

Disertační práce

Systém pro vyšetření sluchové funkce

Ing. Viliam Dolinay

Studijní obor: Technická kybernetika

Školitel: prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Zlín, 2010

Poděkování:

Děkuji MUDr. Vladimíru Zlínskému za poskytnutí odborných konzultací, databáze vyšetření a nesčítelně cenných rad z oboru ORL lékařství. Rovněž chci poděkovat pracovníkům ORL oddělení Baťovy krajské nemocnice ve Zlíně za poskytnutí záznamů otosklerózy.

Zároveň bych chtěl poděkovat prof. Ing. Vladimíru Vaškovi, CSc., svému školiteli, za péči, kterou mi věnoval v průběhu celého studia.

RESUMÉ

Tato práce se zabývá návrhem systémů pro vyšetření sluchové funkce se zaměřením převážně na ordinace lékařů ORL, foniatrie, případně hygieny.

Vzhledem k tomu, že dostupnost výpočetní techniky se v posledních letech stále zvyšuje a tudíž se rozšiřuje i na pracovištích lékařů, vyvstal požadavek na softwarovou implementaci některých mnohdy rutinních postupů. Stále je však velká skupina vyšetření ručně zaznamenávána do předtištěných formulářů a stejně tak pomocné výpočty probíhají ručně s použitím tabulek a kalkulačky. S ohledem na možnosti současné výpočetní techniky lze bez nadsázky konstatovat, že uvedené úkony zbytečně prodlužují dobu potřebnou k provedení těchto vyšetření a nadměrně zatěžují střední zdravotnický personál, případně lékaře.

Softwarová implementace daných vyšetření vedle zrychlení a zpřesnění výrazně eliminuje možnosti lidských omylů. Přináší také možnosti lepší archivace, přenositelnosti a snadnějšího vyhledávání v datech. Digitální podoba dat rovněž otevírá cestu k aplikacím moderních metod vyhodnocování. Jedna z těchto cest je demonstrována v experimentální části této práce a zabývá se využitím neuronové sítě jakožto podpůrného prostředku při analýze záznamů vyšetření s cílem podpořit diagnostikování onemocnění otosklerózou.

Práce si neklade za cíl pouhé poskytnutí softwarových nástrojů, ale vedle zmapování jednotlivých postupů a jejich návazností se snaží o vytvoření komplexnějšího systému pro vyšetření sluchové funkce. Dále pak, na základě analýzy získaných výsledků vyšetření, připravit kritéria a algoritmy podpůrného expertního systému pro diagnostiku otosklerózy. Tento systém by měl zůstat nadále otevřený dalším vstupům, které mohou přispět k následnému zpřesnění procesu diagnostiky.

SUMMARY

The aim of this thesis is to prepare system for improving examining of human hearing with focus on ORL, phoniatics and hygienics departments.

Considering the accessibility of computer technology at present, there is a logical pressure to spread those technologies into workplaces of doctors. There are still many routine methods waiting to be automated in this field. Great amount of investigation results are still recorded and evaluated manually which is slowing doctors and auxiliary personnel. For these disadvantages, the time necessary to complete such investigation is unduly stretched.

Software implementation can speed up investigating process and eliminate possibility of human errors. It also grants us better scope for saving, portability and easier and faster data search. The data in digital form are also accessible for modern methods of data processing. One of these implementations was developed in experimental part of this thesis which deals with utilization of neural network to evaluate investigation records with the focus on otosclerosis disease diagnostics.

This thesis, beside the software tool, connected together individual investigation methods and sought for relations between them with endeavor to create complex system of investigating with possibility to apply modern methods of data mining. On the basis of data collected within the time of developing and testing a model of expert system was prepared to support otosclerosis diagnostics. However, the system remains open for further patient's inputs to increase the accuracy of the diagnosis determination.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK.....	9
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 ÚVOD.....	11
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	12
3 TEORETICKÝ RÁMEC	14
3.1 SUBJEKTIVNÍ AUDIOLOGIE	15
3.1.1 Klasická zkouška sluchová.....	15
3.1.2 Prahová audiometrie.....	16
3.1.3 Speciální audiometrické vyšetřovací metody	17
3.1.4 Vysokofrekvenční audiometrie	17
3.1.5 Slovní audiometrie	18
3.1.6 Audiometrická kabina	19
3.2 OBJEKTIVNÍ AUDIOLOGIE.....	20
3.2.1 Tympanometrie (impedanční audiologie)	20
3.2.2 Otoakustická emise	21
3.2.3 Vyšetření pomocí evokovaných potenciálů BERA.....	21
3.3 EXPERTNÍ SYSTÉMY	21
3.3.1 Struktura expertního systému.....	21
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	24
4.1 ZEFEKTIVNĚNÍ KONKRÉTNÍCH VYŠETŘENÍ	24
4.1.1 Klasická zkouška sluchové řeči.....	25
4.1.2 Zkoušky ladičkami.....	27
4.1.3 Prahová audiometrie.....	28
4.1.4 SISI test	37
4.1.5 Tympanometrie.....	38
4.2 SOFTWAREVÁ ČÁST ŘEŠENÍ	43
4.2.1 Implementace vstupů jednotlivých modulů.....	44
4.2.2 Práce s daty.....	45
4.2.3 Uživatelská vylepšení	45
4.2.4 Práce v síti	47
4.2.5 Forma uložení	48
4.3 EXPERIMENTÁLNÍ EXPERTNÍ SYSTÉM	49
4.3.1 Otokleróza	50
4.3.2 Implementace expertního systému.....	52
4.3.3 Neuronová síť.....	58
4.3.4 Praktická implementace	60

4.3.5	<i>Konfigurace implementovaného algoritmu</i>	63
4.3.6	<i>Testování expertního systému</i>	64
4.3.7	<i>Zhodnocení experimentu</i>	68
5	VYUŽITELNOST VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ	69
6	ZÁVĚR	71
7	LITERATURA	73
8	PUBLIKAČNÍ AKTIVITY	76
	ŽIVOTOPIS	79
	SEZNAM PŘÍLOH	80

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Lidské ucho (převzato z[20])</i>	14
<i>Obr. 2. Audiometr AS216 firmy Interacoustics (převzato z[10])</i>	16
<i>Obr. 3. Slovní audiogram</i>	18
<i>Obr. 4. Audiometrická kabina Sibelmed (převzato z[22])</i>	19
<i>Obr. 5. Tympanometr Maico MI24 (převzato z[10])</i>	20
<i>Obr. 6. Architektura expertního systému</i>	22
<i>Obr. 7. Diagram zpracování výsledků vyšetření sluchu a ladiček</i>	27
<i>Obr. 8. Weberova, Rinného a Schwabachova zkouška (převzato z[13])</i>	27
<i>Obr. 9. Audiogram</i>	29
<i>Obr. 10. Diagram zařazení do skupiny ztráty sluchu</i>	31
<i>Obr. 11. Provázanost navrženého systému Fowler</i>	34
<i>Obr. 12. Porovnání audiogramů</i>	35
<i>Obr. 13. Hodnocení sluchu – různá kritéria</i>	36
<i>Obr. 14. Algoritmus vyhodnocení SISI testu pro jedno ucho</i>	38
<i>Obr. 15. Křivky tympanometrických vyšetření</i>	40
<i>Obr. 16. Algoritmus klasifikace tympanometrické křivky</i>	41
<i>Obr. 17. Parametry klasifikace tympanometrických křivek</i>	42
<i>Obr. 18. Hlavní okno aplikace Fowler</i>	43
<i>Obr. 19. Vazba systému Fowler na experimentální expertní systém</i>	49
<i>Obr. 20. Porovnání audiogramů operované otosklerózy</i>	52
<i>Obr. 21. Vývojový diagram, tvorby vstupních parametrů</i>	56
<i>Obr. 22. Rozložení vstupních parametrů množiny – otoskleróza</i>	59
<i>Obr. 23. Rozložení vstupních parametrů množiny – zbývající diagnózy</i>	60
<i>Obr. 24. Vícevrstvá síť s dopředným šířením</i>	61
<i>Obr. 25. Hodnoty vah mezi vstupní a skrytou vrstvou</i>	67
<i>Obr. 26. Hodnoty vah mezi skrytou a výstupní vrstvou</i>	67

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Procenta důležitosti frekvencí pro výpočet ztráty sluchu dle Fowlera.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 2: Stupně poškození sluchu dle WHO (převzato z[26]).....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 3: Ukázka části záznamu tabulky vstupních parametrů.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 4: Rozložení a počty vzorků vyšetření.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 5: Souhrn vzorků vyšetření</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 6: Ukázka části záznamu tréninkové množiny</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 7: Výsledek pro 18 neuronů ve skryté vrstvě</i>	<i>65</i>
<i>Tabulka 8: Výsledek pro 5 neuronů ve skryté vrstvě</i>	<i>66</i>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

daPa	Dekapascal, jednotka tlaku
dB	Decibel
dx	Označení pravé strany (pravé ucho)
E	Střední kvadratická chyba (hodnota)
Hz	Hertz
MSE	Mean Squared Error
ORL	Oto Rhino Laryngologie (ucho, nos a krk)
o_k	Vypočtený výstup vrstvy neuronové sítě
sin	Označení levé strany (levé ucho)
SISI	Short Increment Sensitivity Index
t_k	Požadovaný výstup neuronové sítě
V	Vox (hlasitá řeč)
Vs	Vox sibilant (šepot)
w	Váha hodnotící spoj v neuronové síti
WHO	World Health Organization
XML	Extensible Markup Language
δ	Koeficient neuronové sítě
Δw	Korekce vah v neuronové síti
σ	Označení logistické přenosové funkce (sinoida)
μ	Momentum, modifikátor vah neuronové sítě

1 ÚVOD

Výrazným znakem 21. století je bezesporu také neustálé rozšiřování počítačové techniky do dalších oblastí lidského konání. Osobní počítače jsou již řadu let kompaktní a jejich software uživatelsky přívětivý. Stejněho pokroku také doznává mikropočítačová technika a není tedy ničím neobvyklým, že drobná zařízení dosahují výpočetní kapacity jako osobní počítač před několika málo lety nebo dokonce jako superpočítače před několika desetiletími. Je již běžnou praxí, že jednotlivá zařízení lze navzájem propojit nebo se mohou stát přímo součástí internetové sítě.

Moderní technika je významným pomocníkem v mnoha oborech. Aby však byly plně využity její možnosti, je nezbytná spolupráce IT odborníků s budoucími uživateli. Jedním z oborů, kde počítačová technika nachází široké uplatnění, je také medicína.

Tato práce je zaměřena na aplikaci moderních metod využívajících výpočetní techniku a metody umělé inteligence v oboru ORL lékařství, oboru, který se významnou měrou soustřeďuje na diagnózu a léčbu onemocnění sluchu. O sluch, jako jeden z nejdůležitějších smyslů, by mělo být náležitě pečováno a v případě poškození by měl být vhodnou formou léčen. S léčbou samozřejmě souvisí vhodné vyšetření směřující k určení co nejpřesnější diagnózy.

