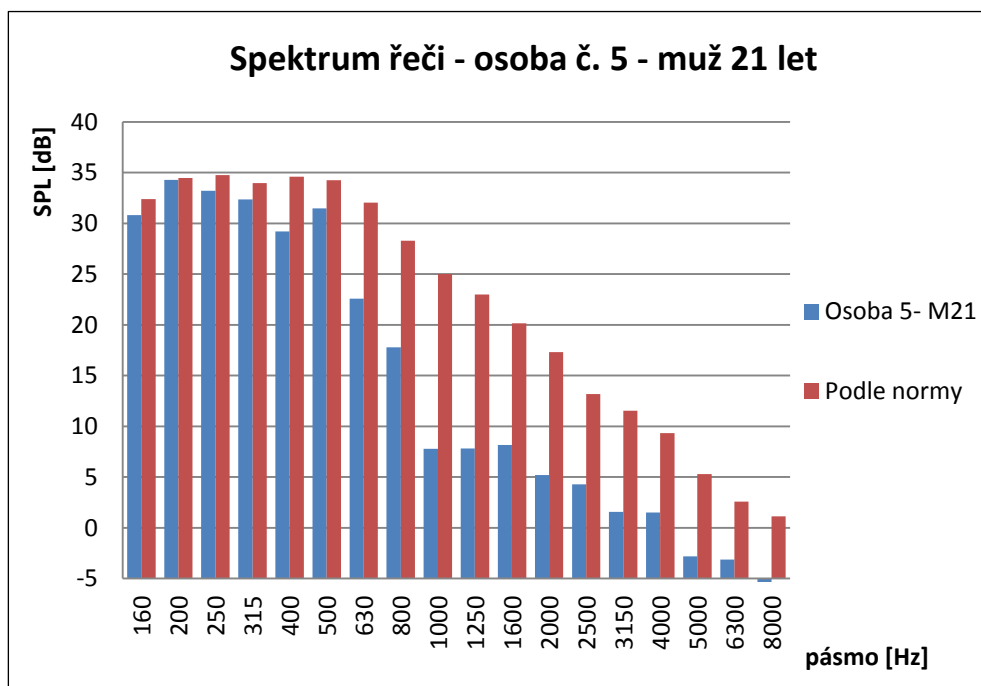
Obr. 3.7 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 2 – žena 21 let



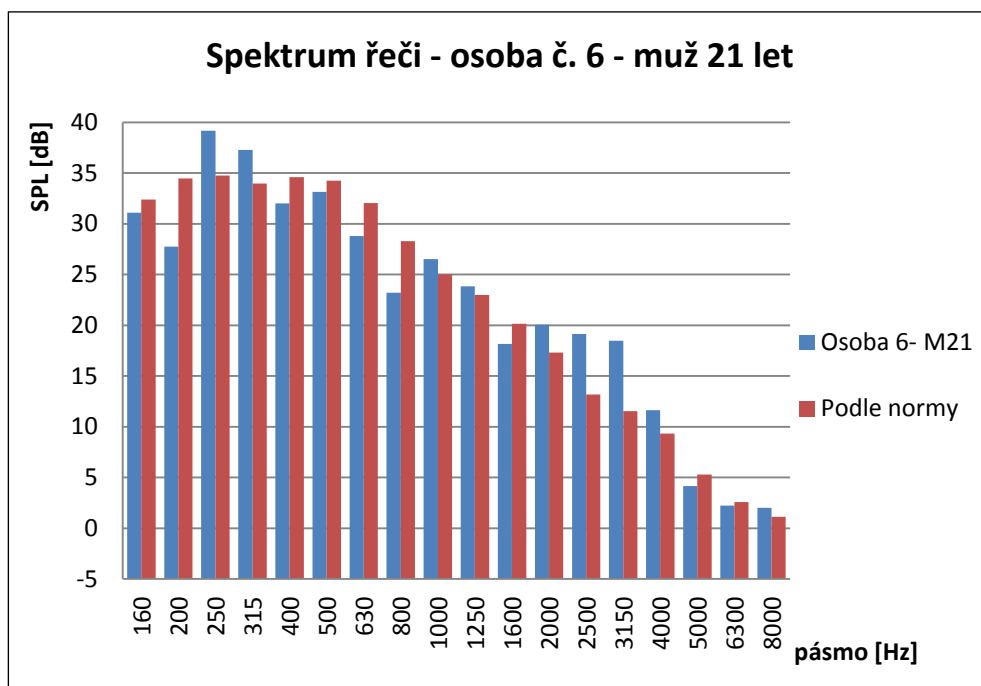
Obr. 3.8 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 3 – žena 43 let



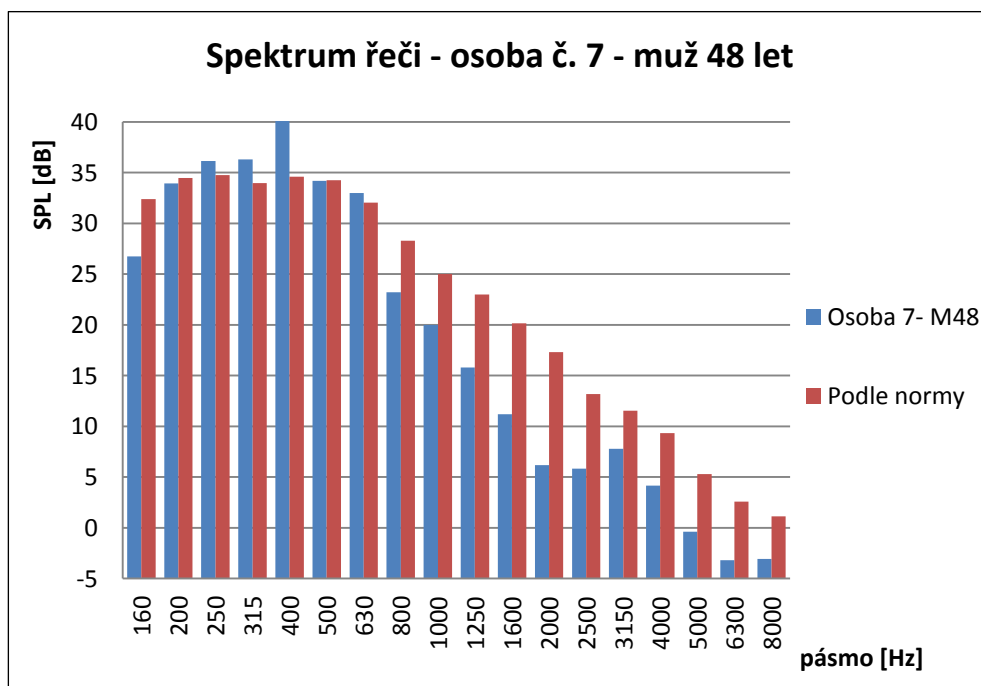
Obr. 3.9 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 4 – žena 50 let



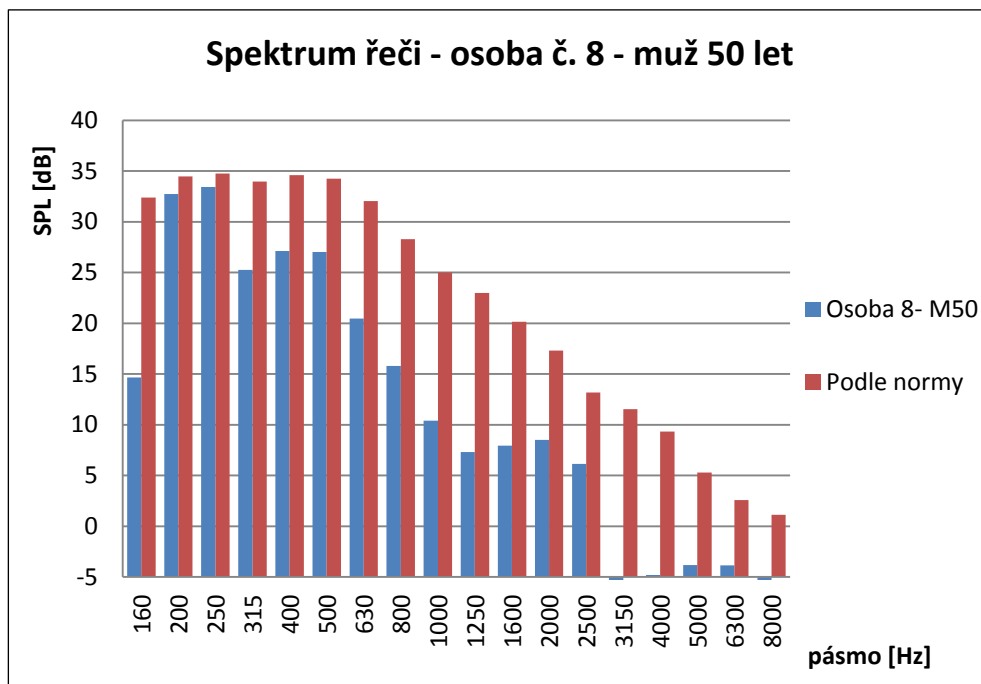
Obr. 3.10 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 5 – muž 21 let



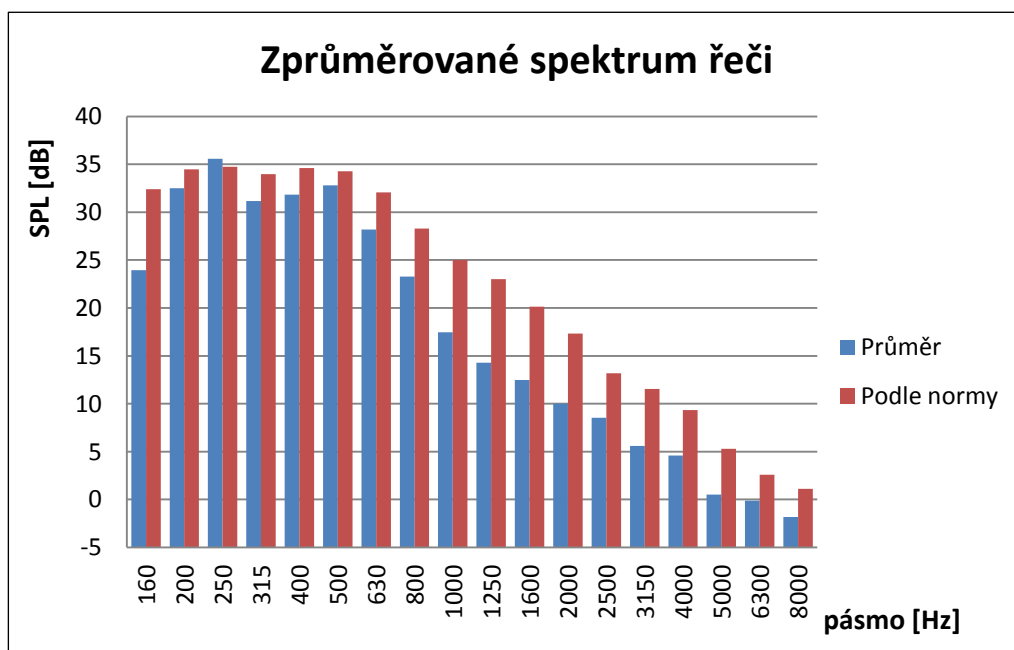
Obr. 3.11 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 6 – muž 21 let



Obr. 3.12 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 7 – muž 48 let



Obr. 3.13 Spektrum řeči podle normy k SII osoby č. 8 – muž 50 let



Obr. 3.14 Porovnání průměrného spektra řeči osob č. 1 - 8 s normou k SII

Pro zhodnocení naměřených spekter hlasů byly zvoleny dva postupy. První postup sčítá odchylky od ideálního průběhu spektra řeči podle normy k SII. Druhý postup vyhodnocuje přímo SII, kde spektrum hladiny akustického tlaku hluku bylo

konstantní 0 dB. Jedná se o neobvyklé použití SII, obvykle je hlavním kritériem pro SII právě spektrum hluku. Porovnání je naznačeno v Tab. 3.1. Pro vyhodnocení by bylo možno použít i jiné statistické metody [22], což ovšem není tématem této práce.

Tab. 3.1 Srovnání naměřených hodnot

Osoba č.	Pohlaví	Věk	Součet odchylek	Pořadí podle součtu odchylek	SII bez hluku	Pořadí podle SII
1	žena	18	112,86	6	0,835	4
2	žena	21	66,37	3	0,873	2
3	žena	43	82,14	4	0,861	3
4	žena	50	58,25	2	0,825	5
5	muž	21	137,90	7	0,731	7
6	muž	21	52,44	1	0,948	1
7	muž	48	86,34	5	0,821	6
8	muž	50	181,20	8	0,708	8
-	průměr	34	97,19	-	0,825	-

Z vypočtených hodnot vyplývá, že nejlépe se ideálnímu průběhu spektra řeči blíží osoba č. 6. Nejméně pak osoba č. 8. Rozdíl výsledků obou metod je dán tím, že metoda výpočtu SII používá váhovací faktor pro jednotlivá pásma a tím jim přiřazuje různou důležitost v závislosti na citlivosti lidského ucha. Postup založený na součtu odchylek tedy není v tomto případě příliš vhodný.

3.3.2 Měření hluku

Jak už bylo zmíněno v předchozích kapitolách, k určování indexu srozumitelnosti řeči je třeba znát spektrum hluku v daném prostředí. Vzhledem ke směřování práce bylo zvoleno měření hluku v jedoucím autě. Měření bylo opět prováděno postupem kapitoly 3.1.2 a zpracováno podle kapitoly 3.2.1.

Měření bylo uskutečněno pro různé rychlosti v intervalu 30 – 90 km/h se třetím převodovým stupněm pro dvě umístění mikrofону. Ten byl umístěn v místě pravého ucha pasažérů vpředu vpravo a vzadu vpravo. Délka nahrávek pro konkrétní umístění a rychlost je 2×30 s. Měření bylo provedeno na asfaltové silnici s mírným sklonem, proto byly nahrány dvě nahrávky směrem nahoru a dolů, které byly následně zprůměrovány.

Nahrávání proběhlo na silnici číslo 483 mezi obcemi Veřovice a Mořkov, přesněji mezi autobusovými zastávkami „Veřovice, rozc.směr Mořkov“ a „Mořkov, pomník rudoarmějce“. Povrch silnice byl v pořádku, bez výmolů.

Měření proběhlo ve dvou vozidlech:

Auto 1 byl Volkswagen Passat Variant 3B 1,9 TDI, motor ATJ, rok výroby 2000, celkem najeto 252000 km. Použité pneumatiky: Pirelli Snowcontrol Serie II, rozměr 205/55 R16, hliníkové disky.

Auto 2 byl Volkswagen Golf III 1,9 TDI, motor 1Z, rok výroby 1995, celkem najeto 304000 km. Použité pneumatiky: Pirelli Snowsport 190, rozměr 185/60 R14, plechové disky.

Obě vozidla splňovala požadavky dané státní technickou kontrolou a nebyly na nich prováděny žádné úpravy, které by změnily akustický projev vozidla. Stav vozidla a hlukové izolace odpovídá starší vozidla a naježděné vzdálenosti.

V Tab. 3.2 se nachází odpovídající otáčky k měřeným rychlostem podle tachometru a otáčkoměru měřeného auta.