Snahou této práce je zefektivnění skupiny úkonů potřebných při provádění běžných vyšetření sluchu a tím usnadnění práce lékařů a středního zdravotnického personálu v tomto oboru medicíny. V závislosti na jejich požadavcích došlo k softwarové implementaci jimi prováděných postupů v rámci konkrétních vyšetření sluchové funkce. Na vhodném datovém základu byl následně připraven podpůrný expertní systém diagnostiky onemocnění otosklerózou. Systém může najít uplatnění v klasické ORL ordinaci a tedy hodnotící kritéria jsou navržena tak, aby vycházela pouze z dat dostupných v rámci vyšetření zde běžně prováděných. Systém je založen na znalostní bázi sestavené z podkladů obecných kritérií diagnostiky tohoto onemocnění. Kritéria však byla v závislosti na dostupných datech ve spolupráci s ORL lékaři modifikována tak, aby byla aplikovatelná při realizaci a testování systému.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem této práce je připravit systém, který odstraní nadbytečné a opakující se úkony při provádění některých druhů vyšetření sluchové funkce. Tento systém by měl minimalizovat časovou náročnost vyšetření, zavést plnou digitalizaci výsledků a tímto způsobem tak nejen zefektivnit celý proces vyšetření, ale připravit datový základ potřebný k aplikaci metod umělé inteligence při sestavování podpůrného expertního systému rozšiřujícího možnosti diagnostiky. Ve spolupráci s ORL lékaři pak tyto nástroje a expertní systém realizovat a otestovat.

V současnosti však stále není velká skupina postupů při vyšetřování a vyhodnocování v medicínské praxi softwarově ošetřena i přesto, že se mnohdy jedná o algoritmy s pevně danou strukturou. Například stěžejní výpočet ztráty sluchu dle Fowlera je často v praxi stále prováděn pomocí kalkulačky a speciální tabulky. A i přesto, že se při tomto výpočtu využívají pouze základní matematické operace a z technického hlediska by se dalo říci, že není příliš komplikovaný, množství dat vstupního souboru jej činí při ručním výpočtu časově náročným a značně náchylným na výskyt početní chyby. Zručná zdravotní sestra k tomuto výpočtu potřebuje několik minut, kdežto vhodně navržený software může měření vyhodnocovat v reálném čase.

Výše zmiňovaný příklad je jen ukázkou možností pro možná zefektivnění. Další prostor k optimalizaci a k zefektivnění je spatřován ve vylepšení archivace dat získávaných při vyšetření. V současné praxi jsou výsledky vyšetření uchovávány v ambulantním programu převážně ve formě tištěných nebo dokonce ručně vytvářených tabulek, grafů a prostého textu. Toto značně snižuje možnost zpětného využití dat pro porovnání, analýzu, případně jako datového zdroje při vyhodnocování prostředky umělé inteligence.

V neposlední řadě si práce klade za cíl vylepšit současný stav, kdy jsou lékaři nuceni výsledky, v závislosti na potřebách následného postupu, neustále přepisovat do různých softwarových nástrojů. V této práci se však nejedná o snahu tyto nástroje nahradit, spíše poskytnout možnost snadného exportu a importu.

Výše uvedené nedostatky značně prodlužují čas potřebný k provedení vyšetření, tím také roste doba, kterou tráví pacient v ordinaci a logicky se vše promítá do finální ceny takového vyšetření. Respektive v současném systému je cena úkonu z pohledu lékaře dána, ale pokud co nejvíce snížíme dobu potřebnou na jeho provedení, minimálně usnadníme lékaři práci, případně umožníme ošetřit více pacientů a z tržního pohledu se tím sníží náklady na dané vyšetření. Také pacient, který stráví méně času v ordinaci nebo v čekárně, je spokojenější. Abychom se k daným cílům co nejvíce přiblížili, byla v každé fázi řešení tohoto úkolu nutná úzká spolupráce s lékaři a středním zdravotnickým personálem.

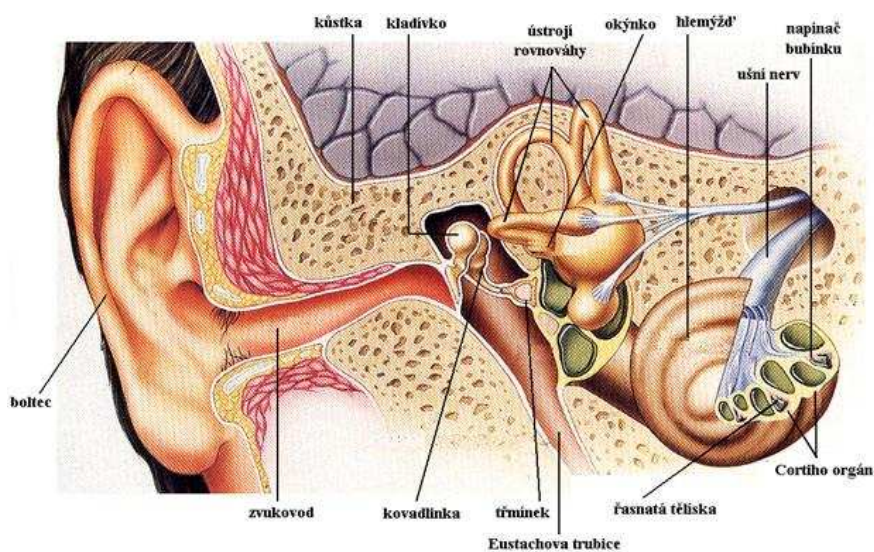
Výsledné řešení založené na aplikaci moderních metod umělé inteligence s využitím možností současné výpočetní techniky a softwarových nástrojů by v tomto případě přineslo značné zefektivnění do mnoha stávajících postupů vyšetření.

3 TEORETICKÝ RÁMEC

V této části budou nejdříve stručně popsány základní pojmy z oblasti lidského sluchu a ORL lékařství. Bude následovat popis metod vyšetření sluchové funkce, z jehož základu bude vycházet řešení této práce. Jednotlivé metody a jejich implementace v navrženém systému budou podrobněji rozpracovány také v části 4.1 *Zefektivnění konkrétních vyšetření*. Závěrem budou charakterizovány základní rysy expertního systému, jakožto nástroje, na jehož tvorbu se zaměřuje praktický experiment této práce.

Sluch je schopnost vnímat zvuky. Člověk dokáže slyšet frekvence přibližně v rozmezí 20 až 20 000 Hz. Proces vedení zvukové vlny, její transformace a následná cesta k lidskému mozku je samozřejmě komplikovaný děj, ale pro potřeby této práce se spokojíme pouze s přiblížením pojmů **vzdušné** a **kostní** vedení, které v diagnostice sluchu a tedy i v této práci, hrají významnou roli.

Zvuk je přiváděn do vnitřního ucha dvěma cestami. Velkou část zvuku člověk slyší prostřednictvím ušního bubínku. Bubínek převádí zvukové vlny na vibrace a ty se dostávají do vnitřního ucha. Vibrace ale také vstupují přímo („obcházejí bubínek“), prostřednictvím kostí lebky. Odtud tedy pojmy vzdušné a kostní vedení. Více také viz kapitoly 3.2.1 a 4.1.3.



Obr. 1. Lidské ucho (převzato z[20])

Diagnostika poškození sluchu probíhá na základě výsledků vyšetření sluchové funkce. Jednotlivá vyšetření lze rozdělit do dvou základních skupin:

- metody subjektivní audiologie (vyžadují spolupráci pacienta),
- metody objektivní audiologie (nevyžadují spolupráci pacienta).

3.1 Subjektivní audiologie

Jedná se o soubor základních vyšetření sluchu, jejichž úspěšné provedení závisí na spolupráci vyšetřované osoby. I přesto, že ve srovnání s objektivními metodami jsou zatíženy řadou chyb, jejich role v diagnostice je nezastupitelná.

Jedním z cílů této práce je právě na základě výsledků běžně prováděných vyšetření, což bezesporu subjektivní metody jsou, připravit alespoň částečně objektivní analýzu ve formě podpůrného systému diagnostiky obtížněji rozpoznatelných onemocnění sluchu. V tomto systému budou hrát nejvýznamnější roli výsledky prahové audiologie, tedy subjektivní metody analýzy sluchu.

3.1.1 Klasická zkouška sluchová

Klasickou zkouškou sluchovou nazýváme oceňování sluchu pomocí řeči. Součástí tohoto vyšetření jsou i zkoušky, využívající zvuku kovových ladiček. Klasická zkouška sluchové řeči i zkouška ladičkami jsou i dnes důležitým orientačním kritériem při posuzování poruch sluchu.

Klasická zkouška sluchové řeči – zkouška má dvě neoddělitelné části a při obou je zjišťováno slyšení a rozumění slov. Vyšetřuje se jednak hlasitou řečí a jednak šepotem. Vzdálenost od vyšetřovaného, ze které jsou slova předřikávána, se postupně zvětšuje až do okamžiku stanovení největší vzdálenosti, ze které ještě slyší, rozumí a bezchybně opakuje. Určené vzdálenosti slouží jako kritérium pro posuzování stupně sluchové ztráty, ukazatel na možný typ poruchy sluchu a vodítko pro odhad audiometrické křivky vzdušného vedení.

Zkouška ladičkami – ladičky jsou kovové nástroje, pro generování definovaných jednoduchých tónů. Při vyšetřování pomocí ladiček posuzujeme akustický vjem pacienta při vzdušném vedení (umístění u ušního boltce) a vedení kostním (patkou přiloženo na určitou část lebky). Tyto zkoušky pomáhají k určení typu poruchy sluchu.

Základní zkoušky ladičkami jsou pojmenovány podle svých autorů: Weberova, Rinneho, Schwabachova [13].

3.1.2 *Prahová audiometrie*

Cílem audiometrického vyšetření je určit individuální práh sluchu vzdušného a kostního vedení u vyšetřované osoby. Individuální práh sluchu se ve velké většině případů liší od prahu ideálního a určuje, o kolik silnější musí být zvuk, aby ho vyšetřovaný právě zaslechl, v porovnání s intenzitou 0 dB.

Určení individuálního sluchového prahu vyžaduje opakovaná měření na každé prověřované frekvenci. Práh je stanoven jako hodnota nejmenší intenzity zvuku, kterou vyšetřovaný zaslechl nejméně v polovině případů.

Práh vzdušného a kostního vedení pro čisté tóny se vyšetřuje pomocí audiometru, náhlavních elektrodynamických audiometrických sluchátek a speciálního kostního vibrátoru [21].



Obr. 2. Audiometr AS216 firmy Interacoustics (převzato z[10])

Pozn.: Audiometr je tónový generátor, který umožňuje vyšetřit sluchové vjemy při expozici čistých tónů při různé intenzitě zvuku.

3.1.3 Speciální audiometrické vyšetřovací metody

Jedná se o rozsáhlou skupinu vyšetření, přičemž každé z nich se specializuje na konkrétní poruchu sluchu, kterou má prokázat nebo vyloučit.

Převodní poruchy sluchu – princip těchto zkoušek spočívá ve faktu, že nemocný udává sluchový vjem vyvolaný kostní cestou do postiženého ucha nebo hůře slyšícího bez ohledu na to, kde je na lebku přiložen zdroj zvuku.

Senzorineurální vady sluchu – u těchto vad je nutno vždy rozlišovat, zda je příčinou vady sluchu postižení struktury vnitřního ucha nebo struktura sluchové dráhy. Velká část audiometrických zkoušek, které se používají k tomuto rozlišování, se opírá o fakt, že každé zesílení vnějšího zvuku musí také způsobit subjektivní zvýšení hlasitosti. Při postižení sluchových buněk hlemýždě však platí, že i malé zvýšení intenzity způsobuje velký nárůst hlasitosti (Recruitment fenomen).

Šumová audiometrie – tyto metody prověřují sluchovou funkci při šumovém pozadí. Šum maskuje prahové hodnoty a ke sluchovému vjemu čistého tónu je tedy třeba vyšší intenzity stimulace. Maskovací efekt šumu je u různých typů poruchy sluchu různý.

Sluchová adaptace a únava – je vyšetřována z důvodu prognostického posouzení reaktivity ucha na hlukovou zátěž a adaptační kapacitu. Dalším důvodem pro tato vyšetření je schopnost diference senzorineurálních vad sluchu kochleárního a retrokochleárního typu.