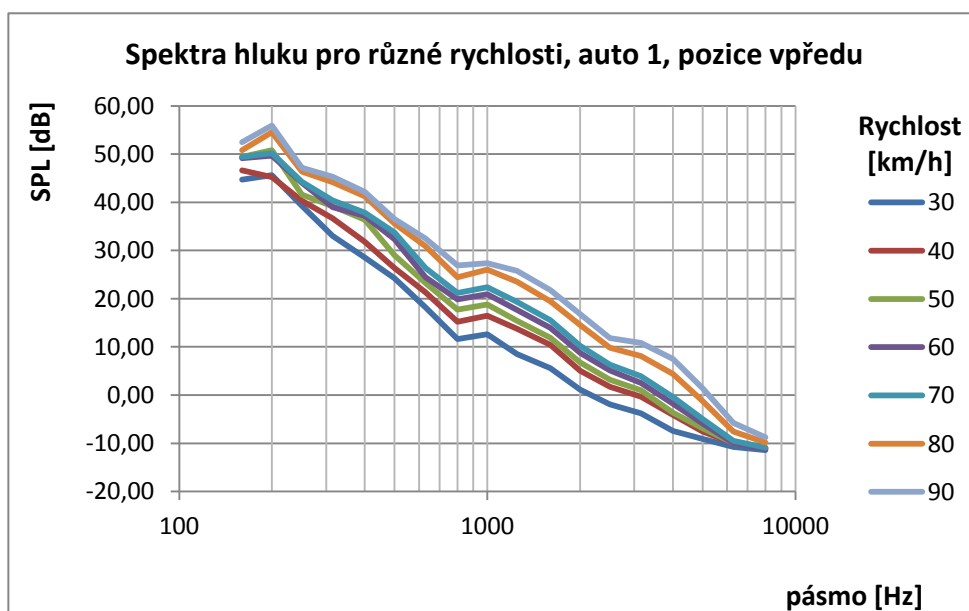
Tab. 3.2 Tabulka otáček obou měřených aut k odpovídajícím rychlostem

Rychlost [km/h]	30	40	50	60	70	80	90
Auto 1 [ot./min]	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3300
Auto 2 [ot./min]	1100	1500	1900	2300	2650	3000	3300

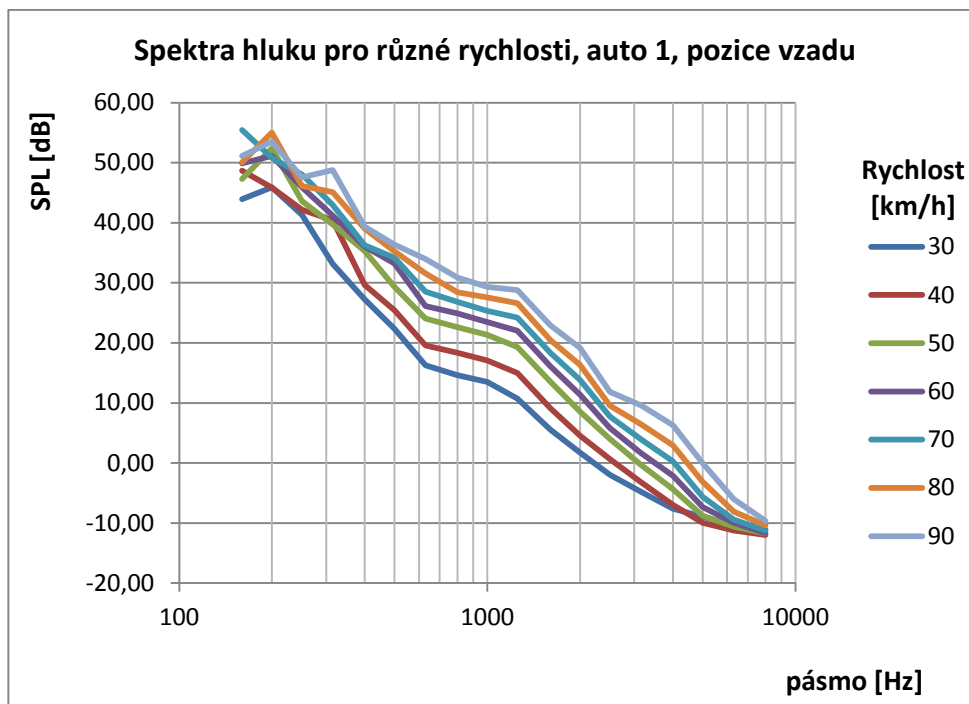
Při vyhodnocování spekter byly použity parametry, které jsou v praxi obvykle používány:

- frekvenční rozlišení FFT: 4 Hz
- překrytí: 66,7 %
- počet průměrů: 360 (pro délku záznamu 30 s)
- časové okno: Hanningovo

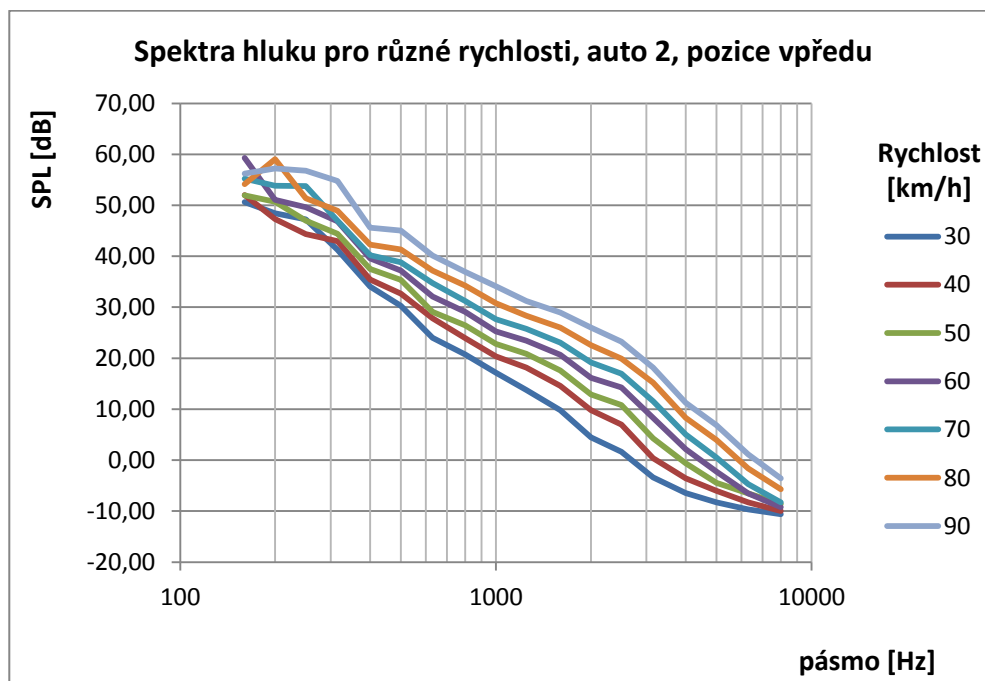
Naměřená spektra hladin akustického tlaku hluku (spektrum hluku podle normy k SII) jsou zobrazena na obrázcích Obr. 3.15 až Obr. 3.18 dvě auta a dvě polohy mikrofonu pro rychlosti 30 - 90km/h při třetím rychlostním stupni.



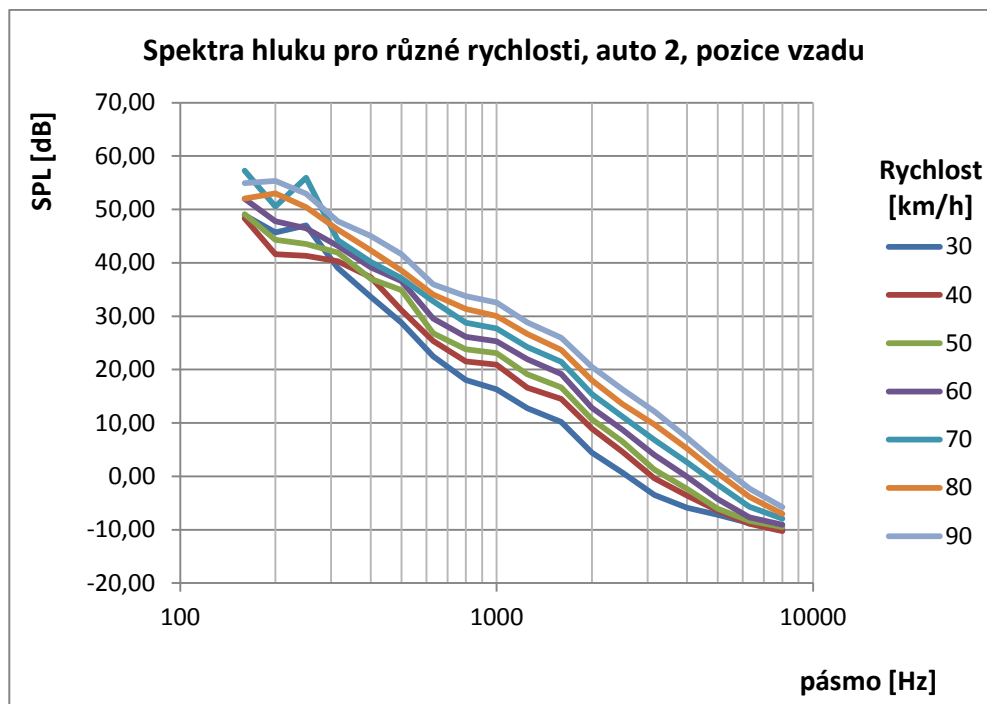
Obr. 3.15 Spektrum hluku podle normy k SII pro různé rychlosti u auta 1, pozice mikrofonu vpředu vpravo



Obr. 3.16 Spektrum hluku podle normy k SII pro různé rychlosti u auta 1, pozice mikrofonu vzadu vpravo

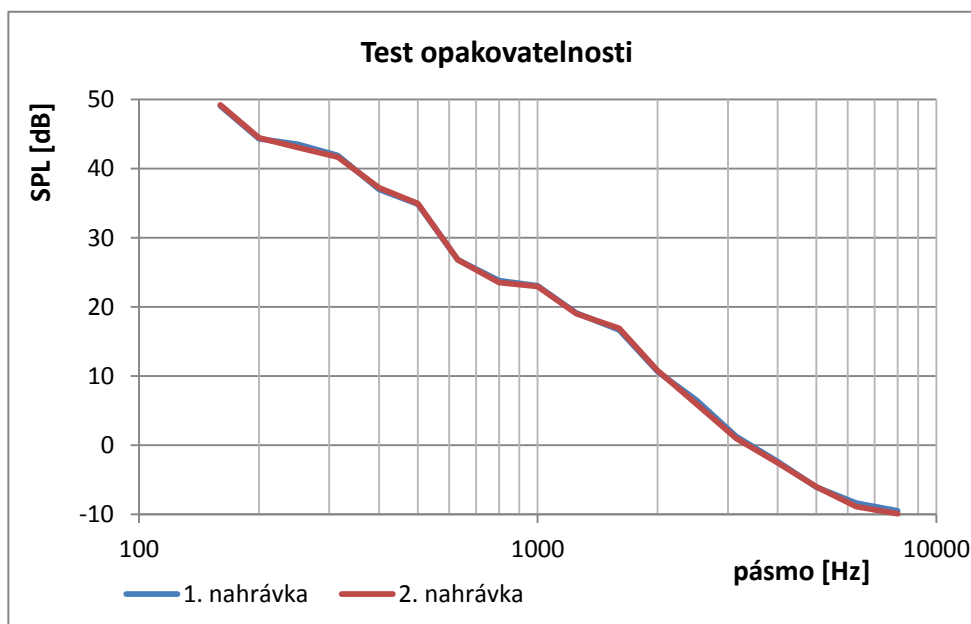


Obr. 3.17 Spektrum hluku podle normy k SII pro různé rychlosti u auta 2, pozice mikrofonu vpředu vpravo



Obr. 3.18 Spektrum hluku podle normy k SII pro různé rychlosti u auta 2, pozice mikrofonu vzadu vpravo

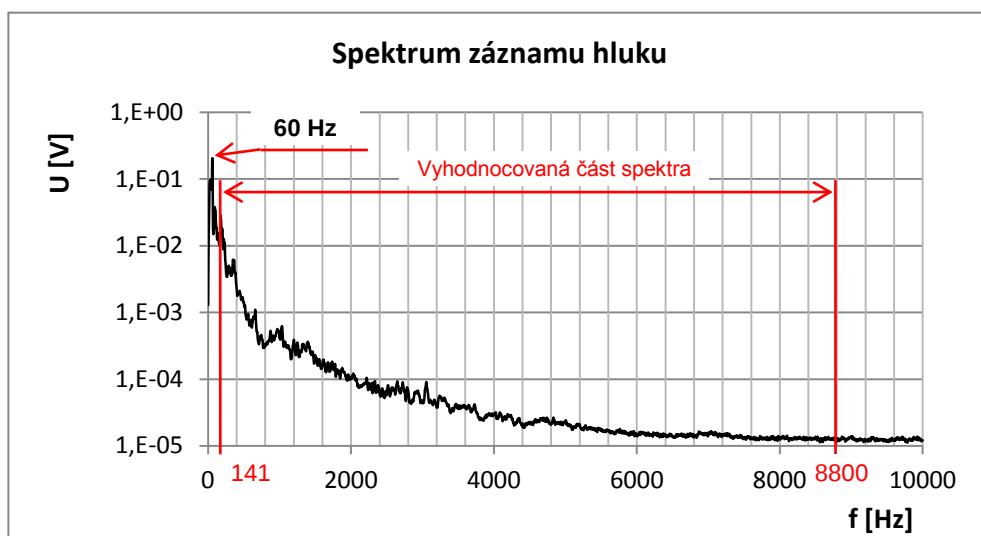
Pro ujištění, že měření je dostatečně průkazné, byl proveden test opakovatelnosti. U jedné konkrétní rychlosti – 50 km/h, pozice vzadu, auto 2, byly pořízeny dvě nahrávky s odstupem 30 minut, u nichž byla zvlášť vyhodnocena spektra. Porovnání spekter se nachází na Obr. 3.19. Je zřejmé, že spektra jsou téměř identická, proto je možné říct, že měření jsou opakovatelná při stejných podmínkách.



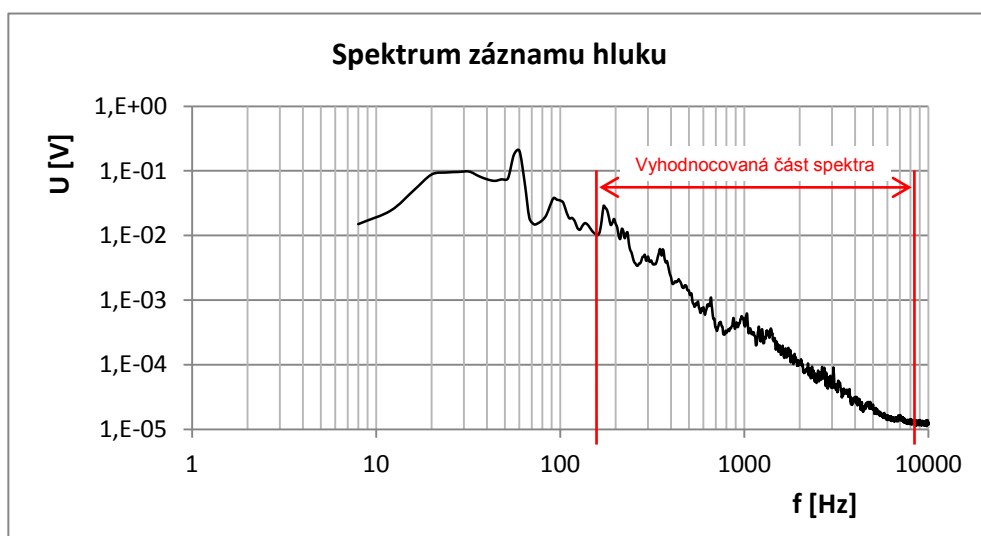
Obr. 3.19 Test opakovatelnosti – srovnání spekter dvou nahrávek pořízených při stejných podmínkách s odstupem 30 minut

K naměřeným spektrům je vhodné poznamenat, že nepostihují dominantní hluk motoru, protože jeho akustický projev se nachází mimo frekvenční pásmo metody. Dominantní hluk motoru je pro čtyřválcový čtyřtakt motor dán dvojnásobkem počtu otáček (2. harmonická složka otáček motoru), což je dáno jeho konstrukcí. Při rozmezí otáček 1000 - 3300 ot/min je rozmezí dominantní frekvence 67 - 110 Hz. Spektrum vyhodnocované části vzhledem k celkovému naměřenému spektru je zobrazeno na Obr. 3.20.