3.1.4 Vysokofrekvenční audiometrie

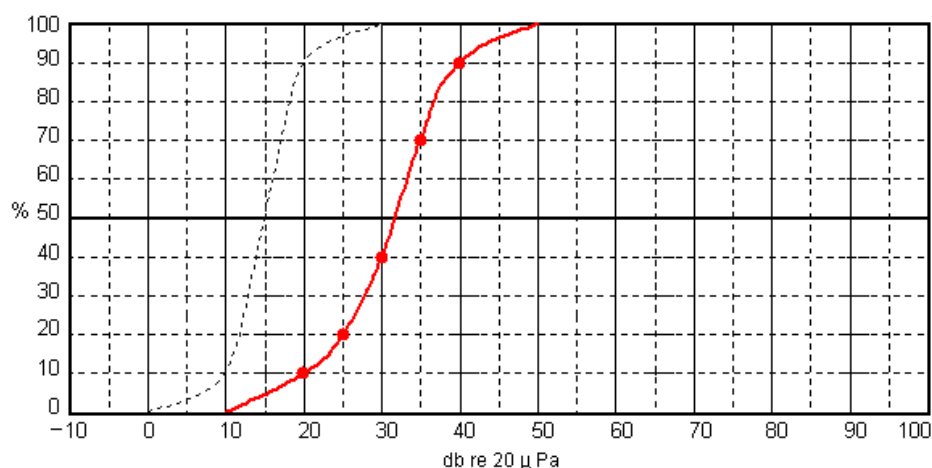
Běžné audiometry generují měřící tóny v intervalu 125 – 8 000 Hz. Lidské sluchové pole je však daleko širší. Vysokofrekvenční audiometry jsou určeny k měření prahu sluchu vybraných kmitočtů nad kmitočtovým pásmem běžných audiometrů až do 20 000 Hz. Zvýšení prahu sluchu pro vysoké kmitočty se může projevit dříve, než se objeví změny v běžném audiogramu, což je významné pro posuzování pracovníků z hlučných provozů [21].

3.1.5 Slovní audiometrie

Prahová audiometrie čistými tóny neposkytuje komplexní obraz o kvalitě sluchu především proto, že sluch je testován jednoduchými zvuky – čistými tóny, které se v běžném životě vyskytují zřídka [16].

Člověk slyší a rozumí zvukovému signálu – rozumí lidské řeči. Výsledkem zvukového vnímání není jen „slyšení“ zvuku, ale ve většině případů to musí být především „porozumění“ řeči. Vlastní slyšení je jen jednou (byť důležitou) podmínkou, která umožňuje člověku řečovou komunikaci.

Metodu, která dovoluje posoudit schopnost rozumění – diskriminace, nazýváme slovní nebo řečová audiometrie. Stimulačním signálem při tomto vyšetření je většinou slovo. Záznam nazýváme slovní audiogram. Jedná se o křivku procentuálního vyjádření počtu rozuměných slov v závislosti na intenzitě jakou byla přehrávána - viz Obr. 3. Významnou úlohu hraje speciální sestava slov, která je při vyšetření použita. Slova musí být obvyklá a známá. Musí být proporcionálně zastoupena slova jedno, dvou a víceslabičná. Poměr slovních druhů musí odpovídat jejich frekvenci v hovorové řeči a musí být zastoupena slova obsahující hlásky vysokých frekvencí [13].



Obr. 3. Slovní audiogram

3.1.6 Audiometrická kabina

Vyšetření sluchového prahu je třeba provádět výhradně ve vhodném akustickém prostředí, nejlépe v audiometrické kabině (také nazývané tichá komora). Taková kabina je profesionální výrobek s definovanými akustickými vlastnostmi (zvukovým útlumem), odhlučněné panelové konstrukce s větráním a osvětlením, speciálním oknem a dveřmi, určený k snadné vestavbě do odpovídající místnosti. Mimo kabinu instalovaný audiometr je propojen se sluchátky, kostním vibrátorem a signalizací, eventuálně reproduktorovou soustavou uvnitř kabiny. Při slovní audiometrii je třeba zajistit odposlech reprodukováných slov jak ze zdroje, tak i jejich interpretaci vyšetřovanou osobou. Hodnoty útlumu kabiny pro jednotlivé kmitočty jsou odvozeny z požadavků normou předepsaných akustických podmínek při měření prahu sluchu (ISO 8253-1) [21] .



Obr. 4. Audiometrická kabina Sibelman (převzato z[22])

3.2 Objektivní audiologie

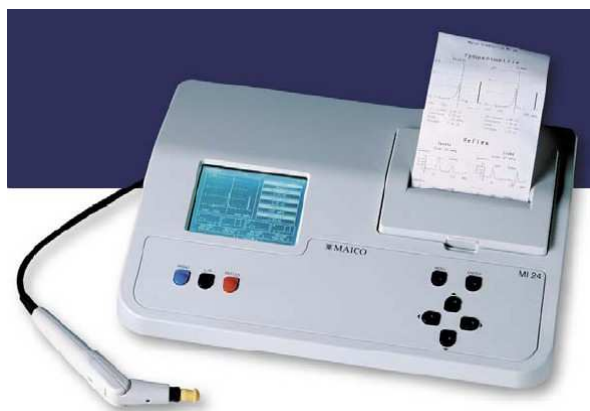
Jako objektivní audiologii označujeme taková audiologická vyšetření, při kterých se nevyžaduje aktivní spolupráce pacienta. Základní vyšetření lze rozdělit do dvou skupin:

- metody akustické (tympanometrie, OAE otoakustická emise),
- metody elektrofyziologické (vyšetření pomocí evokovaných potenciálů).

3.2.1 Tympanometrie (*impedanční audiologie*)

Tympanometrie je vyšetření používané k testování funkce středního ucha, pohyblivosti bubínku a kůstek středního ucha změnou tlaku vzduchu v ušním kanálku. Metoda spočívá v měření množství akustické energie odražené od bubínku. Část energie dopadající na bubínek je přenášena dále na středoušní systém a dále pak do vnitřního ucha. Část energie se však od bubínku odrazí. Čím je bubínek poddajnější, tím více energie se přenese do středního ucha a naopak.

Tympanometrické vyšetření patří do skupiny základních úkonů běžně prováděných ve většině ORL ordinací. S ohledem na jeho důležitost a četnost provedení je jeho implementace významnou součástí praktické realizace navrženého systému vyšetření sluchové funkce. Podrobněji viz kapitola 4.1.5. *Tympanometrie*.



Obr. 5. Tympanometr Maico MI24 (převzato z[10])

3.2.2 Otoakustická emise

Do ucha jsou poušřeny speciálně upravené akustické stimuly. Normálně funkční sluchové buňky tvoří jako odpověď velmi slabý zvuk, který lze zachytit citlivými mikrofony. Tento jev se nazývá otoakustická emise. Její existence potvrzuje normálně funkční sluchový aparát vnitřního ucha. Neexistence otoakustických emisí vyvolává podezření na vadu sluchu. Používá se jako jednoduchá, přesná a neinvazivní metoda především u malých dětí.

3.2.3 Vyšetřeni pomoci evokovaných potenciálů BERA

Zvukový signál musí být nejen slyšen, ale i uvědomován. Uvědomění (rozumění) nastává v korové části temporálního laloku mozku. Od smyslových Cortiho buněk vnitřního ucha až k oblasti sluchové kůry se vjem dostává po sluchové dráze ve formě velmi slabého bioelektrického signálu. K měření existence a časového průběhu takto vzniklé bioelektrické aktivity sluchové dráhy se v audiometrii používá metod, které využívají evokovaných potenciálů. Potenciálem je zjednodušeně nazýván každý bioelektrický impuls, který se objevuje při aktivní činnosti nervových drah a může vznikat buď spontánně vnitřní činností orgánů a nebo na základě podráždění – evokace.

3.3 Expertní systémy

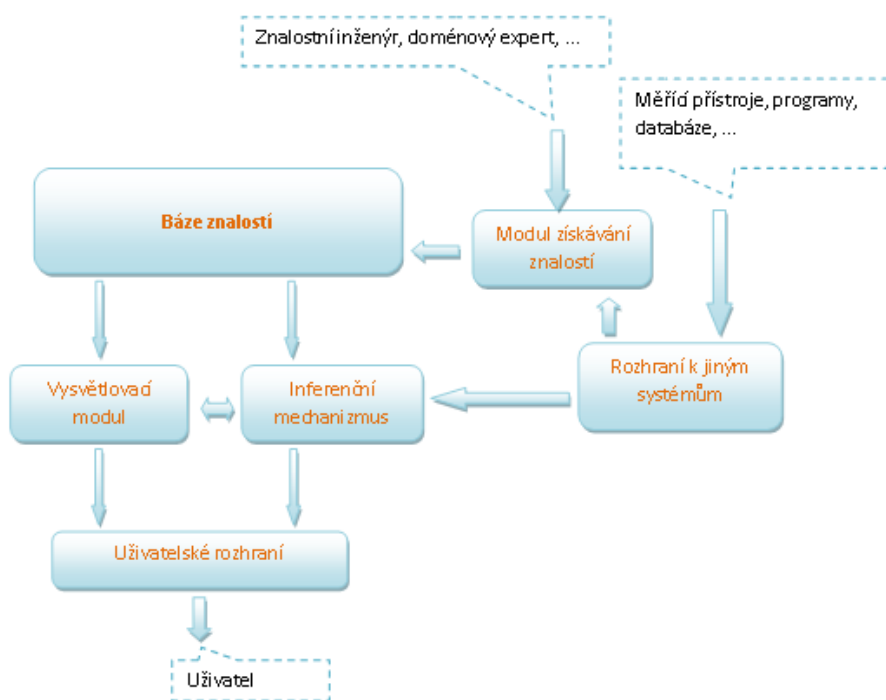
Expertní systém je definován jako počítačový program, simulující rozhodovací činnost experta při řešení složitých úloh a využívající vhodně zakódovaných, explicitně vyjádřených znalostí, převzatých od experta, s cílem dosáhnout ve zvolené problémové oblasti kvality rozhodování na úrovni experta [6].

3.3.1 Struktura expertního systému

Expertní systém tvoří tyto základní prvky (jejich vzájemné vazby ukazuje Obr. 6):

- bázi znalostí,
- inferenční mechanismus,
- I/O rozhraní (uživatelské, vývojové, vazby na jiné systémy),

- vysvětlovací modul,
- modul získávání znalostí.



Obr. 6. Architektura expertního systému

Báze znalostí obsahuje znalosti z určité domény a specifické znalosti o řešení problémů v této doméně. Znalosti mohou být nejrůznějšího charakteru:

- od nejobecnějších znalostí až po znalosti vysoce specifické,
- od „učebnicových“ znalostí až po znalosti „soukromé“,
- od exaktně prokázaných znalostí až k nejistým heuristikám,
- od jednoduchých znalostí až po metaznalosti (tj. znalosti o znalostech).

Pro reprezentaci znalostí jsou nejčastěji používány tyto prostředky:

- matematická logika,
- pravidla (rules),
- rozhodovací stromy (decision trees),

- sémantické sítě (semantic nets),
- rámce a scénáře (frames and scripts),
- objekty (objects).

V průběhu řešení konkrétního problému se vytváří báze faktů, která obsahuje data k řešenému problému (vstupní údaje a postupně odvozované výsledky).

Inferenční mechanismus obsahuje obecné (doménově nezávislé) algoritmy schopné řešit problémy na základě zadaných faktů pomocí manipulace se znalostmi z báze znalostí. Typický inferenční mechanismus je založen na inferenčním pravidle pro odvozování nových poznatků z existujících znalostí, strategii prohledávání báze znalostí [6].

Důležitou schopností inferenčního mechanismu je zpracování neurčitosti. Neurčitost v expertních systémech se může vyskytovat jednak v bázi znalostí a jednak v bázi faktů. Zdroje neurčitosti jsou:

- nepřesnost, nekompletnost, nekonzistence dat,
- vágní pojmy,
- nejisté znalosti.

Neurčitost může být reprezentována a zpracována např. pomocí následujících přístupů a prostředků [6]:

- pravděpodobnostní (Bayesovské) přístupy,
- faktory jistoty,
- Dempster-Shaferova teorie,
- fuzzy logika.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části jsou popsány postupy navržené a realizované při řešení této práce. Nejdříve jsou vysvětleny jednotlivé implementace pro zefektivnění konkrétních vyšetření. Jedná se o skupinu základních vyšetření, které ORL lékař provádí každodenně v rámci své praxe. Teoretický rámec jednotlivých vyšetření byl popsán v předchozí části této práce. Na základě navržených zefektivnění těchto vyšetření byl realizován modulární systém Fowler, na jehož základě následně došlo k realizaci podpůrného expertního systému diagnostiky. Systém Fowler vedle zapouzdření jednotlivých vyšetření do komplexního systému také funguje jako rozhraní mezi měřicími přístroji, databází pacientů a dalšími softwarovými nástroji třetích stran. Těchto funkcí bylo využito při budování již zmiňovaného expertního systému, kdy Fowler posloužil jako základní modul při tvorbě tréninkové množiny tohoto expertního systému. Závěrem je prezentován experiment, kdy expertnímu systému byla předložena skupina nových záznamů vyšetření a byla demonstrována jeho schopnost označit ty vzorky, kde na základě definované znalostní báze lze předpokládat možné riziko výskytu onemocnění otosklerózou.

4.1 Zefektivnění konkrétních vyšetření

V následujících bodech budou postupně popsány některé současně platné postupy vyšetření a jejich implementace a zefektivnění ve formě modulů systému Fowler. Vedle aplikace inteligentních metod v diagnostice je systém postaven na principech širšího uživatelského uplatnění. Pro praktické nasazení není vhodné, aby systém pouze vykonával svou specifickou funkci ve formě hodnocení výsledků jednotlivých vyšetření, ale aby také poskytoval prostředky pro jejich získávání, archivaci a prezentaci. To platí obzvláště v situaci, kdy výše zmiňované úkony nejsou doposud dostatečně softwarově implementovány a tedy získání vstupů pro následnou analýzu by vyžadovalo další zatěžování lékařů v podobě ručního zadávání do nového systému. Vytvoříme-li komplexní řešení, nejen že centralizujeme potřebná data do jednoho celku, ale získáme vlastnost, která by měla být dostatečnou motivací uživatele (lékaře), aby systém využíval v každodenní praxi.

Vyšetření popisovaná v předchozí části mají vedle své teoretické podstaty nepochybně také své praktické postupy provedení. Ty se odvíjejí nejen od metodiky vyšetření, ale jsou také vázány na technické prostředky, které jsou v současnosti v ordinacích k dispozici. Pro samotná vyšetření je lékař samozřejmě dle své specializace a finančních možností vybaven potřebnými přístroji, umožňujícími provedení vyšetření. Vyšetření jako celek evidentně nekončí naměřením hodnot. Tato myšlenka se také promítá do celé koncepce navrženého systému a bude přiblížena v následujících podkapitolách. Nezanedbatelnou součástí systému je práce s naměřenými daty. Lze ji shrnout v těchto bodech:

- numerické vyhodnocení naměřených dat,
- posouzení průběhů křivek, které data v grafické prezentaci vytvářejí,
- uložení dat pro archivaci,
- podle výsledků vyšetření odvození diagnózy a následné zapsání dat do karty pacienta (nejen papírové, ale i v ambulantním programu).

Těchto a podobných úkonů je během vyšetření velké množství a v jejich nedostatečném zpracování je spatřováno slabé místo současného stavu.

Praxe stále nutí lékaře i zdravotní sestry výsledky ručně několikrát přepisovat, dopočítávat a kompletovat. Mnohdy tak samotné měření je jen zlomkem času potřebného k provedení celého vyšetření. Postupy vedoucí k zefektivnění jednotlivých vyšetření, minimalizaci redundantních úkonů a centralizaci do jednoho systému jsou implementovány v navrženém systému. Popis řešení jednotlivých vyšetření je uveden v následujících kapitolách.

4.1.1 Klasická zkouška sluchové řeči

Pacient je otočen bokem k lékaři, sestra mu jednou rukou ohlušuje opačné ucho pomocí Byranyiho ohlušovače a druhou dlaní stíní jeho pohled na vyšetřujícího. Vyšetřující předřikává slova a postupně zvětšuje vzdálenost od vyšetřovaného, až nalezne nejvzdálenější bod rozumění. Podobně je vyšetřováno i druhé, hůře slyšící ucho. Vyšetřování šepotem se liší jen tím, že nevyšetřované ucho je ohlušováno pomocí tlaku na tragus [13].

Výsledky jsou posuzovány ve třech faktorech:

- **vzdálenost** (určuje stupeň sluchové ztráty) - za normální sluch je považováno, rozumí-li vyšetřovaný šepotu ze vzdálenosti 6 metrů,
- **rozdíl rozumění mezi šepotem a hlasitou řečí** (možnost sensorineurální poruchy kochleárního typu),
- **rozdíl v rozumění vysokofrekvenčních a nízkofrekvenčních hlásek** (vypovídá o charakteru průběhu audiometrické křivky vzdušného vedení).

Značení:

Hlasitá řeč **V** (vox)

Šepot **Vs** (vox sibilant)

O vyšetření pacienta s normálním sluchem se provede tento zápis:

$$6m - V - 6m; 6m - Vs - 6m,$$

kdy číslo nalevo od značky udává hodnotu pro pravé ucho a naopak. Porucha sluchu vpravo by tedy byla zapsána takto:

$$4m - V - 6m; 2m - Vs - 6m.$$

Realizovaná zefektivnění

Vzhledem k metodě vyšetření postačuje pouze naměřené hodnoty zařadit do databáze vyšetření konkrétního pacienta a umožnit snadný přenos do ambulantního programu. Toto vyšetření se provádí současně se zkouškou ladičkami a tak i navržené rozhraní tato vyšetření sdružuje.

Lékař bude výsledky vyšetření postupně zapisovat do formuláře systému Fowler (v případě omezené množiny pouze vybere příslušnou hodnotu) a po dokončení provede export do ambulantního programu (systém Fowler v současnosti podporuje export do 4 nejběžnějších ambulantních programů používaných v ordinacích, více viz 4.2.3). Vylepšení u těchto vyšetření spočívá v urychlení zápisu výsledků a jejich uložení v digitální podobě.



Obr. 7. Diagram zpracování výsledků vyšetření sluchu a ladiček

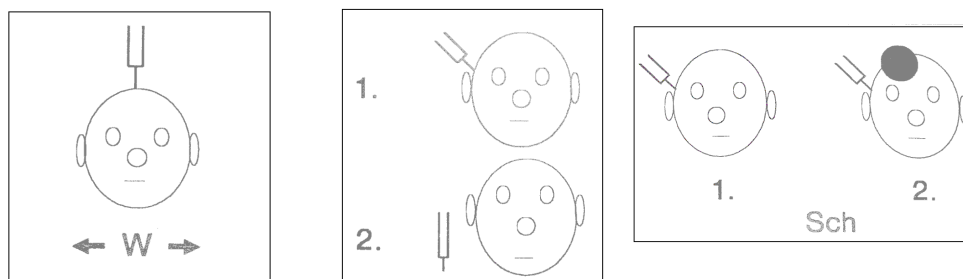
4.1.2 Zkoušky ladičkami

Zkouška ladičkami se provádí třemi základními metodami.

Weberova – srovnává kostní vedení obou uší. Zvukový vjem u symetricky slyšících uší zůstává lokalizován někde uprostřed. Je-li jedno ucho hůře slyšící, vzniká jednostranný akustický vjem.

Rinného – srovnává úroveň vzdušného a kostního vedení téhož ucha. Lepší subjektivní vjem vzdušného vedení – Rinné pozitivní – u sensorineurální vady sluchu. Intenzivnější vjem zprostředkovaný kostním vedením – Rinné negativní – u poruch převodního typu.

Schwabachova – srovnává kostní vedení pacienta a vyšetřujícího (nejmenší praktický význam, zastaralá) [13].



Obr. 8. Weberova, Rinného a Schwabachova zkouška (převzato z[13])

Značení:

Weber **W** (laterizuje \rightarrow ; nelaterizuje \nrightarrow)

Rinné **R** (pozitivní +; negativní -)

Schwabach **Sch** (normální *norm.*, prodloužen *prodl.*, zkrácen *zkr.*)

O vyšetření pacienta s normálním sluchem se provede tento zápis:

\nrightarrow **W** \nrightarrow + **R** + *norm. Sch. norm.*

Pro příklad převodní porucha vpravo by byl zápis tento:

\leftarrow **W** \nrightarrow - **R** + *prodl. Sch. norm.*

Realizovaná zefektivnění

Vyšetření je v praxi prováděno společně se zkouškou sluchové řeči. Zefektivnění těchto vyšetření bylo již popsáno v bodě 4.1.1. Jedná se převážně o jednoduchou formu zadávání do formuláře pomocí výběru z předdefinovaných hodnot, rychlý export do ambulantních programů a archivaci v databázi.

4.1.3 Prahová audiometrie

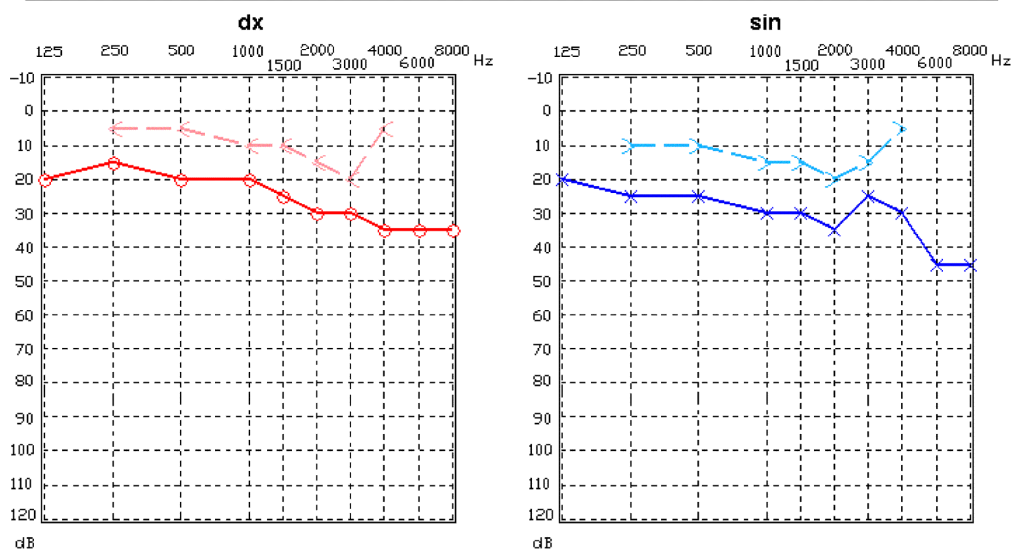
Jak již bylo uvedeno dříve, vyšetření prahu sluchu lze rozdělit na vyšetření vzdušného vedení a vedení kostního. Jsou prováděna většinou současně, ale pro některá ověření postačuje vyšetřit pouze vedení vzdušné. Vyšetření prahu sluchu vzdušného vedení zahajuje vlastní audiologická vyšetření (předchází slovní audiometrii, tympanometrickým vyšetřením aj.).