Obr. 3.20 potvrzuje domněnku, že vyhodnocované spektrum pro SII neobsahuje nejvyšší hodnoty hluku, pohybující se kolem dominantní frekvence motoru. Z tohoto použitého grafu je možno vyčíst dominantní frekvenci 60 Hz, což odpovídá 1800 ot/min motoru. (Nastavení programu: frekvenční rozlišení 4Hz, překrytí 66,7%, počet průměrů 360, Hanningovo okno)



Obr. 3.20 Naměřené spektrum hluku auta 1, 50 km/h, pozice vpředu



Obr. 3.21 Obdoba Obr. 3.20 s logaritmičnými osami

4 VYHODNOCOVÁNÍ INDEXU SROZUMITELNOSTI ŘEČI

Tato kapitola se zabývá výpočtem indexu srozumitelnosti řeči v jazyce C, a jeho následnou interpretací. Zároveň je možno zde najít ukázky průběhů SII měřených aut z kapitoly 3.3.2 a také průběhy SII z rozjezdů automobilů pořízených společností Škoda Auto a. s.

4.1 Program pro výpočet SII v jazyce C

Pro výpočet indexu srozumitelnosti řeči v programu VW Akustik byla napsána funkce v jazyce C. Po formální stránce se tato funkce řídí zásadami programování v koncernu Volkswagen, kde jsou proměnné ve funkci pojmenovány obvykle celým názvem, nikoliv jen zkratkou nebo zástupným symbolem, čímž odpadne potřeba většího množství komentářů.

Tato funkce byla taktéž použita pro všechny výpočty SII v této práci. Tyto výpočty byly prováděny v programu Visual Studio 2008.

Vstupem funkce solveSII je pole 18 hodnot, které tvoří třetinooktávové spektrum hluku v rozmezí 160 - 8000 Hz. Výstupem funkce je výsledná hodnota SII. Uvnitř funkce je možné zvolit jednu ze tří možných úrovní hlasitosti řeči – normální, zvýšená nebo hlasitá řeč.

```
double solveSII(double *InputNoiseLevel)
{
    //InputNoiseLevel - input - 18 numbers array of noise level in one-third
    octave bands 160-8000Hz

    //Choose one typ of speech

    //Normal speech
    double SpeechLevel[18] = {32.41, 34.48, 34.75, 33.98, 34.59, 34.27,
32.06, 28.3, 25.01, 23, 20.15, 17.32, 13.18, 11.55, 9.33, 5.31, 2.59, 1.13};

    //Raised speech
    //double SpeechLevel[18] = {33.81, 33.92, 38.98, 38.57, 39.11, 40.15,
38.78, 36.37, 33.86, 31.89, 28.58, 25.32, 22.35, 20.15, 16.78, 11.47, 7.67,
5.07};

    //Loud speech
    //double SpeechLevel[18] = {35.29, 37.76, 41.55, 43.78, 43.3, 44.85,
45.55, 44.05, 42.16, 40.53, 37.7, 34.39, 30.98, 28.21, 25.41, 18.35, 13.87,
11.39};

    double BandImportanceFunction[18] = {0.0083, 0.0095, 0.015, 0.0289,
0.044, 0.0578, 0.0653, 0.0711, 0.0818, 0.0844, 0.0882, 0.0898, 0.0868, 0.0844,
0.0771, 0.0527, 0.0364, 0.0185};
    double Frequency[18] = {160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000,
1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000};
    double BandWidth[18] = {35, 49, 58, 70, 87, 125, 141, 173, 250, 284,
346, 490, 575, 705, 870, 1250, 1420, 1730};
    double InternalNoiseLevel[18] = {0.6, -1.7, -3.9, -6.1, -8.2, -9.7, -
```

```

10.8, -11.9, -12.5, -13.5, -15.4, -17.7, -21.2, -24.2, -25.9, -23.6, -15.8, -
7.1};
    double StandardSpeechLevel[18] = {32.41, 34.48, 34.75, 33.98, 34.59,
34.27, 32.06, 28.3, 25.01, 23, 20.15, 17.32, 13.18, 11.55, 9.33, 5.31, 2.59,
11.13};
    double NoiseLevel[18];
    double SelfspeechMaskingLevel[18];
    double VariableB[18];
    double SlopePerOctaveOfSpreadOfMasking[18];
    double EquivalentMaskingLevel[18];
    double LevelDistortionFactor[18];
    double EquivalentDisturbanceLevel[18];
    double VariableK[18];
    double BandAudibilityFunction[18];
    int Band = 0;
    int Band2 = 0;
    double variable = 0;
    double SpeechIntelligibilityIndex = 0;

    for (Band = 0; Band < 18; Band++)
    {
        NoiseLevel[Band] = InputNoiseLevel[Band] - 10 *
log10(BandWidth[Band]);
        SelfspeechMaskingLevel[Band] = SpeechLevel[Band] - 24;

        if(NoiseLevel[Band] > SelfspeechMaskingLevel[Band])
            VariableB[Band] = NoiseLevel[Band];
        else
            VariableB[Band] = SelfspeechMaskingLevel[Band];

        SlopePerOctaveOfSpreadOfMasking[Band] = -80 + 0.6 *
(VariableB[Band] + 10 * log10(Frequency[Band]) - 6.353);
    }

    EquivalentMaskingLevel[0] = VariableB[0];

    for (Band = 1; Band < 18; Band++)
    {
        for (Band2 = 0; Band2 < Band; Band2++)
        {
            variable = variable + pow(10, 0.1 * (VariableB[Band2] +
3.32 * SlopePerOctaveOfSpreadOfMasking[Band2] * log10(0.89 * Frequency[Band] /
Frequency[Band2])));
        }

        EquivalentMaskingLevel[Band] = 10 * log10(pow(10, 0.1 *
NoiseLevel[Band]) + variable);
        variable = 0;
    }

    for (Band = 0; Band < 18; Band++)
    {
        if(EquivalentMaskingLevel[Band] > InternalNoiseLevel[Band])
            EquivalentDisturbanceLevel[Band] =
EquivalentMaskingLevel[Band];
        else

```

```

        EquivalentDisturbanceLevel[Band] =
InternalNoiseLevel[Band];

        LevelDistortionFactor[Band] = 1 - (SpeechLevel[Band] -
StandardSpeechLevel[Band] - 10) / 160;
        VariableK[Band] = (SpeechLevel[Band] -
EquivalentDisturbanceLevel[Band] + 15) / 30;

        if(VariableK[Band] > 1)
            VariableK[Band] = 1;
        if(VariableK[Band] < 0)
            VariableK[Band] = 0;

        if(LevelDistortionFactor[Band] > 1)
            LevelDistortionFactor[Band] = 1;
        if(LevelDistortionFactor[Band] < 0)
            LevelDistortionFactor[Band] = 0;

        BandAudibilityFunction[Band] = LevelDistortionFactor[Band] *
VariableK[Band];
        SpeechIntelligibilityIndex = SpeechIntelligibilityIndex +
BandAudibilityFunction[Band] * BandImportanceFunction[Band];    // result
    }

    return SpeechIntelligibilityIndex;
}

```

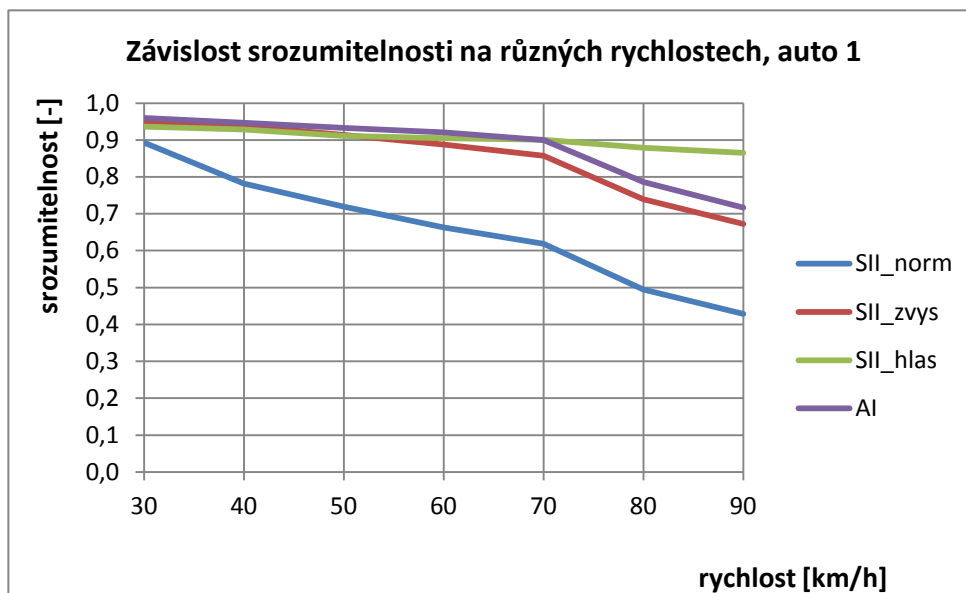
Program byl upraven dle požadavků VW tak, aby byl implementovatelný do systému SW Akustik System, používaného v celém koncernu Volkswagen, včetně příbuzných závodů, např. Shanghai Volkswagen, Volkswagen do Brasil, Volkswagen de Mexico a dalších pro zpracování dat z akustických analyzátorů a produkování standardních koncernových grafických výstupů. Vlastní implementace algoritmu do programu nebyla možná, protože autor nedal zdrojový program k dispozici. Variantně byla prozkoumána možnost implementace do programu Brüel & Kjaer Automotive Sound Quality, jehož modul pro metriky (veličiny pro hodnocení hluků různých typů) obsahuje, podobně jako program Akustik, výpočet artikulačního indexu a dovoluje implementaci uživatelských metrik. Přestože přípravné práce pro tuto implementaci byly v rámci této bakalářské práce provedeny, rozsah úplné implementace přesahuje aktuální možnosti této bakalářské práce. Implementace bude řešena samostatnou navazující bakalářskou prací.

4.2 Průběhy SII ustálených rychlostí z nahrávaných automobilů

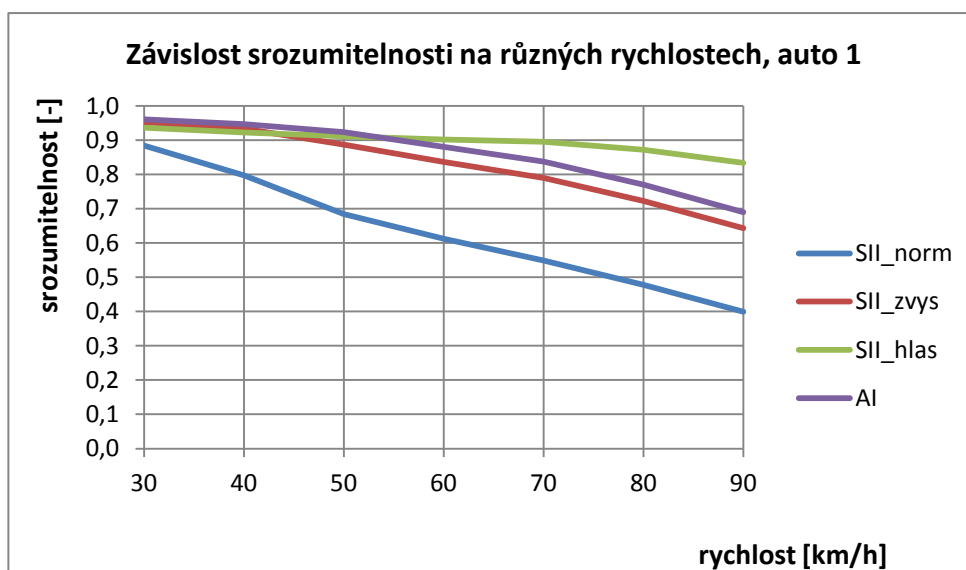
V kapitole 3.3.2 byla z pořízených nahrávek vypočtena spektra hluku. Tato kapitola se zabývá výpočtem SII z těchto třetinooktávových spekter.

Jsou zde uvedeny různé kombinace pro porovnání a srovnání, například závislost srozumitelnosti podle různých definic na ustálené rychlosti na obrázcích Obr. 4.1 až Obr. 4.4. Dále srovnání míst vpředu a vzadu pro různé rychlosti u konkrétních automobilů na Obr. 4.5 a Obr. 4.6. V neposlední řadě taky srovnání obou měřených automobilů v závislosti na rychlosti a konkrétní poloze z hlediska srozumitelnosti na Obr. 4.7 a Obr. 4.8.

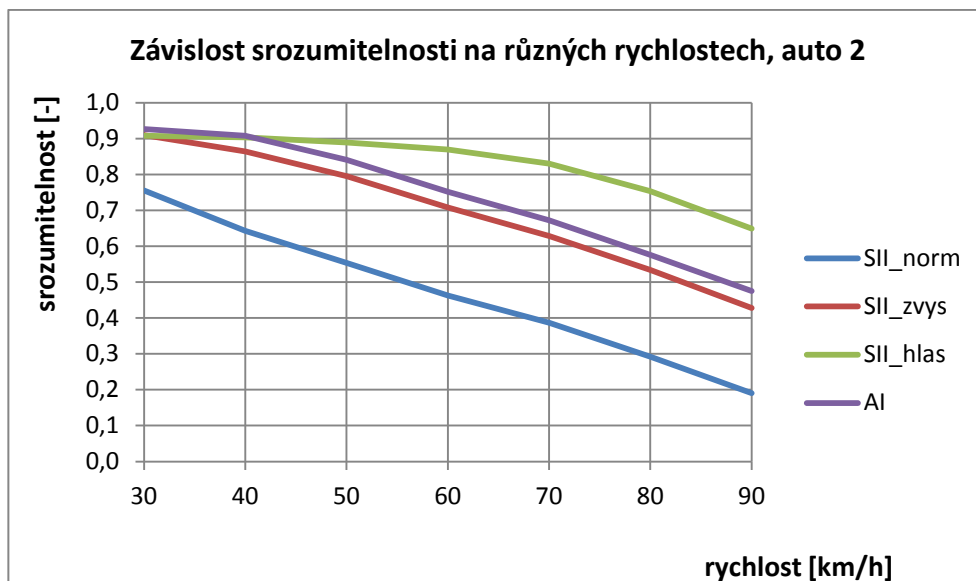
Pro zjednodušení zápisu bude nadále označován index srozumitelnosti řeči s použitím spektra řeči z normy normální hlasitosti jako SII_{norm} , se zvýšenou hlasitostí jako SII_{zvys} a s hlasitou řečí jako SII_{hlas} .



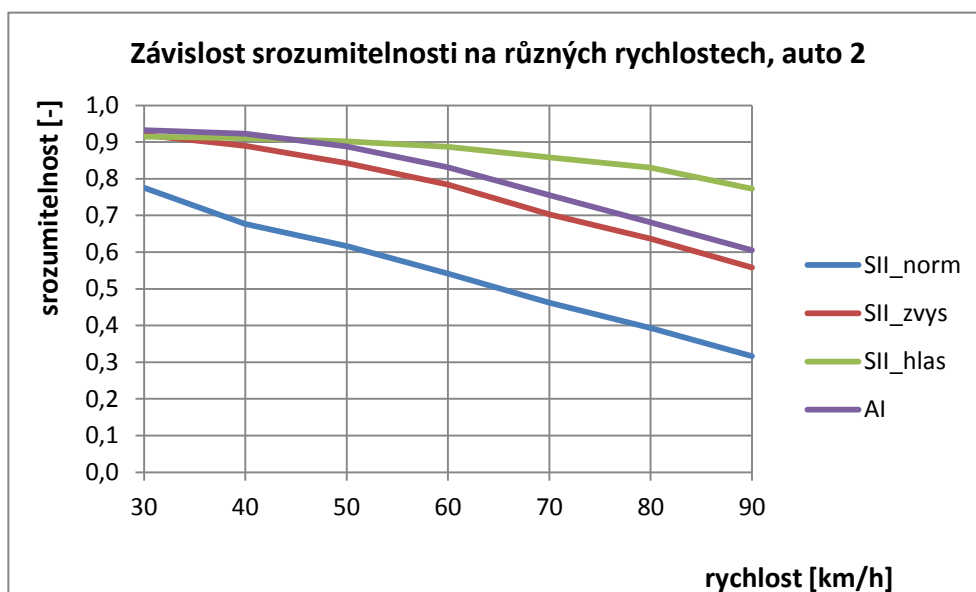
Obr. 4.1 Závislost srozumitelnosti řeči z různých metod na rychlosti pro auto 1 a poloze vpředu vpravo



Obr. 4.2 Závislost srozumitelnosti řeči z různých metod na rychlosti pro auto 1 a poloze vzadu vpravo



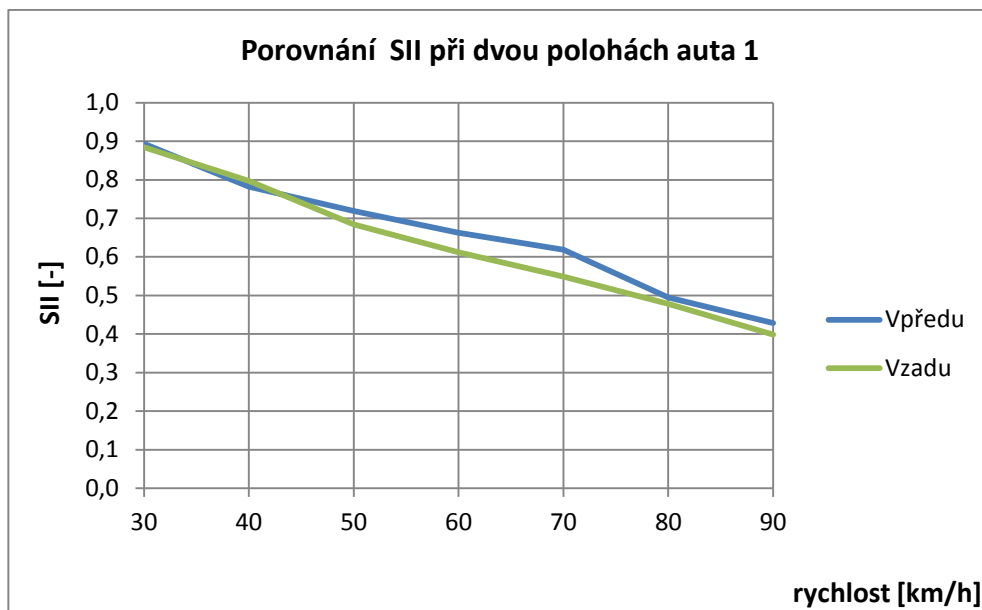
Obr. 4.3 Závislost srozumitelnosti řeči z různých metod na rychlosti pro auto 2 a poloze vpředu vpravo



Obr. 4.4 Závislost srozumitelnosti řeči z různých metod na rychlosti pro auto 2 a poloze vzadu vpravo

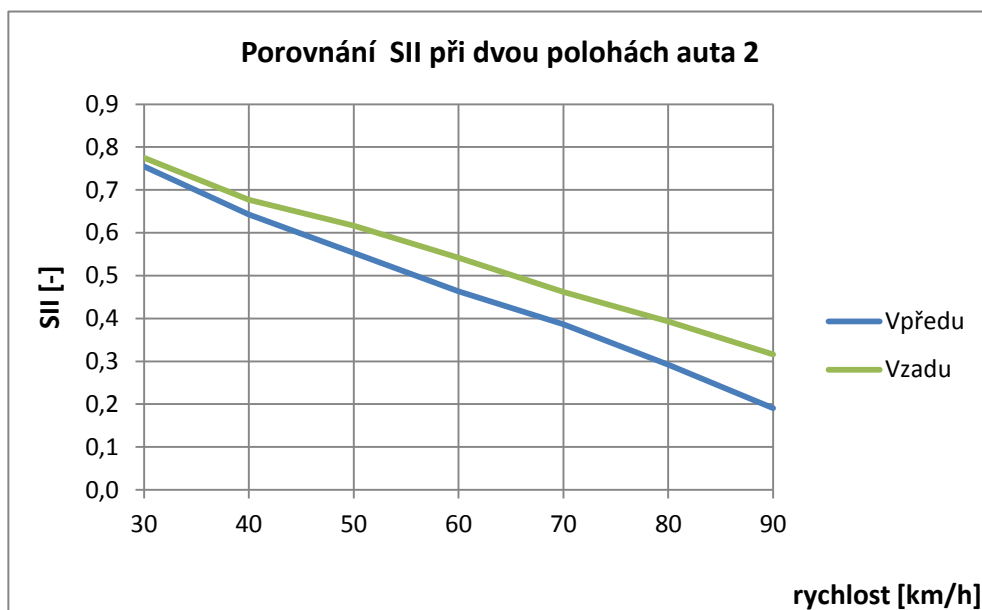
Z předcházejících grafů plyne logický závěr, že se zvyšující se rychlostí srozumitelnost klesá. Nejpřísněji srozumitelnost hodnotí index srozumitelnosti řeči s normální hlasitostí řeči. Za pozornost určitě stojí, že SII s hlasitou řečí může být při nízkých rychlostech nižší, než SII se zvýšenou hlasitostí řeči. Je to dáno vlivem samomaskování řeči, kdy hlasitá řeč v relativně tichém prostředí způsobí snížení srozumitelnosti tím, že sama sebe maskuje a tím pádem zkresluje, vliv malého hluku je pak zanedbatelný.

V následujících Obr. 4.5 a Obr. 4.6 jsou z hlediska SII s normální řečí porovnány polohy vpředu a vzadu pro daná auta.



Obr. 4.5 Porovnání polohy vpředu a vzadu v závislosti na rychlosti u auta 1

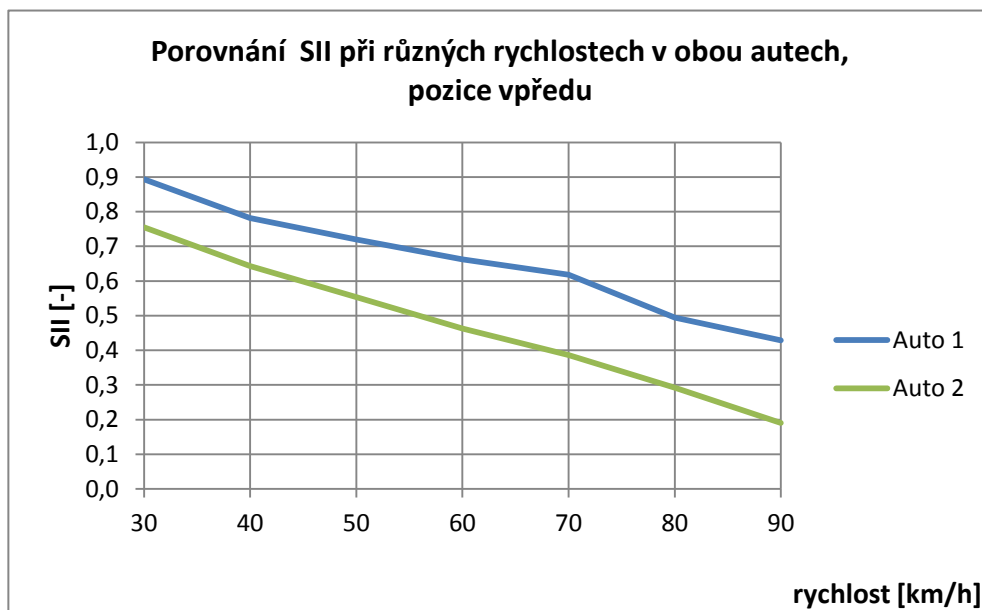
Z Obr. 4.5 je zřejmé, že z hlediska srozumitelnosti řeči jsou na tom lépe pasažéři vpředu, což může být nezvyklé. Vysvětlením může být, že motorový prostor je dobře odhlučněn od kabiny, naopak hluk vzadu může pocházet od zadní nápravy, kde je odhlučnění slabší, navíc zakrytí kufru pouze roletou, použitou u tohoto typu vozidla taky hluk příliš neomezuje. Rozdíly mohou způsobovat také použité pneumatiky a disky.



Obr. 4.6 Porovnání polohy vpředu a vzadu v závislosti na rychlosti u auta 2

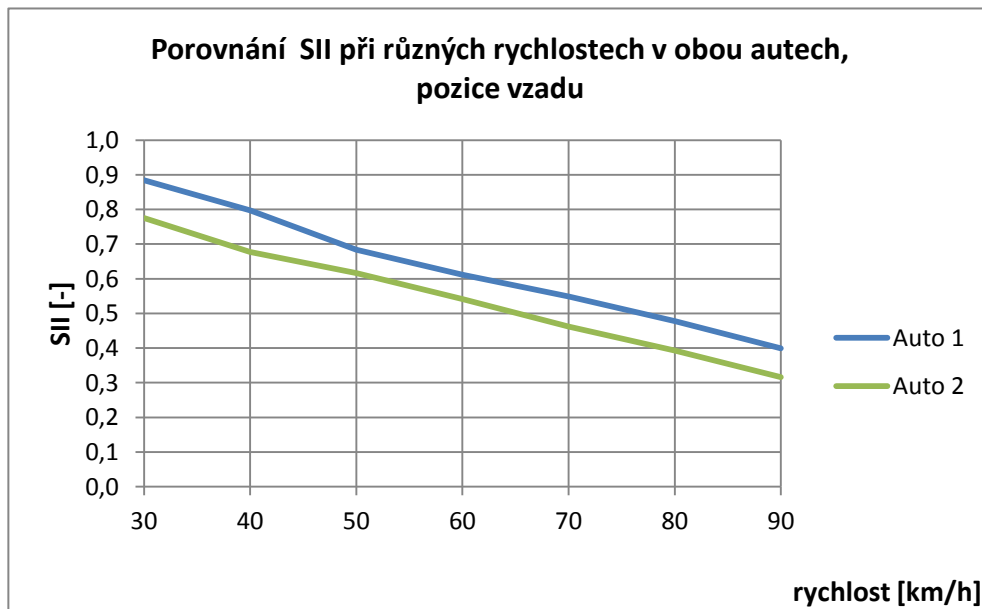
Z Obr. 4.6 na rozdíl od Obr. 4.5 plyne, že srozumitelnost je lepší na zadních sedadlech. Důvodem může být špatná izolace motorového prostoru od kabiny, což může být dáno stářím vozidla.

V následujících Obr. 4.7 a Obr. 4.8 jsou obě auta porovnávána pomocí SII s normální řečí při každé poloze zvlášť.



Obr. 4.7 Porovnání obou měřených aut z hlediska SII v závislosti na rychlosti, poloha vpředu vpravo

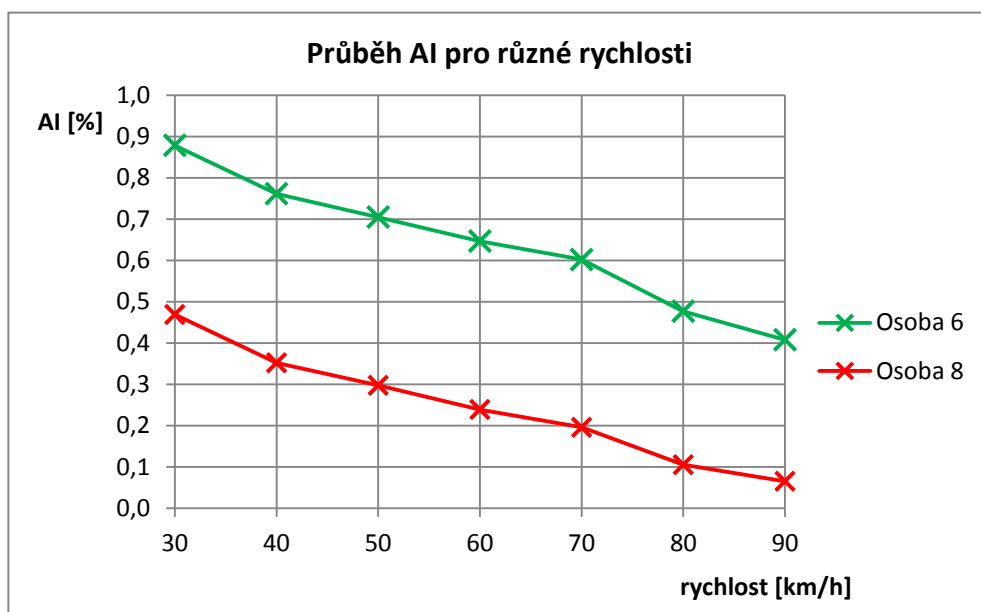
Z Obr. 4.7 je jasné, že auto 1 je na tom z hlediska srozumitelnosti na předních sedadlech lépe, což může být způsobeno rozdílným stářím vozidel a z toho vyplývající stav a použitím zvukové izolace a zároveň použitím modernějšího méně hlučného motoru.