Po instruktáži je pacient usazen do audiometrické kabiny, jsou mu nasazena sluchátka a do ruky je mu dáno signalizační zařízení (tlačítko). Vyšetření začíná lépe slyšícím uchem a tónem 1 000 Hz. Postupně je zvyšována intenzita vyšetřovaného tónu, dokud ho vyšetřovaný neuslyší a nedá signál tlačítkem. Tón je poté ztlumen, případně přerušen a postup zopakován. Udaná hodnota je zaznamenána v tom případě, neliší-li se od předchozí. Stejným způsobem jsou nalezeny a označeny sluchové prahy tónu ostatních frekvencí v následujícím pořadí: po 1 000 Hz pokračují tóny vyšší 2 000 Hz, 4 000 Hz,

8 000 Hz. Po dosažení horní vyšetřované hranice pak 6 000 Hz, 3 000 Hz, 1 500 Hz. Poté je zkontrolován práh na frekvenci 1 000 Hz a pokračuje se do oblasti frekvenčně nižší 500 Hz, 250 Hz, 125 Hz.

Po skončení vyšetření vzdušného vedení sluchátky je nasazen kostní vibrátor. Vyšetření začíná hůře slyšícím uchem, protože tento postup zjednodušuje ohlušování maskovaného, tedy lépe slyšícího ucha. Opět se označuje hladina nejnižší intenzity, kdy pacient udá sluchový vjem. Hladina se kontroluje opakováním. Vyšetřuje se v následujícím sledu: 1 000, 2 000, 4 000 Hz. Pak 3 000, 1 500 Hz, opakuje se 1 000 Hz a vyšetření je dokončeno na 500, 250 Hz.

AUDIOGRAM		15. 4. 2006 22:23	
Lékař:			
Vyšetřující:			
Audiometr:			
DATA PACIENTA			
Rodné číslo:		Věk:	
Příjmení:		Pojišťovna:	
Jméno:			







Obr. 9. Audiogram

Na předchozím obrázku je znázorněn výsledek audiometrického vyšetření vzdušného a kostního vedení osoby s mírnou percepční nedoslýchavostí.

Značení:

dx pravé ucho

sin levé ucho

-  prahová hodnota vzdušného vedení pravého ucha
-  prahová hodnota vzdušného vedení levého ucha
-  prahová hodnota kostního vedení pravého ucha
-  prahová hodnota kostního vedení levého ucha

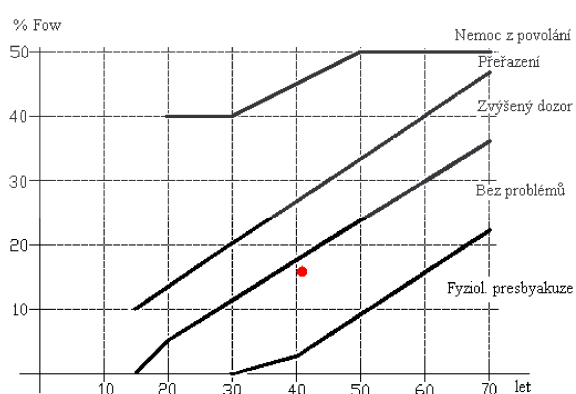
Prahová audiometrie patří k nejzákladnějším a nejčastěji prováděným vyšetřením. Z průběhu křivek se určuje typ možné poruchy sluchu, stanovuje míra poškození aj. Existuje však i celá řada předpisů, které vyžadují přesné vyjádření stavu sluchu jednotným symbolem (číslem). Jedná se např. o posouzení schopnosti řídit motorové vozidlo, vhodnost zařazení do zaměstnání a další. Kromě toho musí také existovat možnost vzájemného porovnání jednotlivých výsledků mezi různými pracovišti nebo u jednotlivých pacientů v čase. Mezi nejvýznamnější kritéria posouzení stupně sluchové ztráty z audiogramu patří:

- a) posouzení průběhu křivek,
- b) posouzení průměru řečových nebo ISO frekvencí,
- c) výpočtem procenta dle Fowlera.

Procento dle Fowlera je považováno za nejuniverzálnější parametr kvantifikující stav sluchu vycházející z audiometrického vyšetření.

Rozšířeným kritériem založeným na hodnotě Fowlera je např. diagram pro hodnocení profesních vad sluchu MUDr. Mojzíra Lejsky uvedený na následujícím obrázku [13].

SKUPINA ZTRÁTY SLUCHU DLE VĚKU <i>Bez problémů</i>			
Lékař:	15. 4. 2006 22:23		
DATA PACIENTA			
Rodné číslo:	Věk:	41	
Příjmení:	Pojišťovna:		
Jméno:			



Obr. 10. Diagram zařazení do skupiny ztráty sluchu

Tabulka 1: Procenta důležitosti frekvencí pro výpočet ztráty sluchu dle Fowlera

Sluchová ztráta v % dle Fowlera				
ztráta sluchu (dB)	Odpovídající frekvence (Hz)			
	500	1 000	2 000	4 000
10	0,2	0,3	0,4	0,1
15	0,5	0,9	1,3	0,3
20	1,1	2,1	2,9	0,9
25	1,8	3,6	4,9	1,7
30	2,6	5,4	7,2	2,7
35	3,7	7,7	9,8	3,8
40	4,9	10,2	12,9	5,0
45	6,4	13,0	17,3	6,4
50	7,9	15,7	22,4	8,0
55	9,6	19,0	25,7	9,7
60	11,3	21,5	28,0	11,2
65	12,8	23,5	30,2	12,5

70	13,8	25,5	32,2	13,5
75	14,6	27,2	34,0	14,2
80	14,8	28,8	35,8	14,6
85	14,9	29,8	37,5	14,8
90	15	29,9	39,2	14,9
95	15	30,0	40,0	15,0

Výpočet procenta Fowlera

Výpočet se provádí pomocí speciální tabulky, kde je každé sluchové ztrátě v dB přiřazen počet procent. Vyjádření procenty odpovídá komunikační důležitosti příslušné frekvence. Za základ je brána ztráta sluchu vzdušného vedení na frekvencích 500, 1 000, 2 000, 4 000 Hz. Procentuální hodnoty na jednom uchu se sčítají. Výpočet celkové ztráty se provede vzájemným odečtením hodnot naměřených u jednotlivých uší, rozdíl je vydělen čtyřmi a takto získaná hodnota se přičítá k lépe slyšícímu uchu.

$$F = \frac{B - A}{4} + A \quad (1)$$

kde A je % ztráty lépe slyšícího ucha,
 B je % ztráty hůře slyšícího ucha,
 F je % celkové ztráty sluchu dle Fowlera.

Realizovaná zefektivnění

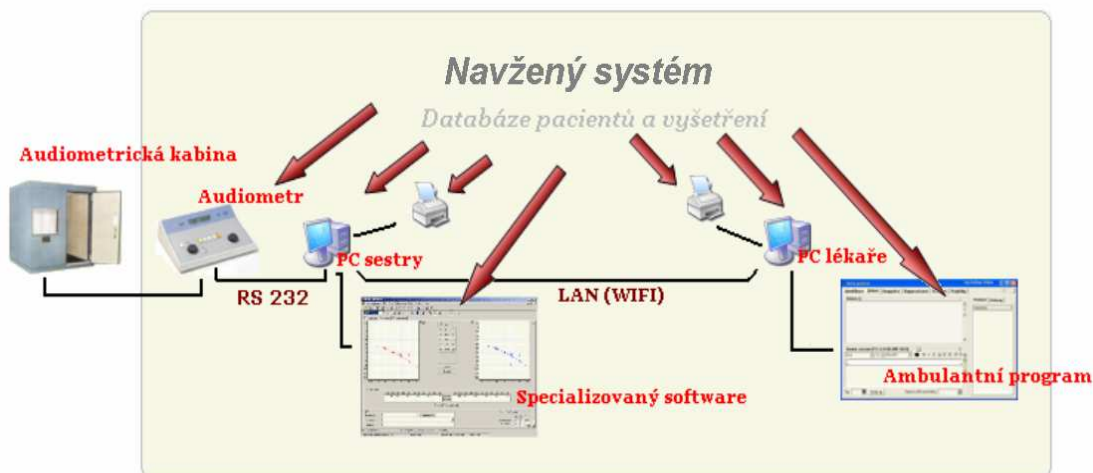
Velká skupina audiometrických pracovišť stále provádí zápis pouhým odečítáním hodnot z audiometru a jejich vyznačením do tiskopisu pomocí barevných tužek. Poté je proveden výpočet ztráty dle Fowlera a to prostřednictvím výtisku tabulky a ruční kalkulačky. Tyto úkoly provede audiometrická sestra a výsledky předává lékaři. Ten po posouzení a případných dalších vyšetřeních provede zápis do dekurzu (denní záznam o průběhu nemoci a ošetřování), včetně opsání naměřených hodnot. Tiskopis vyšetření je následně uložen do kartotéky audiogramů. Některá pracoviště pro měření využívají software dodávaný s audiometry, ale jedná se převážně o nástroje vizualizující měření a umožňující uložení a tisk výsledků. Tyto softwarové nástroje nejsou mezi lékaři příliš

oblíbené. Problém je v jejich přílišné autonomnosti – neexistencí provázanosti s ambulantním programem, kdy nelze sdílet databáze pacientů, exportovat záznamy atd. Přičteme-li k tomu nutnost neustálého opisování osobních údajů pacienta, výsledků vyšetření a faktor „obavy zdravotních sester z výpočetní techniky“, dostaneme se na již zmiňovanou metodu tiskopisu a barevných tužek.

Kupodivu ani výpočet ztráty dle Fowlera není často nijak softwarově upraven. Pokud nástroje existují, jedná se o tabulkové zpracování na principu Microsoft Excel, ale opět neexistuje propojenost s audiometrem ani ambulantním programem.

Stěžejním cílem pro vylepšení tohoto vyšetření bylo odstranění všech přepisování a ručních výpočtů. Jednalo se o tyto úkoly:

- realizaci propojení audiometru s PC a tím umožnění systému získávat online přístup k měřeným datům,
- přípravu tisku a exportu do grafických souborů,
- algoritmizaci a následnou implementaci výpočtu hodnoty ztráty sluchu dle Fowlera, střední hodnoty ztráty pro řečové frekvence, aj.,
- realizaci komunikace mezi jednotlivými počítači v rámci lokální sítě - obvykle lékař a sestra pracují na různých počítačích a je vhodné sdílet a předávat informace,
- implementaci propojení s nejčastěji používanými ambulantními programy (produkty třetích stran) a tím získání osobních údajů pacienta přímo z již zavedených databází a stejně tak ve finále možnost nakopírování výsledků do dekurzů těchto programů.



Obr. 11. Provázanost navrženého systému Fowler

Výše popsané úkoly byly implementovány ve formě programových modulů, které byly následně začleněny do systému Fowler. Celý systém již od počátku pracuje s daty v digitální podobě a je tedy významně usnadněno jejich další zpracování a použití. Jedná se o tyto funkce:

Porovnání audiometrických nálezů: audiometrické křivky je možné porovnávat, graficky i numericky, v závislosti na předchozích vyšetřeních - viz Obr. 12.

Tato funkce vychází z požadavku lékařů, kteří systém testovali a považují ji za významnou pomůcku při celkovém pohledu na audiometrické nálezy jednotlivých pacientů v průběhu sledování.