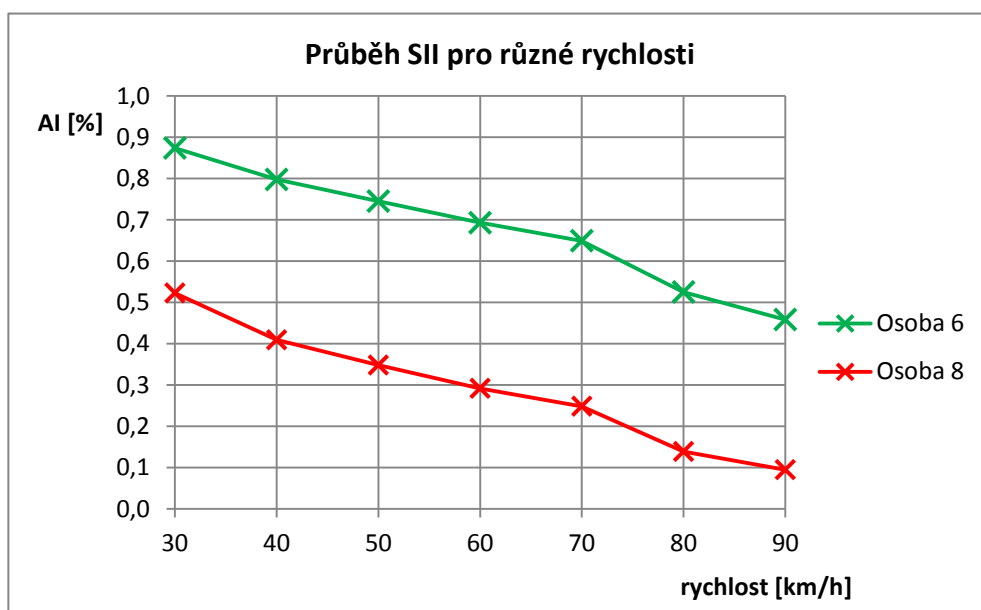
Obr. 4.8 Porovnání obou měřených aut z hlediska SII v závislosti na rychlosti, poloha vpředu vpravo

Rozdíl ve srozumitelnosti na zadních sedadlech vyplývající z Obr. 4.8 není již tak velký, jako na předních sedadlech, přesto je stále značný, vysvětlení bude obdobné jako u Obr. 4.7.

Pro dvě osoby z kapitoly 3.3.1 byly pro různé rychlosti a polohu vpředu vpravo vypočítány artikulační indexy a index srozumitelnosti řeči podle kapitoly 2.1.3 a 2.2.3. Jedná se o osobu č. 6, jejíž spektrum řeči bylo vyhodnoceno jako nejlepší, a osobu č. 8 s nejhorším spektrem řeči.



Obr. 4.9 Průběh AI pro osoby s nejlepším a nejhorším spektrem řeči podle postupu v kapitole 3.3.1 pro různé rychlosti auta č. 1, pozice vpředu



Obr. 4.10 Průběh SII pro osoby s nejlepším a nejhorším spektrem řeči podle postupu v kapitole 3.3.1 pro různé rychlosti auta č. 1, pozice vpředu

Z Obr. 4.9 i Obr. 4.10 vyplývá, že pro osobu s nejlépe hodnoceným spektrem řeči byl vypočten pro různé rychlosti mnohem vyšší artikulační index i index srozumitelnosti řeči, než pro druhou osobu s nejhůře hodnoceným spektrem řeči, což odpovídá předpokladům.

4.3 Průběhy SII z rozjezdů automobilů Škoda

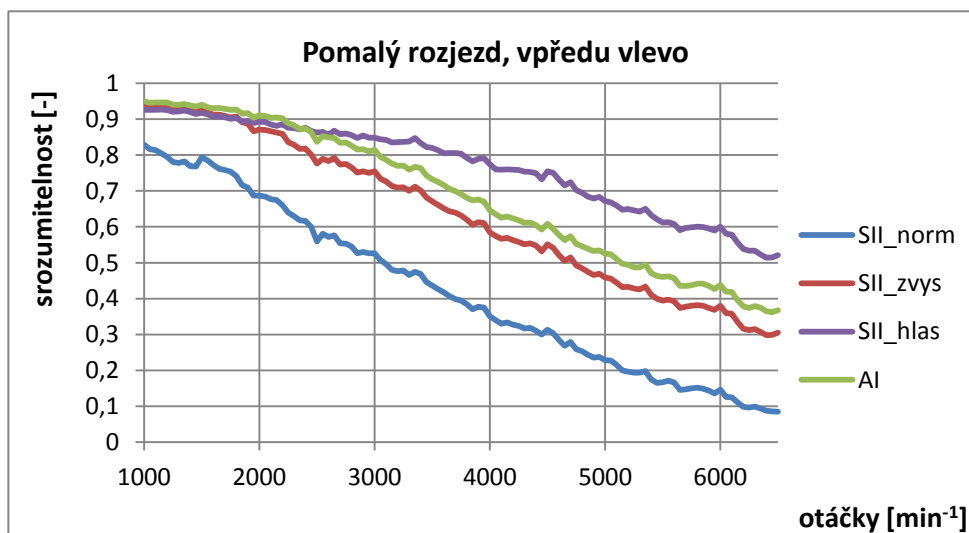
V praxi se většinou místo ustálených rychlostí nahrávají rozjezdy automobilů. Ty se následně vyhodnocují v závislosti na otáčkách motoru. Bez potřebného vybavení, jako je válcový dynamometr (válece pro simulaci jízdy automobilu) a software pro vyhodnocování v závislosti na otáčkách je měření hluku při rozjezdech složité a na běžných silnicích nebezpečné, proto se v rámci této práce nekonalo a byla použita data společnosti Škoda Auto a. s, která tato společnost na ukázkou poskytla. Součástí této práce bylo také seznámení se s metodikou a postupem měření hluku na válcovém dynamometru a vlastní účast na měření. Více podrobnosti z měření ve Škoda Auto a. s., než je v této práci, není možné z důvodu utajení uvést.

Rozjezdy se provádějí ve dvou variantách:

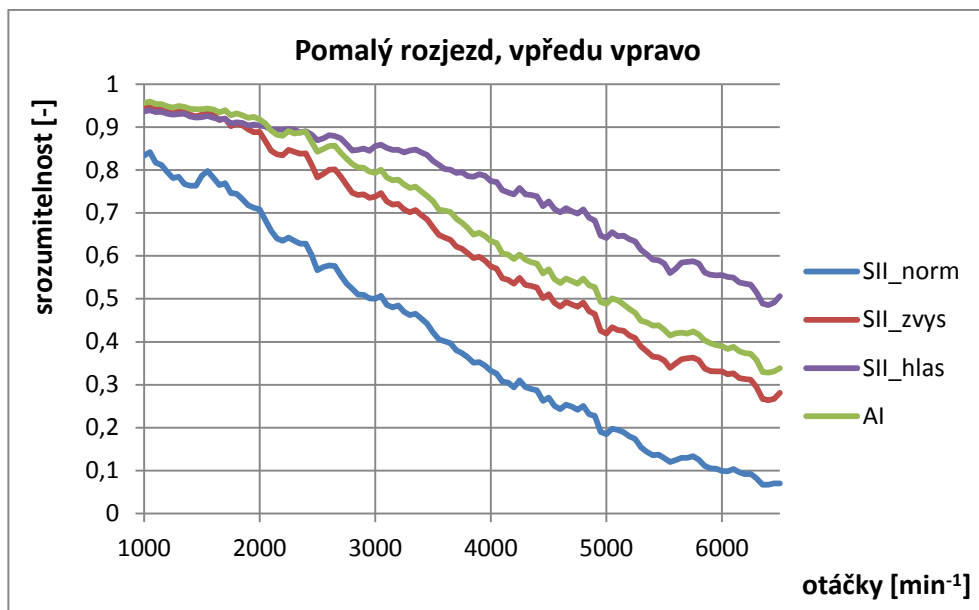
- rychlý rozjezd = zrychlení na plný plyn
- pomalý rozjezd = zrychlení s hodnotou do $0,5 \text{ ms}^{-2}$

Společnost Škoda Auto a. s. poskytla na ukázkou data k rozjezdu dvou automobilů, označovaných dále jako Auto 3 a Auto 4. Na Obr. 4.11, Obr. 4.12 a Obr. 4.13 se nachází rychlý rozjezd a na Obr. 4.14, Obr. 4.15 a Obr. 4.16 se nachází pomalý rozjezd Auto 3. Srovnání obou rozjezdů při stejné poloze je na Obr. 4.17.

Všechny průběhy mají stejnou tendenci s prakticky lineárním poklesem srozumitelnosti se zvyšujícími se otáčkami podle všech způsobů vyhodnocení. Pouze u metody SII_norm se průběh liší v několika detailech, které budou rozebrány dále.



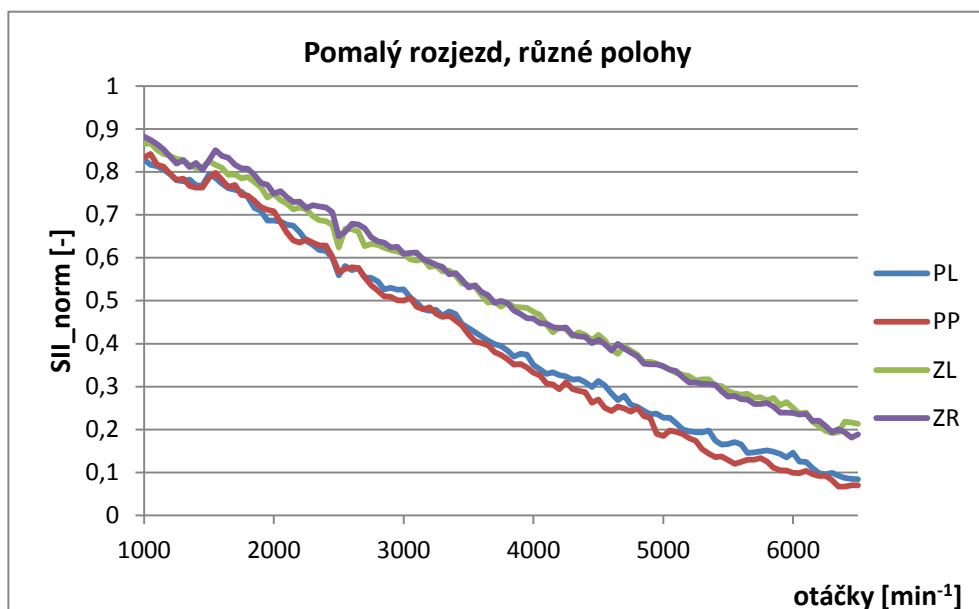
Obr. 4.11 Pomalý rozjezd, poloha vpředu vlevo, Auto 3, převzatá data



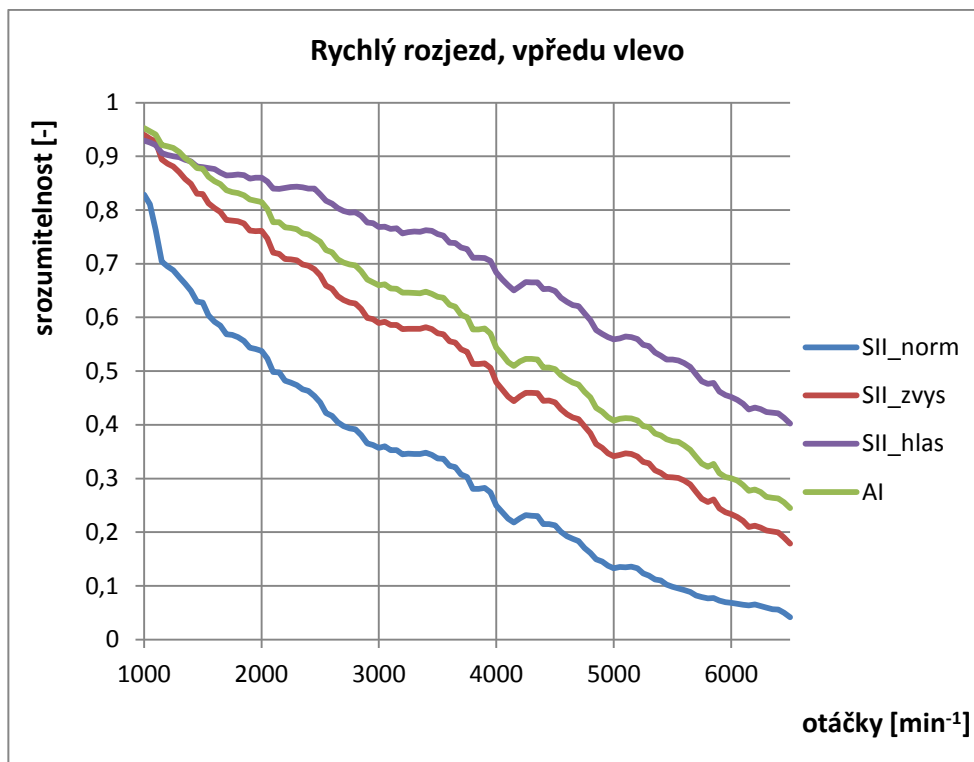
Obr. 4.12 Pomalý rozjezd, poloha vpředu vpravo, Auto 3, převzatá data

Pro zkrácení zápisu budou v grafech souvisejících s polohou mikrofonu použity tyto zkratky:

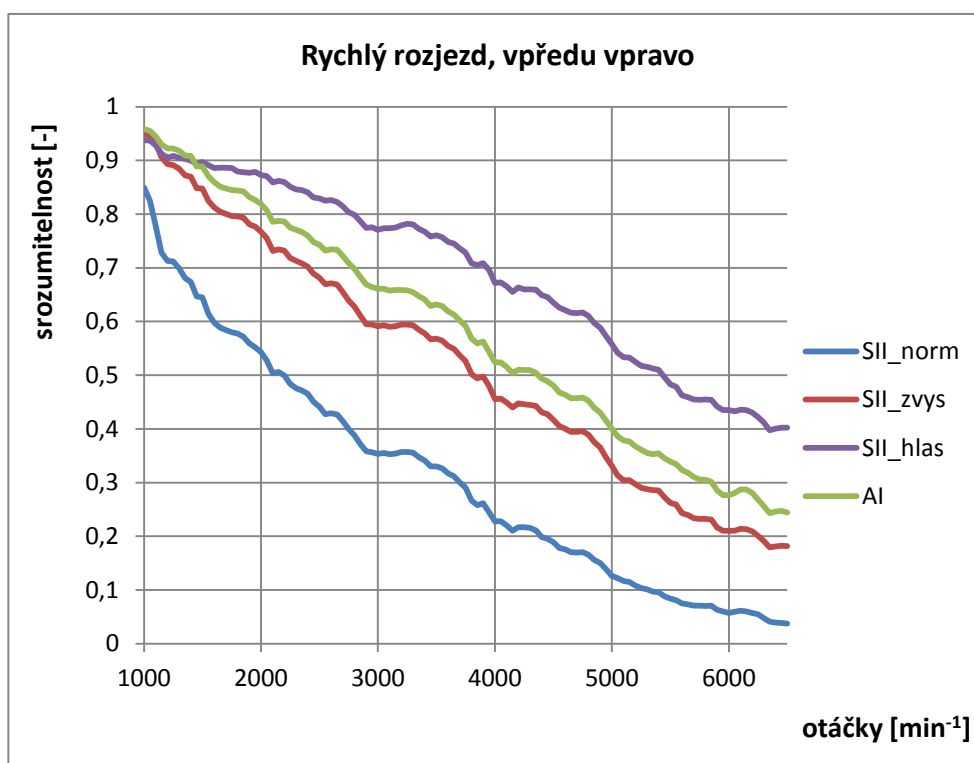
- vpředu vlevo = PL
- vpředu vpravo = PP
- vzadu vlevo = ZL
- vzadu vpravo = ZP



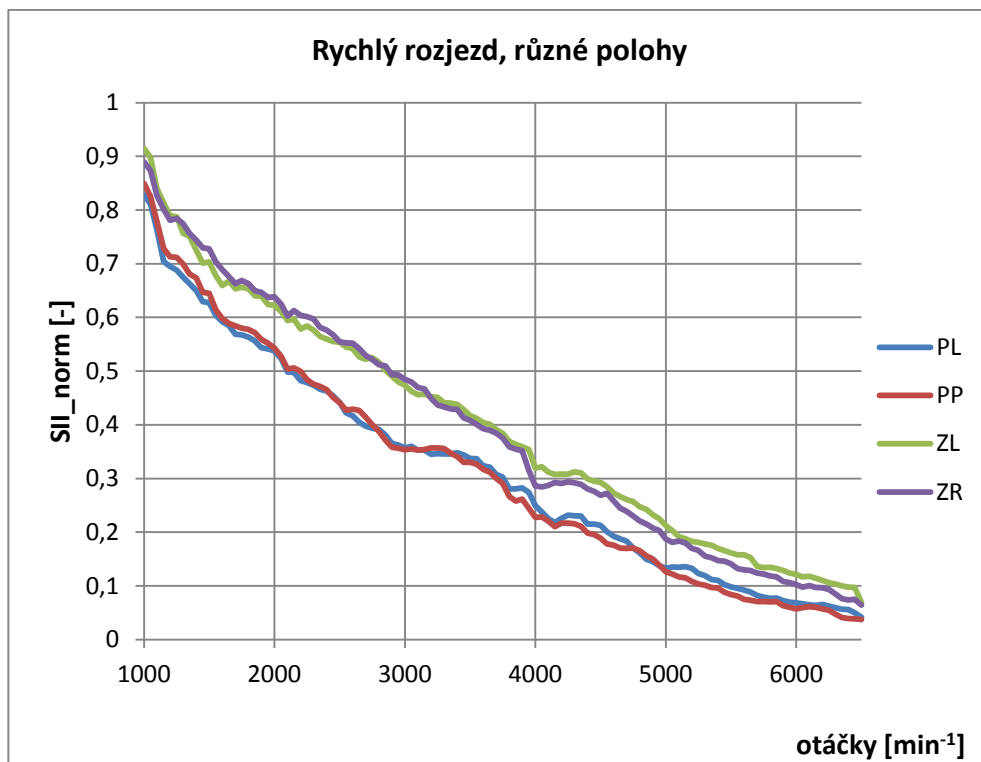
Obr. 4.13 Pomalý rozjezd, srovnání různých poloh, Auto 3, převzatá data



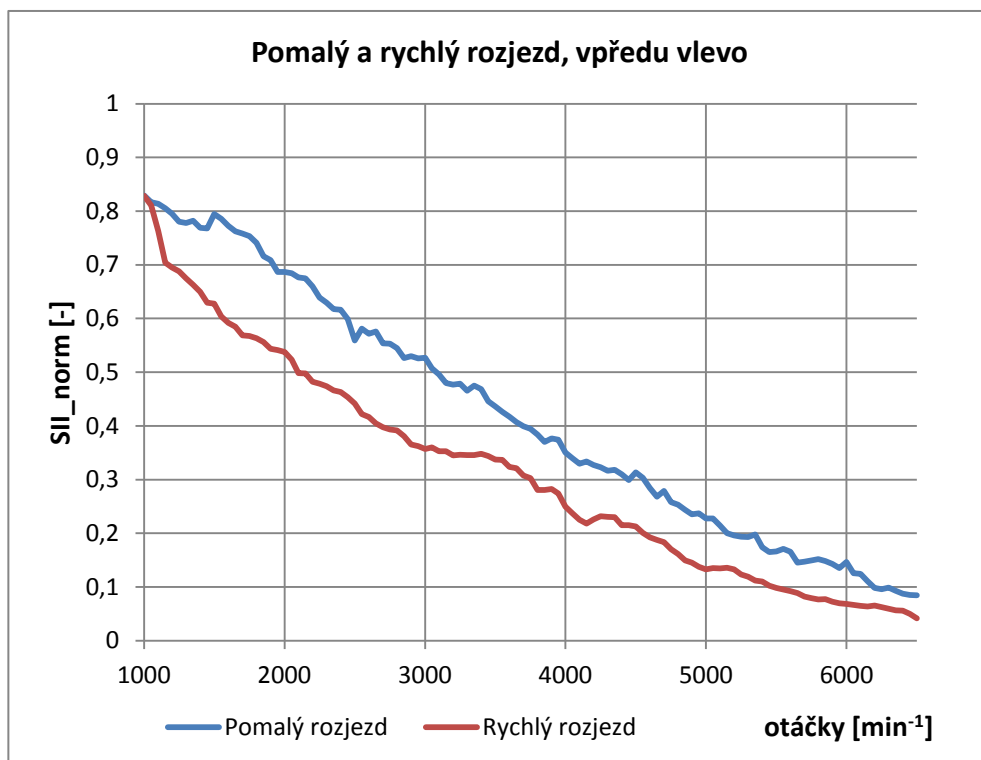
Obr. 4.14 Rychlý rozjezd, poloha vpředu vlevo, Auto 3, převzatá data



Obr. 4.15 Rychlý rozjezd, poloha vpředu vpravo, Auto 3, převzatá data

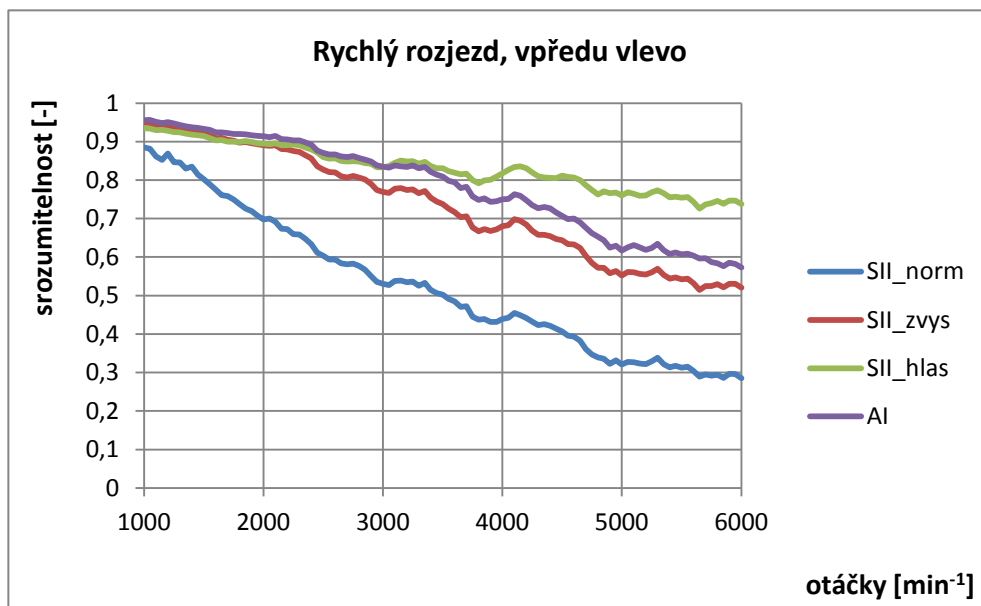


Obr. 4.16 Rychlý rozjezd, srovnání různých poloh, Auto 3, převzatá data



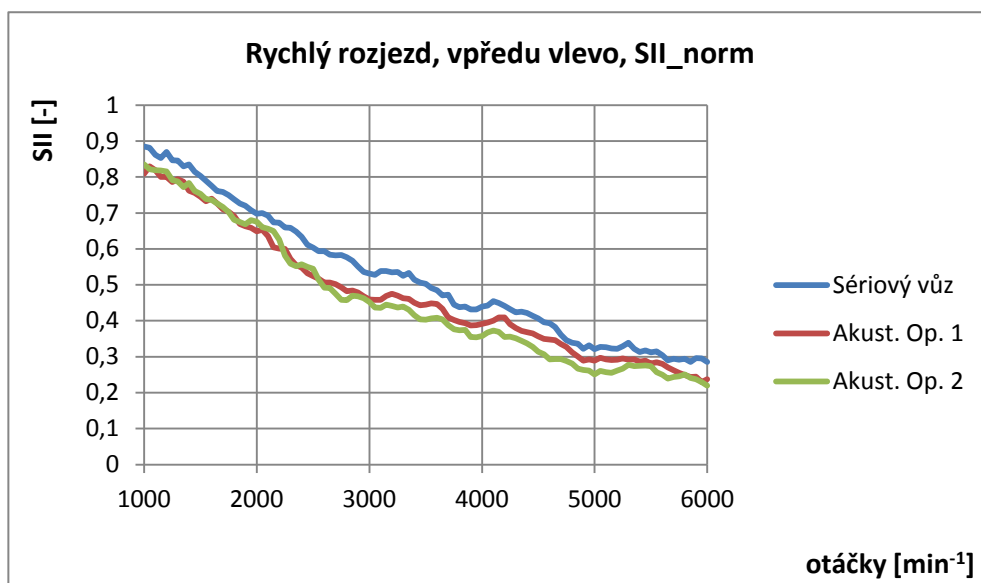
Obr. 4.17 Srovnání pomalého a rychlého rozjezdu při poloze vpředu vlevo, Auto 3, převzatá data

Dalším měřeným automobilem ze společnosti Škoda Auto a. s. je Auto 4. Na Obr. 4.18 je opět srovnání různých metod pro vyhodnocování srozumitelnosti při poloze vpředu vlevo. Rozbor tohoto rozjezdu se nachází v kapitole 4.4.

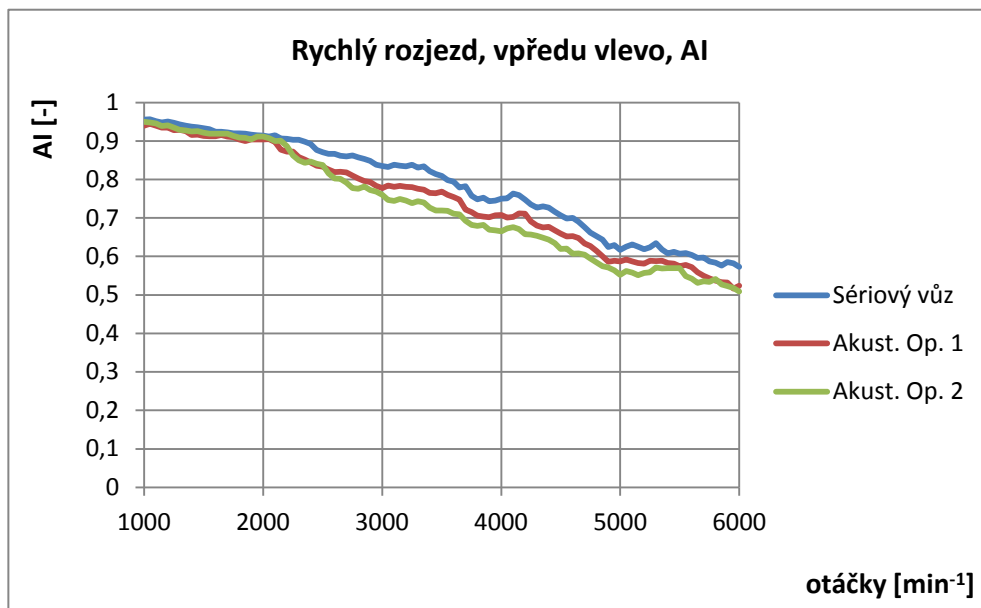


Obr. 4.18 Rychlý rozjezd, poloha vpředu vlevo, Auto 4, převzatá data

Pro vyhodnocování vlivu různých částí auta na srozumitelnost je třeba zjišťovat srozumitelnost v závislosti na úpravách vozu. Obr. 4.19 a Obr. 4.20 dokumentují srozumitelnost řeči u sériového vozu, a také srozumitelnost pro dvě různá úsporná opatření před jejich zavedením do sériové výroby. Z důvodu utajení není možné zveřejnit žádné podrobnosti ohledně zmíněných opatření, avšak opatření, vedoucí ke zhoršení akustiky vozu nejsou akceptovatelná.



Obr. 4.19 SII při různých akustických opatřeních, Auto 4, převzatá data



Obr. 4.20 AI při různých akustických opatřeních, Auto 4, převzatá data

4.4 Vyhodnocení rozdílů mezi AI a SII

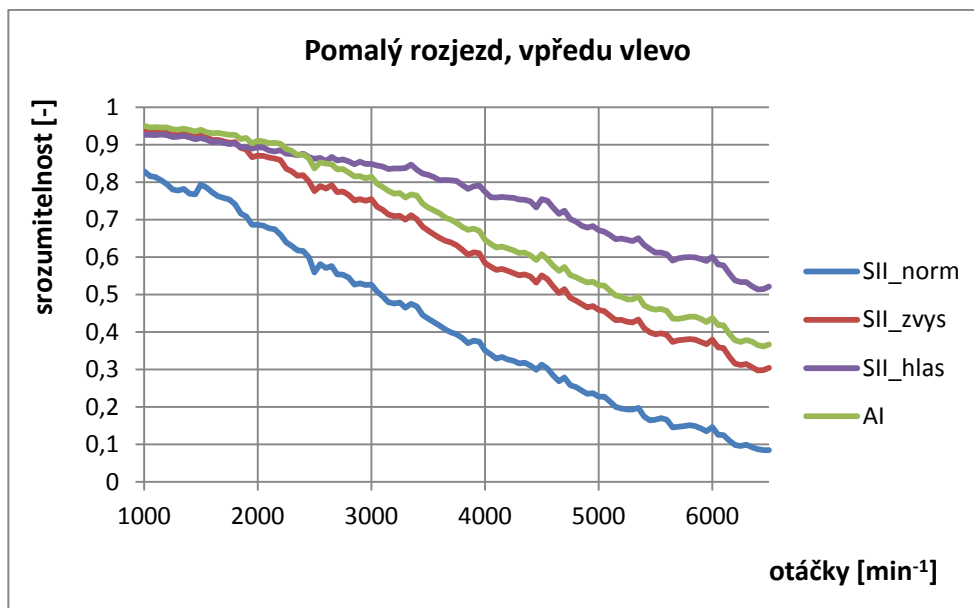
Z porovnání AI a SII je možno vyčíst, že hodnoty AI a SII_{zvys} jsou si nejpodobnější. Je to dáno tím, že u obou metod je použita obdobná síla hlasu, na rozdíl od SII_{norm} s nižší hlasitostí a SII_{hlas} s vysokou hlasitostí řeči. SII_{zvys} je přitom v celém pásmu otáček motoru nižší.

Jedním z rozdílů mezi artikulačním indexem a indexem srozumitelnosti řeči je frekvenční rozsah u těchto metod. Při použití třetinooktávových pásem je frekvenční rozsah AI 176 – 7070 Hz, u SII je frekvenční rozsah větší, 141 – 8910 Hz, z čehož plyne, že SII může zachytit větší množství rušivých složek, které mohou mít na srozumitelnost vliv. To může být jedním z důvodů, proč vyšel SII_{zvys} nižší než AI.

Další rozdíly vycházejí už přímo z výpočtů AI a SII. SII bere v úvahu různé typy maskování, konkrétně samomaskování řeči, kdy samotná řeč způsobuje maskování. Podstatný vliv tohoto maskování se projevuje u hlasité řeči, která sama o sobě způsobuje svoje zkreslení. Tento efekt je možné najít v ukázce v kapitole 4.2.