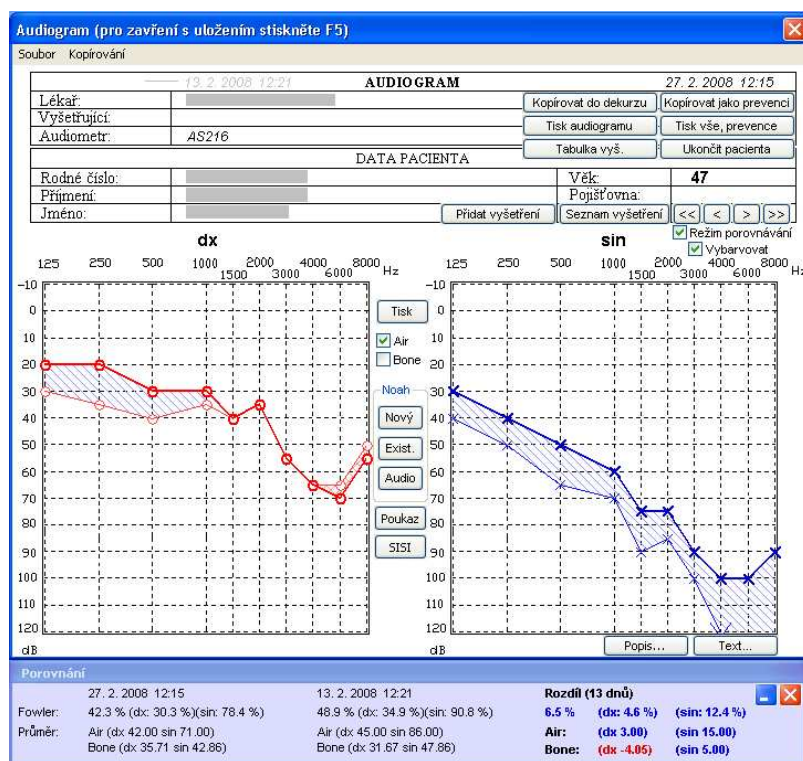
Měření s porovnáním: na stejném principu jako porovnání nálezů byla implementována i tato funkce. Měření nového záznamu probíhá s podkresem křivkou z předchozího vyšetření (je-li k dispozici).

Tato funkce vychází z požadavku audiometrických sester, které systém testovaly a považují ji za významnou při provádění opakovaných audiometrických vyšetření.

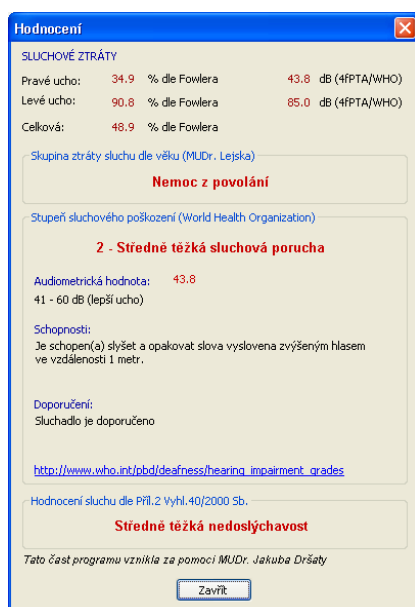
Výpočty a hodnocení výsledků: jak již bylo uvedeno v předchozích bodech, v případě audiometrických vyšetření systém automaticky provádí výpočet ztráty sluchu dle Fowlera a střední hodnoty ztrát pro dané frekvence. Tyto hodnoty spolu

s informací o věku pacienta, která je v systému implicitně známa, umožňují algoritmizovat některá další kritéria užívaná v ORL lékařství. V současnosti jsou realizována tato kritéria:

- zařazení do skupiny ztráty sluchu dle věku (Obr. 10),
- provedení hodnocení sluchu dle Příl. 2. Vyhl. 40/2000 Sb. Ministerstva práce a sociálních věcí (Obr. 13),
- přiřazení stupně poškození sluchu dle WHO (World Health Organization) Tabulka 2. obsahuje originální definice těchto stupňů [26]. Softwarová implementace vznikla ve spolupráci s MUDr. Jakubem Dršatou z Fakultní nemocnice Hradec Králové.



Obr. 12. Porovnání audiogramů



Obr. 13. Hodnocení sluchu – různá kritéria

Tabulka 2: Stupně poškození sluchu dle WHO (převzato z[26])

Grade of impairment	Corresponding audiometric ISO value	Performance	Recommendations
0 - No impairment	25 dB or better (better ear)	No or very slight hearing problems. Able to hear whispers.	
1 - Slight impairment	26-40 dB (better ear)	Able to hear and repeat words spoken in normal voice at 1 metre.	Counselling. Hearing aids may be needed.
2 - Moderate impairment	41-60 dB (better ear)	Able to hear and repeat words spoken in raised voice at 1 metre.	Hearing aids usually recommended.
3 - Severe impairment	61-80 dB (better ear)	Able to hear some words when shouted into better ear.	Hearing aids needed. If no hearing aids available, lip-reading and signing should be taught.
4 - Profound impairment including deafness	81 dB or greater (better ear)	Unable to hear and understand even a shouted voice.	Hearing aids may help understanding words. Additional rehabilitation needed. Lip-reading and sometimes signing essential.

Pozn.: Stupně 2, 3 a 4 jsou klasifikovány jako **omezující porucha sluchu**.

Hodnota „audiometric ISO value“ je získána jako průměr hodnot na frekvencích 500, 1 000, 2 000, 4 000 Hz.

4.1.4 SISI test

Provádí se na hladině intenzity 20 dB nad individuálním prahem sluchu pomocí speciálního tónu. Jedná se o kontinuální tón, který se každých 5 sekund automaticky zvýší o 1 dB na dobu 200 ms. Měření se provádí v sériích po 20ti impulsích a je počítáno, kolik impulsů okamžitého zvýšení intenzity vyšetřovaný zaznamená. Každé přesné označení jednoho impulsu se vyjadřuje hodnotou 5 %. Pro kochleární vadu sluchu je důležitý zisk 80 – 100 %; pro retrokochleární vadu zisk 0 – 20 %. Ostatní hodnoty nejsou charakteristické.

Značení:

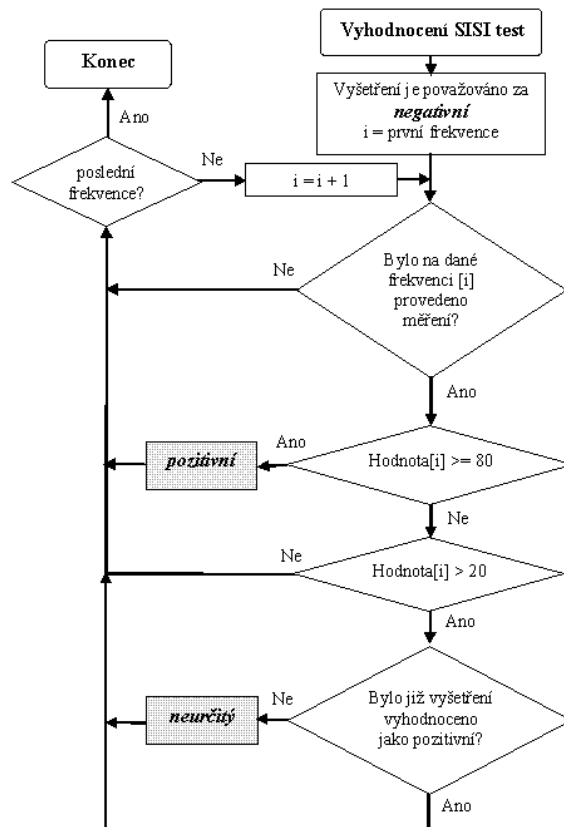
pozitivní ... 80 - 100 %

neurčitý ... 25 – 75 %

negativní ... 0 – 20 %.

Realizovaná zefektivnění

Pro toto vyšetření, stejně jako pro všechna předchozí, bylo důležité připravit sběr, vizualizaci a uchování naměřených hodnot. U vyšetření SISI testem je jednoznačně definován i algoritmus hodnocení a bylo tedy možné jeho začlenění do systému. Algoritmus hodnocení tohoto vyšetření je znázorněn v následujícím diagramu.



Obr. 14. Algoritmus vyhodnocení SISI testu pro jedno ucho

Každé ucho se vyhodnocuje nezávisle. Pokud některá z hodnot dosáhne hranice 80 %, je celé vyšetření hodnoceno jako pozitivní a je třeba frekvence, kdy bylo pozitivního nálezu dosaženo, uvést. Aby výsledek byl klasifikován jako negativní, musí hodnoty na všech měřených frekvencích mít hodnotu menší nebo rovnu 20 %. Všechny zbývající případy jsou klasifikovány jako neurčitý výsledek vyšetření [13].

Uvedený algoritmus je implementován ve vytvořeném systému jako jeden z modulů.

4.1.5 Tympanometrie

Tympanometrické vyšetření doplňuje audiometrické a je zcela objektivním vyšetřením k posouzení sluchového aparátu pacienta. Spolupráce pacienta je minimální. Postačí, když bude sedět v klidu a omezí mimiku obličeje. Vyšetření lze provádět i u malých dětí, pokud se je podaří zabavit a zklidnit.

Princip této diagnostické metody je založen na zavedení měřicí sondy do vnějšího zvukovodu, který se tím hermeticky uzavře. Měnicím se tlakem se hodnotí stav blanky bubínku a ipsilaterální (stejnostranné) i kontralaterální (druhostranné) stapediální reflexy ke zhodnocení tuhosti řetězu středoušních kůstek. Výsledky jsou zobrazeny na tympanometrické křivce [15].

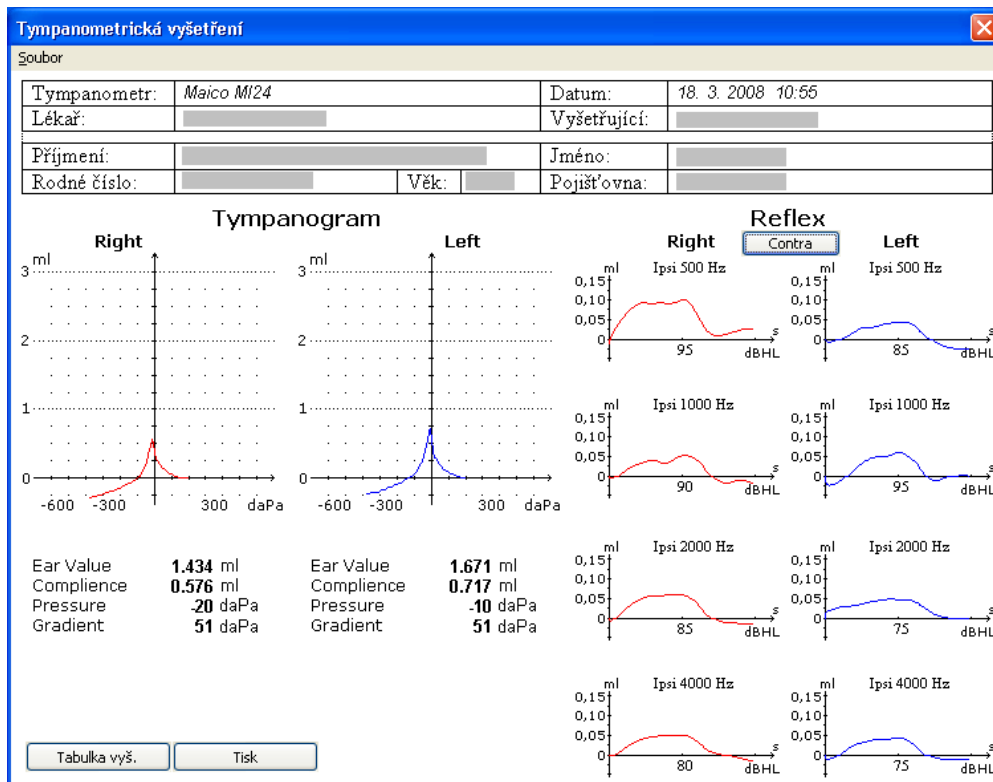
Realizovaná zefektivnění

Jak již bylo zmíněno, výsledkem tohoto vyšetření jsou tympanometrické křivky. Na Obr. 5. v části *Objektivní audiologie* je znázorněn jeden z běžně používaných tympanometrů a je zde i patrné, v jaké formě se převážně tyto křivky dostávají k lékaři – jedná se o tištěný výstup.

I přesto, že moderní tympanometry umožňují připojení k osobnímu počítači, tato možnost není příliš využívána. Programy dodávané k přístrojům nespolupracují s ambulantními programy a tedy údaje o pacientech je nutno duplikovat, přenositelnost do dekurzu ambulantních programů je možná pouze omezenou formou, např. pomocí schránky Windows. Software obvykle není součástí dodávky přístroje, musí se dodatečně dokoupit a cena, dle vyjádření lékařů, neodpovídá omezenému přínosu, který přinášejí.

Je-li provedeno běžné tympanometrické vyšetření, lékař získává grafické vyjádření zjištěného stavu ve formě křivek označovaných jako tympanogram a reflexy. Křivky jsou vždy nezávislé pro levé a pravé ucho. Reflexy středoušních svalů lze snímat při ipsilaterální nebo kontralaterální stimulaci různými tónovými podněty. Nejčastěji je sledována odezva na frekvence 500, 1 000, 2 000 a 4 000Hz.

Forma zobrazení implementovaná v navrženém systému je znázorněna na Obr. 15.



Obr. 15. Křivky tympanometrických vyšetření

Tympanometry, které umožňují připojení k osobním počítačům a jejichž komunikační protokoly se podařilo získat, lze přímo monitorovat v realizovaném systému Fowler. Výčet těchto přístrojů je uveden v kapitole 4.2.1.

Realizovaná vylepšení tympanometrického vyšetření spočívají v možnosti přímého spojení tympanometru se softwarovými nástroji navrženého systému. Ten, stejně jako tomu bylo u ostatních implementovaných vyšetření, umožňuje import dat pacienta z ambulantního programu a na druhou stranu export výsledku vyšetření do dekurzu téhož programu. Vedle těchto standardních vylepšení je pro tympanometrická vyšetření poskytnuta možnost využití automatické klasifikace křivek - viz Obr. 17.

V závislosti na charakteru křivek se jedná o tato označení [13]:

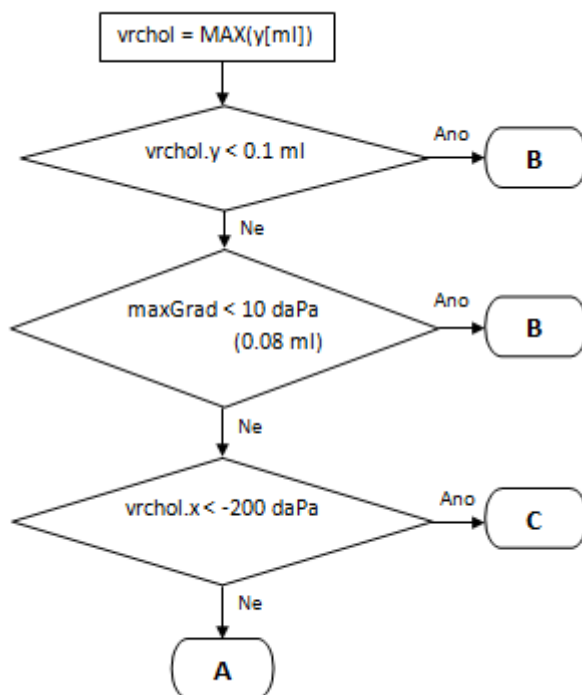
Tympanogram: A, B, C

Reflexy: výbavné, nevýbavné (označováno symboly +, -).

Informace potřebné pro klasifikaci jsou vypočteny přímo tympanometrem, popřípadě modul systému Fowler potřebné hodnoty dopočítává. Jedná se o tyto výpočty:

Tympanogram: implementovaný algoritmus určuje umístění vrcholu tympanometrické křivky a její typ. Data popisující tuto křivku jsou z tympanometru získávána ve formě tabulky závislosti změny objemu na tlaku. Za vrchol křivky je považována maximální hodnota dosažené změny objemu. Typ křivky je poté odvozen z této hodnoty a tlaku, při jakém bylo maxima dosaženo.

Na Obr. 16 je podrobněji znázorněn algoritmus určení typu tympanometrické křivky. Symbolem $y[ml]$ je zde označen vektor objemů naměřených pro jednotlivé tlaky (měřeno v intervalu $\langle -400, 200 \rangle$ daPa); $vrchol$ je bod o souřadnicích $x[daPa]$ a $y[ml]$ určující pozici, kdy objem y dosáhl maxima; $maxGrad$ je hodnota maximálního růstu y . V závislosti na typu tympanometrického přístroje je gradient udáván v jednotkách daPa nebo ml.

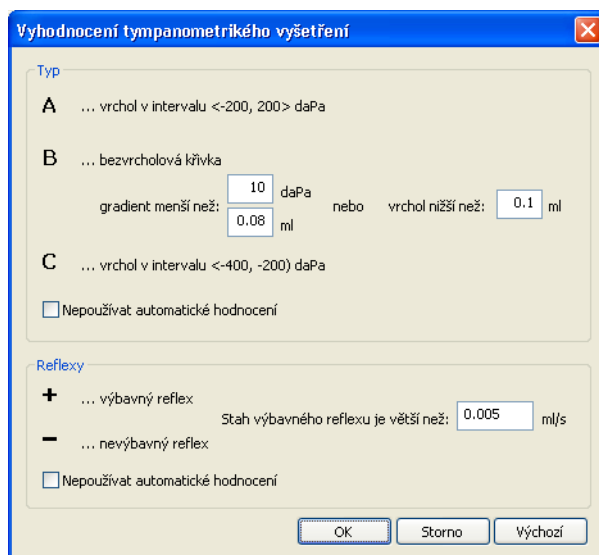


Obr. 16. Algoritmus klasifikace tympanometrické křivky

Reflexy: pro rozdělení reflexů je třeba získat hodnotu stahu výbavného reflexu. Tympanometr automaticky hledá nejnižší hodnotu akustického tlaku, která ještě vyvolá výbavný reflex. V případě ipsilaterálních a kontralaterálních reflexů je změna objemu (výbavnost) obvykle sledována po dobu jedné sekundy. Podobně jako tympanogram i křivky reflexů jsou po dekodování vstupních dat k dispozici ve formě tabulkové závislosti objemu na čase. Numerické vyjádření hodnoty stahu není obvykle součástí výstupních dat tympanometru. Tympanometrycký modul systému Fowler ji tedy určuje následujícím výpočtem:

$$Stah \approx h * \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \quad [ml / s] \quad (2)$$

kde: h je perioda snímání hodnot objemu (obvykle v řádu setin sekundy);
 y objem [ml].



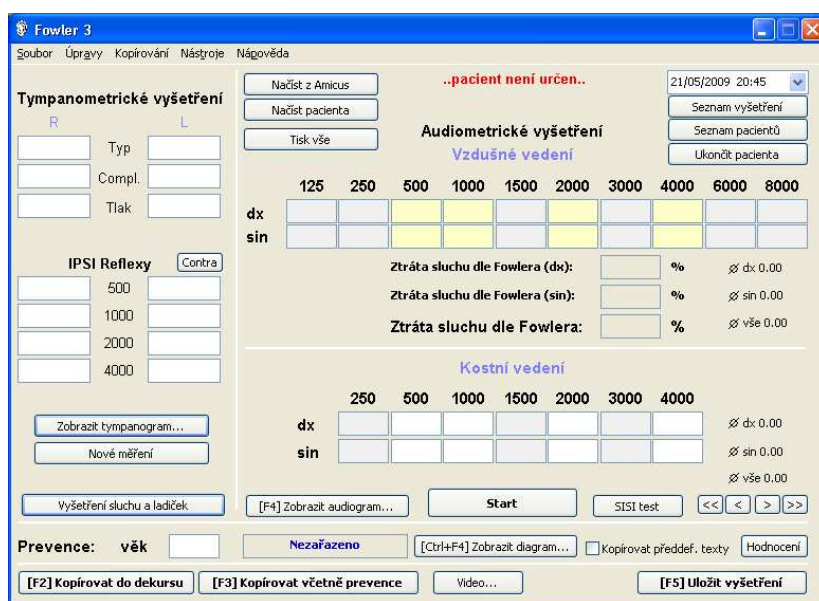
Obr. 17. Parametry klasifikace tympanometrických křivek

4.2 Softwarová část řešení

Výše popisované moduly systému Fowler byly implementovány do aplikace systému Windows nazvané Fowler. Pro sestavení byl použit programovací jazyk C++ v prostředí Microsoft Visual Studio.

Systém Fowler také tvoří významnou část v návaznosti na navržený expertní systém, jehož popisu se bude věnovat zbývající část této práce.

Jako užitečný nástroj pro zefektivnění a zpříjemnění práce lékaře a sestry je systém Fowler již používán na řadě pracovišť ORL po celé České republice. A právě díky praktickému a dlouhodobému nasazení poskytuje prostředky i k dalšímu vědeckému využití, což je rovněž ukázáno v experimentu prezentovaném v závěrečné části této práce, kdy data, získaná dlouhodobým používáním systému Fowler, posloužila jako základ tréninkové množiny neuronové sítě, jakožto výkonného jádra expertního systému pro podporu diagnostiky onemocnění otosklerózou. Stejně tak mohou data shromažďovaná a uchovávaná v databázích systému Fowler posloužit pro statistickou analýzu nebo tvorbu dalších expertních systémů založených na metodách umělé inteligence, kdy velké soubory dat jsou obvykle nezbytným předpokladem jejich nasazení.



Obr. 18. Hlavní okno aplikace Fowler

4.2.1 Implementace vstupů jednotlivých modulů

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, systém Fowler obsahuje moduly jednotlivých ORL vyšetření. V následující části bude podán stručný souhrn zaměřený na vstupy, které jednotlivé moduly nabízejí. Vstupy z hardwarových zařízení, které systémem Fowler zpracovává, byly integrovány v závislosti na dostupnosti a otevřenosti komunikačních protokolů jednotlivých výrobců. Oblast vizualizace a zpracování naměřených dat je však v systému Fowler společná všem zařízením a tedy připojení dalších přístrojů je pouze otázkou získání jejich komunikačních protokolů a implementace vhodného rozhraní. Audiometry a tympanometry, se kterými systém Fowler již spolupracuje, patří mezi modely, které jsou v ordinacích českých lékařů nejrozšířenější.

Modul audiometrického vyšetření

Údaje o vyšetření lze zadat:

- vepsáním do tabulky,
- pomocí myši do grafického formuláře,
- pomocí RS232 protokolu získat přímo z audiometru.

Audiometry, jejichž komunikační protokol byl v aplikaci implementován:

Interacoustics AS216, AD226, AD225, AC30/33, AA222

Maico MA50/52, MI24-44, ST20

Medsen Itera II

Amplaid A321.

Ze získaných hodnot audiogramu je automaticky počítána ztráta sluchu dle Fowlera, ISO hodnoty průměru aj. Tyto hodnoty jsou použity k posouzení sluchové ztráty - viz kapitola 4.1.3.