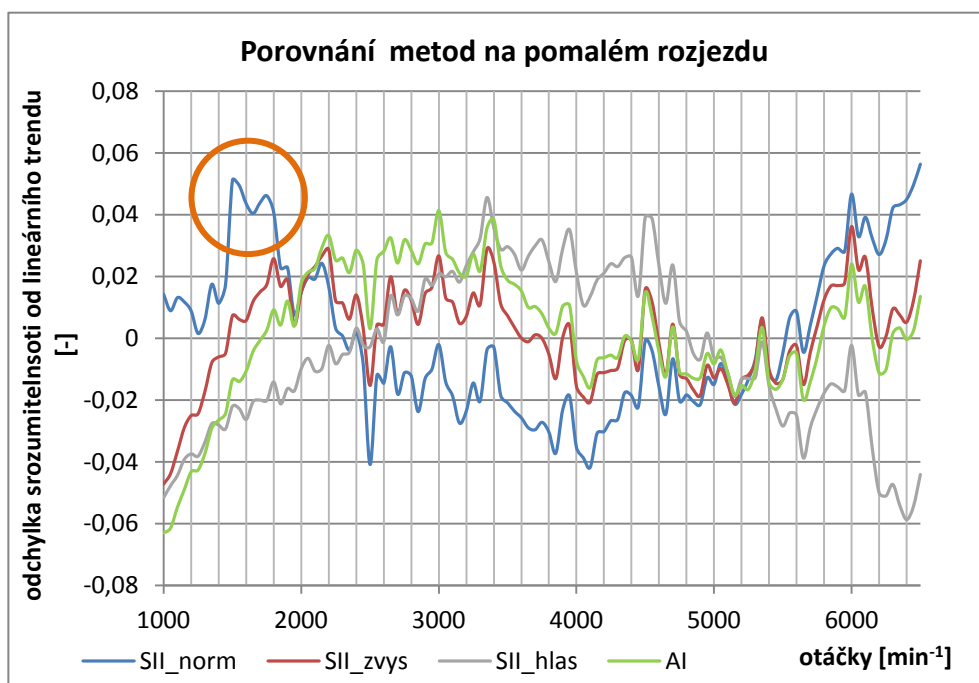
Při výpočtu SII se vypočítává také vliv mezipásmového maskování řeči nebo hluku, přičemž se bere k výpočtu vyšší z hodnot (viz 2.2.3), což vyjadřuje vliv rušení v jednom pásmu na ostatní pásma. Výpočet AI podle 2.1.3 mezipásmové maskování nebral do úvahy. To je další důvod pro nižší SII_{zvys} ve srovnání s AI.

Pro další vyhodnocování budou použity dva rozjezdy z kapitoly 4.3, první bude pomalý rozjezd Auta 3 při poloze vpředu vlevo. Výsledný průběh srozumitelnosti podle různých norem je na Obr. 4.21.



Obr. 4.21 Pomalý rozjezd, Auto 3, pozice vpředu vpravo

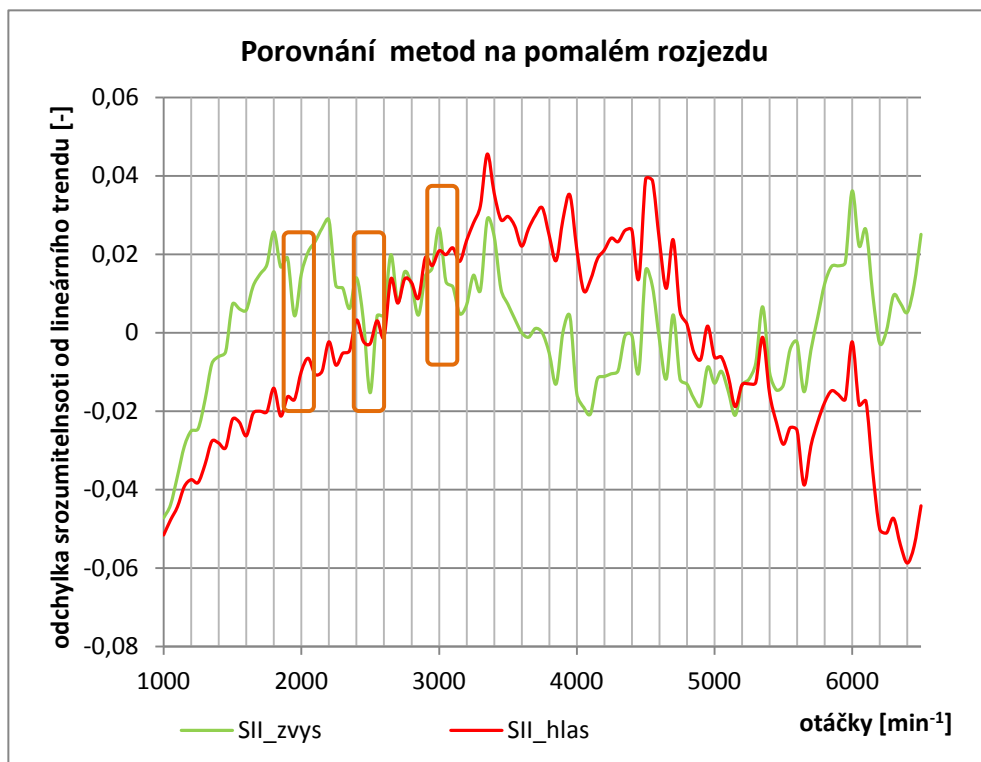
Pro zdůraznění odchylek v průbězích byla zjištěna rovnice lineárního trendu u všech průběhů a následně byly tyto průběhy umístěny kolem osy x, aby měly všechny nulovou střední složku a bylo možné je lépe porovnat. Průběhy srozumitelnosti však nemají přesně lineární trend, tento model byl použitý jako zjednodušení. Výsledek je zobrazen na Obr. 4.22.



Obr. 4.22 Porovnání jednotlivých metod na pomalém rozjezdu při poloze vpředu vlevo u Auto 3, průběhy byly umístěny kolem osy x

Z Obr. 4.22 je patrné, že SII_hlas při nízkých otáčkách neobsahuje velké výkyvy

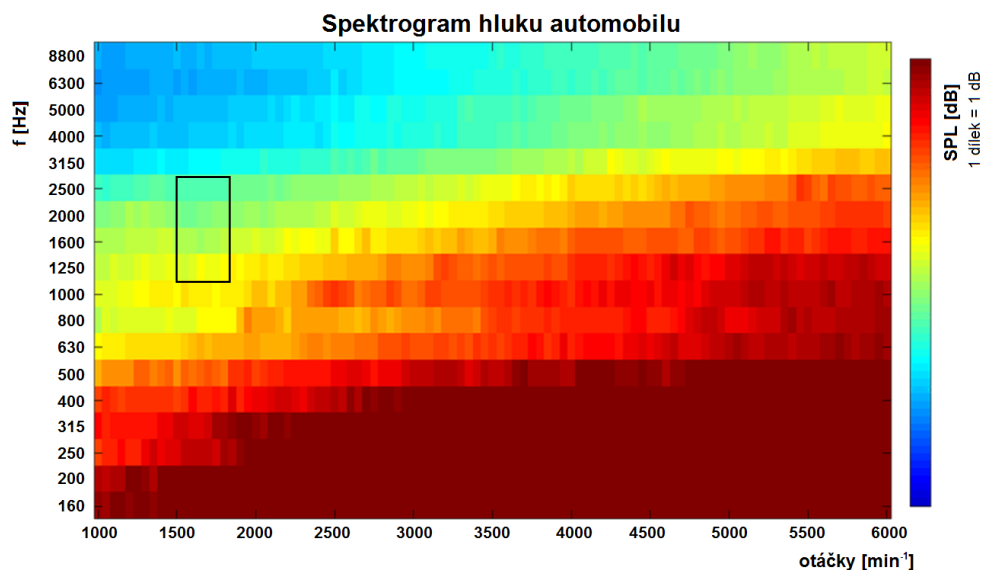
jako ostatní průběhy, nekopíruje dobře hluk v kabině, proto není považován jako vhodný pro určování srozumitelnosti v hluku automobilu. Pro přehlednost je na Obr. 4.23 zobrazeno porovnání pouze SII_zvys a SII_hlas a vyznačeny rozdíly ve výkyvech.



Obr. 4.23 Porovnání SII_zvys a SII_hlas na pomalém rozjezdu při poloze vpředu vlevo u Auta 3, průběhy byly umístěny kolem osy x

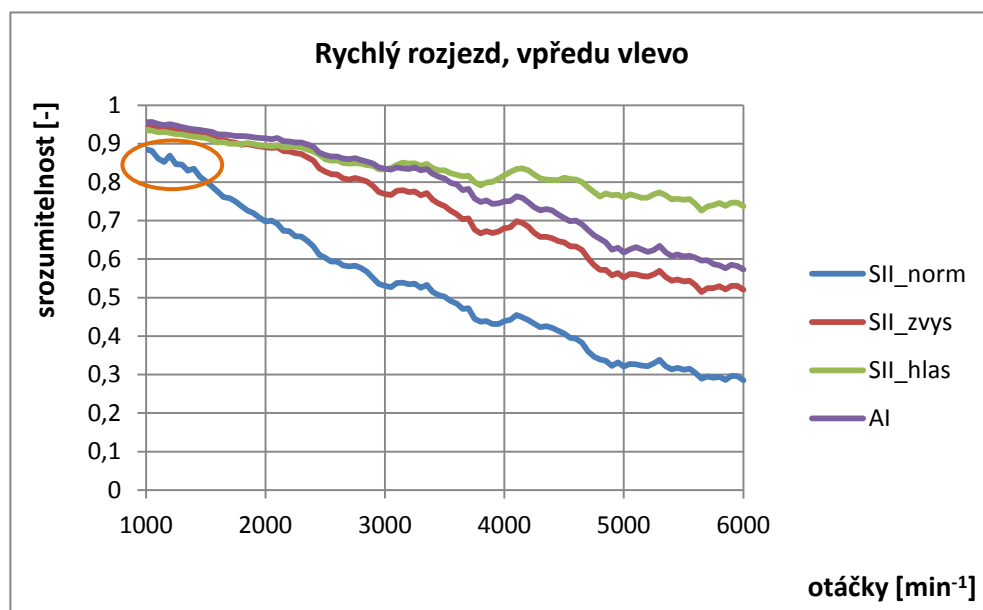
Dále si je možné na Obr. 4.22 povšimnout významného vzrůstu srozumitelnosti v oblasti 1500 – 1800 ot/min u SII_norm. Pro přehlednost je v grafu úsek označen kroužkem. Pro vysvětlení je třeba se podívat na spektrum hluku, k čemuž nejlépe poslouží spektrogram hluku na Obr. 4.24. Vyznačená oblast obdélníkem mezi 1500 – 1800 ot/min a 1250 – 2500 Hz vykazuje mírné snížení hluku oproti vedlejším hodnotám. Hluk se však pohybuje okolo 30 dB, což ostatní metody nedokážou postihnout. Artikulační index má dolní hranici řečového pásma v tomto frekvenčním rozmezí okolo 40 dB, a u SII_zvys a SII_hlas tento hluk zamaskuje samomaskování řeči (viz 2.2.3).

Z předchozích tvrzení je tedy možné vyvodit závěr, že pro vyhodnocovaný rozjezd je nejlepší použít metodu SII s normální řečí, protože zachytí nejvíce detailů, které ostatní metody nedokážou zobrazit. Metoda SII_norm je zvláště vhodná pro auta s malým množstvím hluku, kde by bylo nutné použít otevřený artikulační index.



Obr. 4.24 Spektrogram hluku při pomalém rozjezdu, poloha vpředu vlevo, Auto 3, osa z značena pouze relativně z důvodu utajení dat

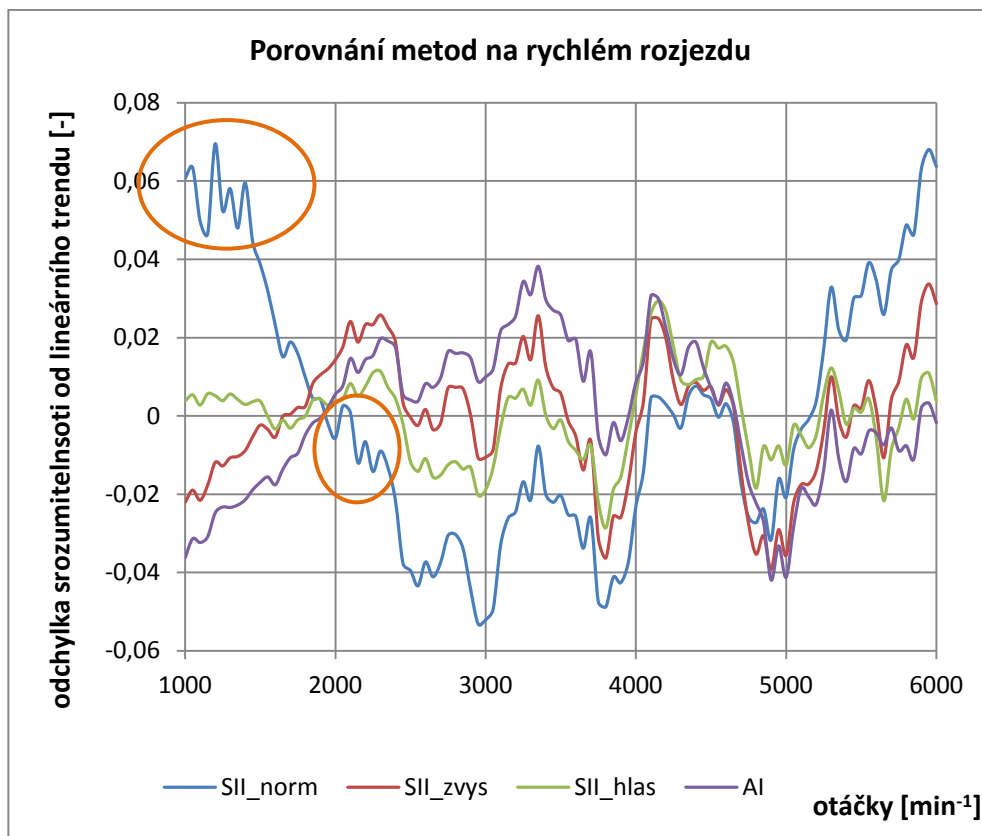
Jako druhý vyhodnocovaný rozjezd bude použit rychlý rozjezd Auta 4 v poloze vpředu vlevo z Obr. 4.18. Pro lepší orientaci je stejný graf i na Obr. 4.25.



Obr. 4.25 Rychlý rozjezd, poloha vpředu vlevo, Auto 4, převzatá data

Při použití metody SII_norm vzniká největší rozdíl opět při nízkých otáčkách, obdobně jako u rozjezdu Auta 3. Tato oblast je na Obr. 4.25 označena elipsou. Důvod rozdílu SII_norm oproti ostatním metodám je stejný jako v předchozím případě – hluk je natolik nízký, že ho ostatní metody nedokážou postihnout.

Dále byly opět zjištěny odchylky od lineárního trendu pro zdůraznění výchylek. Výsledek lze vidět na Obr. 4.26.



Obr. 4.26 Porovnání jednotlivých metod na rychlém rozjezdu Auta 4 při poloze vpředu vlevo, průběhy byly umístěny kolem osy x

V grafu jsou elipsami označeny dvě oblasti na průběhu SII_norm, které se od ostatních metod liší z již uvedeného důvodu, a tím je nízký hluk, které ostatní metody nezaznamenají. Oblast při nižších otáčkách již byla označena na Obr. 4.25. Ostatní průběhy jsou si navzájem podobné. Z těchto údajů lze opět vyvodit závěr, že je vhodné použít metodu SII_norm, která zachytí nejvíce detailů, jako nevhodná metoda nebyla stanovena žádná z uvažovaných.

Úplné a korektní objektivní porovnání metod na vyhodnocování srozumitelnosti řeči se vzhledem ke složitosti lidského sluchového ústrojí dá realizovat těžko, proto by bylo nejlepší provést plnohodnotný subjektivní poslechový test, což už přesahuje rámec této práce. Tento test bude proveden zadavatelem po implementaci algoritmu do koncernových akustických softwarů.

5 ZÁVĚR

První část této práce je věnovaná přehledu metod pro určování kvality řeči a řečových signálů, které si má čtenář možnost dále dohledat.

Hlavní část práce spočívala v popisu metod na určování srozumitelnosti řeči, artikulačního indexu a indexu srozumitelnosti řeči.

Metoda artikulačního indexu byla rozepsána od její historie, přes její výpočet pomocí spektra hluku a řeči, implementaci do automobilového průmyslu, až k její modifikaci, takzvanému otevřenému artikulačnímu indexu.

Metoda indexu srozumitelnosti řeči byla podrobně rozepsána. Důraz byl kladen na podrobný popis výpočtu spolu s vysvětlením použitých proměnných. Na závěr pojednání o indexu srozumitelnosti řeči je uvedeno srovnání této objektivní metody s některými subjektivními poslechovými testy.

Experimentální část této práce je věnovaná měření řeči a hluku a jeho následným vyhodnocováním. Nejprve byl navrhnut a zrealizován nahrávací řetězec, skládající se z mikrofону, předzesilovače a zvukové karty, který byl autorem práce kalibrován ve společnosti Škoda Auto a. s. Následně byl navrhnut postup zpracování nahraného signálu a jeho realizace v programu Matlab. Program využívá rychlou Fourierovu transformaci pro rozdělení signálu na jednotlivá pásma, je možno v něm definovat frekvenční rozlišení, počet průměrů, překrytí vzorků a časové okno, jako je obvyklé u profesionálních programů.

V rámci této práce byly autorem práce výše zmíněným postupem nahrány hlasy osmi osob a z těchto nahrávek byla vypočtena spektra hladin akustického tlaku. Tato spektra byla následně vyhodnocena dvěma metodami. První metoda součtu odchylek od ideálního spektra podle normy k indexu srozumitelnosti řeči byla vyhodnocena jako nevhodná, protože neuvažovala citlivost lidského ucha na různé frekvence. Dále byla použita metoda indexu srozumitelnosti řeči s konstantním spektrem hluku. Testované osoby byly vyhodnoceny podle srozumitelnosti své řeči a byla určena osoba s nejlepší a nejhorší srozumitelností řeči.

Nahrávání hluku probíhalo vzhledem k orientaci práce na akustiku vozu v jedoucím autě. Byly pořízeny autorem práce nahrávky hluku při rychlostech mezi 30 – 90 km/h při třetím převodovém stupni pro dvě různé pozice mikrofону. Pro porovnání byly tyto nahrávky pořízeny u dvou aut podobného typu. Tyto nahrávky byly následně vyhodnoceny a tato spektra hluku byla znázorněna do grafu v závislosti na rychlosti vozidla a v závislosti na poloze mikrofону. U hluku v závislosti na rychlosti je zřejmé, že se hluk se zvyšující se rychlostí zvyšuje. Pro hluk v závislosti na poloze nelze vyslovit jasný závěr, protože závisí na typu vozidla, motorizaci, pneumatikách, použitých akustických opatřeních apod.

Z nahrávek hluku byly následně vyhodnoceny indexy srozumitelnosti řeči v závislosti na rychlosti a ty byly vzájemně porovnány v různých souvislostech. Práce také obsahuje ukázkou měření rozjezdů automobilu ze společnosti Škoda Auto a. s. Z těchto dat bylo na závěr provedeno porovnání metody artikulačního indexu a indexu srozumitelnosti řeči. Z vyhodnocování vyplynul přínos metody indexu srozumitelnosti

řeči s normální hlasitostí řeči, který poskytuje více detailů, je zvláště vhodný pro vozy s nižší hlučností a proto by mohl být používán místo otevřeného artikulačního indexu. Index srozumitelnosti řeči se zvýšenou hlasitostí je taktéž vhodný k použití na vyhodnocování srozumitelnosti, protože do výpočtu zahrnuje další vlivy, jako například maskování. Index srozumitelnosti řeči s hlasitou řečí byl vyhodnocen jako nepřiliš vhodný kvůli silnému samomaskování hlasité řeči. Pro úplné a korektní porovnání obou metod (artikulačního indexu a indexu srozumitelnosti řeči) by bylo vhodné provést plnohodnotný subjektivní test, který však není v možnostech této bakalářské práce. Bude proveden zadavatelem po implementaci algoritmu do koncernových akustických softwarů.

Pro výše uvedené výpočty byl vytvořen programový blok v jazyce C. Tento program si převzal zadavatel bakalářské práce pro implementaci do programu Akustik, používaného v celém koncernu Volkswagen.

LITERATURA

- [1] NOVÁK, A. Foniatrie a pedoaudiologie: Poruchy komunikačního procesu způsobené sluchovými vadami. Praha: UNITISK, 1994
- [2] JEKOSCH, U. Voice and speech quality perception: assessment and evaluation. Berlin: Springer, 2005, 208 s. ISBN 35-402-4095-0
- [3] HAJIČOVÁ, E. Úvod do teoretické a počítačové lingvistiky: teoretická lingvistika. Vyd. 1. Praha: Univerzita Karlova, 2003, 156 s. ISBN 80-246-0470-1
- [4] HALL, T. A. Objective Speech Quality Measures for Internet Telephony. [online]. s. 9 [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: www.antd.nist.gov/pubs/speechq.pdf
- [5] AKSAMÍT, J. Metody subjektivního hodnocení kvality hovorových signálů. [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2007030002>
- [6] ANSI S3.5-1969. American National Standards Methods for the Calculation of the Articulation Index. New York: American National Standards Institute, 1969
- [7] ANSI S3.5-1997. American National Standards Methods for the Calculation of the Speech Intelligibility Index. New York: American National Standards Institute, 1997
- [8] PELANT, P. RASTI (Rapid Speech Transmission Index): objektivní metoda měření srozumitelnosti akustického komunikačního kanálu. Mladá Boleslav, 1995
- [9] PELANT, P. Pracovní návod - artikulační index. Mladá Boleslav, 1997
- [10] HORNSBY, B. W. Y. The Speech Intelligibility Index: What is it and what's it good for?. [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: http://journals.lww.com/thehearingjournal/Fulltext/2004/10000/The_Speech_Intelligibility_Index__What_is_it_and.3.aspx
- [11] A weighting. [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://www.diracdelta.co.uk/science/source/a/w/aweighting/source.html>
- [12] BEHRINGER SPEZIELLE STUDIOTECHNIK GMBH. Measurement microphone ECM8000: Technical Specifications. 2000. Dostupné z: <http://datasheet.octopart.com/ECM8000-Behringer-datasheet-10412429.pdf>
- [13] Zdraví jako vášeň: rozhovor. [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.zdravijakovasen.cz/rozhovor-s-karlem-gottem>
- [14] THOMPSON, S. Comparison of Word Familiarity: Conversational Words v. NU-6 list Words. AudiologyOnline [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.audiologyonline.com/articles/comparison-word-familiarity-conversational-words-1173>
- [15] FLETCHER, H., GALT, R. H. The Perception of Speech and Its Relation to Telephony. In: Journal of the Acoustical Society of America. 2. vyd., 1950, s. 63.
- [16] FRENCH, N. R., STEINBERG, J. C.. Factors Governing the Intelligibility of Speech Sounds. In: Journal of the Acoustical Society of America. 1. vyd., 1947, s. 30.
- [17] ITALIANA KELLER S. P. A. Calcul de l'indice d'articulation selon la méthode de Beranek à partir des spectres en tiers d'octave. Milano, 1978.
- [18] ZWICKER, E. Subdivision of audible frequency range into critical bands. In: J. Acoust. Soc. Am. 1961.

- [19] BRÜEL & KJÆR SOUND & VIBRATION MEASUREMENT A/S. Sound Calibrator Type 4231: Specifications [online]. [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.bksv.com/Products/transducers/acoustic/calibrators/4231.aspx?tab=specifications>
- [20] LDS LTD. Understanding FFT Windows: Application note ANO14 [online]. 2003 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: www.physik.uni-wuerzburg.de/~praktiku/Anleitung/Fremde/ANO14.pdf
- [21] HEINZEL, G., RÜDIGER, T., SCHILLING, R. Spectrum and spectral density estimation by the Discrete Fourier transform (DFT), including a comprehensive list of window functions and some new at-top windows. Hannover, 2002, s. 84. Dostupné z: <http://edoc.mpg.de/get.epl?fid=55356&did=395068&ver=0>
- [22] BURDA, Z. Statistika pro obchodní akademie. 5. vyd. Praha: Fortuna, 2006, 94 s. ISBN 80-716-8963-7.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Δ_i	rozdíl horní hranice řečového pásma a hluku
A_i	spektrum faktoru slyšitelnosti
AIM	hodnota otevřeného artikulačního indexu
B_i	pomocná proměnná pro výpočet SII
C_i	strmost na oktávu mezipásmového maskování
d	vzdálenost
DH	dolní hranice řečového pásma u AI
D_i	spektrum ekvivalentní hladiny rušení
E'_i	spektrum ekvivalentní hladiny akustického tlaku řeči
E_i	spektrum hladiny akustického tlaku řeči
F_i	střední frekvence pásma i
f_{vz}	vzorkovací frekvence
G_i	zesílení
HH	horní hranice řečového pásma u AI
I	intenzita zvuku
I_i	váhovací faktor u SII
k_i	příspěvek ke srozumitelnosti u AI
K_i	pomocná proměnná pro výpočet SII
L_{1Hz_i}	hladina akustického tlaku v pásmu i normovaná na šířku pásma 1 Hz
L_i	spektrum činitele zkreslení
L_1	hladina intenzity zvuku
L_P	hladina akustického tlaku
N	počet vzorků signálu
N'_i	spektrum ekvivalentní hladiny akustického tlaku hluku
N_i	spektrum hladiny akustického tlaku hluku
p	akustický tlak
SII	hodnota indexu srozumitelnosti řeči
s_n	hodnota n -tého vzorku signálu
SPL_{Ni}	hladina akustického tlaku hluku
SPL_{Si}	hladina akustického tlaku řeči

s_{RMS}	efektivní hodnota signálu
T'_i	spektrum relativní hladiny prahu slyšení
v	akustická objemová rychlost
V_i	spektrum samomaskovací hladiny řeči
W_i	váhovací faktor u AI
X'_i	spektrum ekvivalentní hladiny prahu slyšení
X_i	spektrum referenční hladiny prahu slyšení
Z_i	spektrum ekvivalentní maskovací hladiny
ACR	Absolute Category Rating, metoda absolutního ohodnocení
ANSI	American National Standards Institute, americká standardizační organizace
AI	Articulation Index, artikulační index
CID W-22	Central Institute for the Deaf, subjektivní poslechový test
CD	Cepstral Distance, keprální vzdálenost
CCR	Comparison Category Rating, metoda ohodnocení rozdílů
CST	Connected Speech Test, subjektivní poslechový test
DCR	Degradation Category Rating, metoda ohodnocení degradace
DFT	Discrete Fourier Transform, diskrétní Fourierova transformace
FFT	Fast Fourier Transform, rychlá Fourierova transformace
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform, inverzní rychlá Fourierova transformace
LLR	LogLikelihood-Ratio test
NU-4	Northwestern University auditory test no.4, subjektivní poslechový test
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality, procentuální hodnocení kvality řeči
RASTI	RApid Speech Transmission Index, rychlý index přenosu řeči
SII	Speech Intelligibility Index, index srozumitelnosti řeči
SII_norm	index srozumitelnosti řeči s normální hlasitostí řeči
SII_zvys	index srozumitelnosti řeči se zvýšenou hlasitostí řeči
SII_hlas	index srozumitelnosti řeči s hlasitou řečí
STI	Speech Transmission Index, index přenosu řeči

SEZNAM PŘÍLOH

A	Seznam zvukových nahrávek	56
A.1	Nahrávky řeči.....	56
A.2	Nahrávky hluku v jedoucím automobilu	57

A SEZNAM ZVUKOVÝCH NAHRÁVEK

A.1 Nahrávky řeči

Použitý formát:

- typ souboru: WAV
- vzorkovací frekvence: 22050Hz
- počet bitů: 16
- počet kanálů: 1 - mono

Podmínky při nahrávání:

- nahrávání v tiché místnosti
- použité prostředky: podle kapitoly 3.1.2.
- jednotný text pro čtení

Původní nahrávky se šumem a tichou pasáží na začátku:

- osoba1.wav
- osoba2.wav
- osoba3.wav
- osoba4.wav
- osoba5.wav
- osoba6.wav
- osoba7.wav
- osoba8.wav

Použité ořezané nahrávky bez šumu

- osoba1-bezs.wav
- osoba2-bezs.wav
- osoba3-bezs.wav
- osoba4-bezs.wav
- osoba5-bezs.wav
- osoba6-bezs.wav
- osoba7-bezs.wav
- osoba8-bezs.wav

Uvedené nahrávky jsou uloženy na přiloženém DVD

A.2 Nahrávky hluku v jedoucím automobilu

Použitý formát:

- typ souboru: WAV
- vzorkovací frekvence: 48000Hz
- počet bitů: 16
- počet kanálů: 1 - mono

Popis názvu:

číslo auta_pozice_rychlost_nahoru/dolů.wav

Pozice:

- p – vpředu vpravo
- z – vzadu vpravo

Seznam nahrávek:

1_p_30_d.wav	1_z_30_d.wav	2_p_30_d.wav	2_z_30_d.wav
1_p_40_d.wav	1_z_40_d.wav	2_p_40_d.wav	2_z_40_d.wav
1_p_50_d.wav	1_z_50_d.wav	2_p_50_d.wav	2_z_50_d.wav
1_p_60_d.wav	1_z_60_d.wav	2_p_60_d.wav	2_z_60_d.wav
1_p_70_d.wav	1_z_70_d.wav	2_p_70_d.wav	2_z_70_d.wav
1_p_80_d.wav	1_z_80_d.wav	2_p_80_d.wav	2_z_80_d.wav
1_p_90_d.wav	1_z_90_d.wav	2_p_90_d.wav	2_z_90_d.wav
1_p_30_n.wav	1_z_30_n.wav	2_p_30_n.wav	2_z_30_n.wav
1_p_40_n.wav	1_z_40_n.wav	2_p_40_n.wav	2_z_40_n.wav
1_p_50_n.wav	1_z_50_n.wav	2_p_50_n.wav	2_z_50_n.wav
1_p_60_n.wav	1_z_60_n.wav	2_p_60_n.wav	2_z_60_n.wav
1_p_70_n.wav	1_z_70_n.wav	2_p_70_n.wav	2_z_70_n.wav
1_p_80_n.wav	1_z_80_n.wav	2_p_80_n.wav	2_z_80_n.wav
1_p_90_n.wav	1_z_90_n.wav	2_p_90_n.wav	2_z_90_n.wav

Nahrávky pro test opakovatelnosti:

- 2_z_50_d.wav
- 2_z_50_n.wav
- 2_z_50_d_2.wav
- 2_z_50_n_2.wav

Uvedené nahrávky jsou uloženy na příloženém DVD