Modul tympanometrického vyšetření

Údaje o vyšetření lze zadat:

- vepsáním do tabulky,
- pomocí RS232 protokolu získat přímo z tympanometru.

Tympanometry, jejichž komunikační protokol byl v aplikaci implementován:

Interacoustics AT235, AA222

Maico MI24-44.

Získané hodnoty jsou klasifikovány dle kritérií popsanych v kapitole 4.1.5.

Modul SISI test

Údaje o vyšetření lze zadat vepsáním do tabulky, v případě audiometru Amplaid A321 připojeného na RS232 je lze importovat přímo z audiometru.

Modul vyšetření sluchu a ladiček

Údaje o vyšetření lze zadat vepsáním do tabulky, jak je popsáno v kapitole 4.1.1.

4.2.2 Práce s daty

Aby program nesloužil pouze jako výpočetní nástroj nebo nástroj komunikace s hardwarem, bylo nutno vyřešit, jak se získanými daty nakládat a v jaké podobě je co nejlépe prezentovat lékaři. Právě na část „komunikace s lékařem“ byl kladen velký důraz. Protože se nejedná o nástroj renomované softwarové společnosti, bylo o to obtížnější přesvědčit lékaře k jeho vyzkoušení a následnému používání.

4.2.3 Uživatelská vylepšení

Vlastnosti systému zaměřené na usnadnění práce uživatele vycházejí z úkonů, které lékaři a zdravotní sestry vykonávají při každodenní rutinní činnosti.

Nejdříve je vhodné popsat způsob funkce ordinace v okamžiku příchodu pacienta. S ohledem na provázanost k navrženému systému lze sled úkonů zjednodušeně charakterizovat těmito body:

1. Lékař vyhledá záznam pacienta v ambulantním programu.
2. Lékař zjišťuje anamnézu a provádí základní vyšetření.
3. Lékař předává pacienta zdravotní sestře k audiometrickému vyšetření.
4. Sestra provádí vyšetření a předává výsledky lékaři.

5. Je-li třeba, provádí se další vyšetření, např. tympanometrické vyšetření.
6. Lékař stanoví diagnózu a provádí zápis do dekurzu ambulantního programu.

Systém Fowler zjednodušuje výše zmiňovaný postup v těchto bodech:

Bod 2: Aby lékař mohl pracovat v systému Fowler, je nutno specifikovat pacienta. Aby však nedocházelo ke zdvojenému zadávání, případně vyhledávání (ambulantní program, Fowler), byl v systému Fowler realizován import dat pacienta z ambulantního programu. Lékař vyhledá pacienta ve svém ambulantním programu a po přepnutí do okna systému Fowler může stiskem tlačítka importovat jeho data do systému.

V závislosti na ambulantním programu je toto realizováno pomocí makra klávesových zkratk nebo zpráv WM_GETTEXT rozesílaných příslušným prvkům ambulantního programu nesoucím požadované informace.

Podporovány jsou tyto ambulantní programy:

- Amicus (DIALOG MIS s.r.o.),
- Medikus (Medisoft International s.r.o.),
- PC Doktor (DIALOG MIS LTD.),
- 3L Pediatr (B&G software s.r.o.).

Jedná se o skupinu nejrozšířenějších ambulantních programů v českých ORL ordinacích.

Výsledky základních vyšetření jakými jsou např. vyšetření sluchu a ladiček, lékař může v průběhu práce přímo zapisovat do připravených formulářů programu Fowler, odkud je lze kdykoli exportovat do výše jmenovaných ambulantních programů.

Bod 3.: Je-li audiometrické pracoviště spojeno s počítačem lékaře, může tento po dokončení bodu 2 pomocí stisku jediného tlačítka inicializovat audiometrické vyšetření na tomto pracovišti. Sestře provádějící audiometrické vyšetření tedy uspoří čas jinak potřebný k vyhledávání, případně zadávání nového pacienta do systému.

Bod 4.: Sestra provádí vyšetření běžným způsobem (viz kapitola 4.3), ale mezivýsledky nemusí zapisovat do tiskopisu, nýbrž jsou v reálném čase čteny z audiometru a vizualizovány na obrazovce počítače. Po dokončení vyšetření sestra provádí tisk výsledků (nezbytný doklad archivace). Tisk je jednou z forem ukončení vyšetření, vše je uloženo do databáze a systém informuje lékaře o dokončení.

Bod 5.: V případě provádění tympanometrického vyšetření je postup obdobný bodu 4.

Bod 6.: Po stanovení diagnózy lékař provádí zápis do dekurzu ambulantního programu, jehož součástí jsou i výsledky dílčích vyšetření. Protože výsledky jsou již zaznamenány v systému Fowler, bylo logickým krokem zde implementovat export do dekurzu ambulantního programu. V závislosti na architektuře ambulantního programu je toto obvykle realizováno pomocí schránky, automatických maker zkratkových kláves nebo přímou simulací klávesnice. Z pohledu uživatele – lékaře se samozřejmě jedná o pouhý stisk tlačítka a zbylé akce jsou provedeny automaticky. Skupina podporovaných ambulantních programů je totožná s bodem 2.

Vedle exportu do dekurzu ambulantních programů byla pro potřeby lékařů specializujících se na foniatrickou péči (hlas, řeč) realizována možnost exportu audiometrické tabulky do programu Noah (HIMSA Inc.), což je jeden z nejpoužívanějších databázových nástrojů v audiologii.

4.2.4 Práce v síti

Aby program mohl plnit všechny funkce zmiňované v kapitole 4.2.3 je vhodné, aby pracoviště lékaře a sestry bylo součástí jedné lokální počítačové sítě. V tomto případě je nutno zajistit přístup k adresáři databáze pacientů (obvykle je umístěn na počítači sestry). K tomu postačuje daný adresář aktivovat jako sdílený.

Vedle využití implicitní funkce systému Windows v podobě sdílení adresáře s databází pacientů byl v systému Fowler implementován také modul síťové komunikace. Jeho úkolem je zajistit vzdálený výběr pacienta na pracovišti sestry. Lékař, který po příchodu pacienta do ordinace provádí jeho vyhledání (zadání v případě nového pacienta) v ambulantním programu, import do systému Fowler a provedení základních vyšetření,

může požadovat další vyšetření, která však spadají do činnosti zdravotní sestry. Pracoviště sestry je obvykle v jiné místnosti (s přístupem k audiometrické kabině) a aby sestra nemusela pacienta opakovaně vyhledávat (zadávat), síťový modul systému Fowler umožňuje lékaři automaticky spustit kartu konkrétního pacienta na pracovišti sestry, včetně aktivace požadovaného měření (audiometrické, tympanometrické). Druhou vlastností síťového modulu Fowler je schopnost zpětného informování lékaře o dokončení jednotlivých vyšetření. V okamžiku, kdy sestra dokončí měření (zahájí tisk, nebo provede uložení), je lékař automaticky informován o existenci nového záznamu pro daného pacienta.

Síťový modul systému Fowler je implementován na úrovni paketů UDP protokolu.

4.2.5 *Forma uložení*

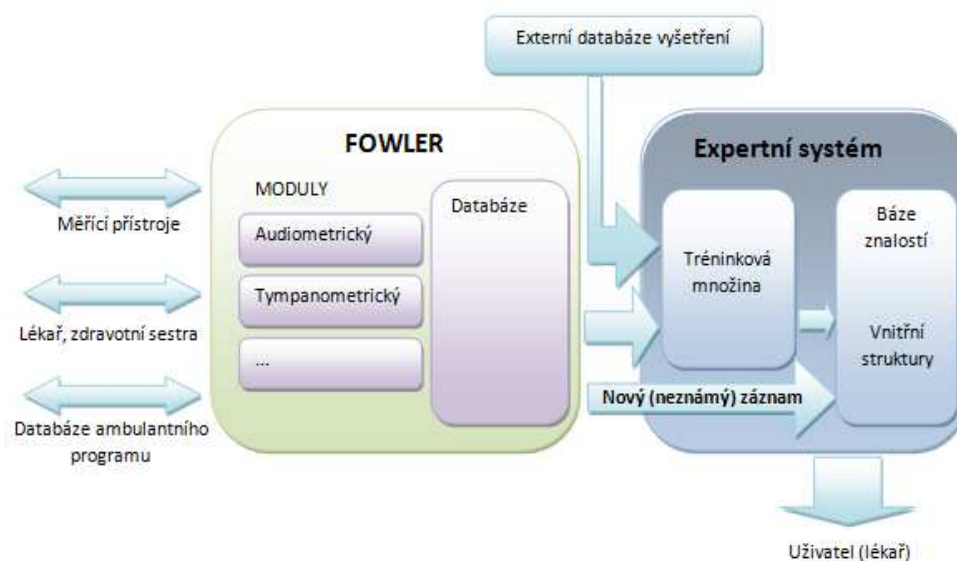
Veškerá vyšetření jsou v programu ukládána do databáze. Databáze je ve formě souborů XML, přičemž každému pacientovi odpovídá jeden soubor. Současně existuje i jeden společný soubor nesoucí kompletní seznam pacientů. Tato forma má převážně historické opodstatnění. Program byl nejdříve připraven pouze jako nástroj ke sběru audiometrických dat a bylo nutno podporovat operační systémy běžně používané v ordinacích (Windows 95 apod.), kde z důvodů výpočetní kapacity nebylo vhodné užití databáze vyšší úrovně. Tento způsob ukládání však přináší i jisté výhody: záznam pacienta lze lehce exportovat/importovat na jiný počítač, soubory obsahují minimum režijních dat, tedy celá databáze je diskově nenáročná. Pro ilustraci, například databáze lékaře, který využíval software po dobu 2 let a za tu dobu provedl vyšetření přibližně pro 200 jeho pacientů, v komprimované podobě zabírá necelých 120 KB.

4.3 Experimentální expertní systém

V ORL lékařství, stejně jako ve většině jiných oborů medicíny, lze o některých diagnózách říci, že jejich rozpoznání je spíše rutinní záležitostí a naopak některé lze považovat za obtížněji diagnostikovatelné. Do skupiny obtížněji diagnostikovatelných onemocnění je možné zařadit také některé „méně obvyklé“ diagnózy. Zde logicky hrozí, že lékaři je často včas nerozpoznají a právě s pomocí expertního systému, který na dané riziko může upozornit, lze možnosti jejich diagnostiky významně rozšířit.

Mezi tato onemocnění lze zařadit i otosklerózu, která byla vybrána jako choroba, na jejíž diagnostiku byl vytvářený expertní systém optimalizován a testován.

Snahou experimentu popsaného v následující části byla příprava expertního systému na bázi umělé inteligence jako podpůrného nástroje pro ORL lékaře při stanovení diagnózy „otoskleróza“. Tento experimentální expertní systém navazuje na prostředky systému Fowler. Systém Fowler slouží jako významná součást modulu získávání znalostí, jeho databáze bude důležitým zdrojem tréninkové množiny expertního systému a doplňkem při přípravě báze znalostí. Jejich vzájemné vazby ukazuje následující obrázek.



Obr. 19. Vazba systému Fowler na experimentální expertní systém

4.3.1 Otokleróza

Jedná se o samostatné onemocnění kostěného pouzdra labyrintu, jehož příčina není dosud plně objasněna. Kódové označení této nemoci je H809.

Symptomy: podle lokalizace ložiska otosklerózy dochází ke:

- klasické převodní nedoslýchavosti,
- smíšené převodní - percepční nedoslýchavosti (hlavně ve vysokých frekvencích),
- čisté percepční nedoslýchavosti - nedoslýchavosti jednostranné později postihující obě uši - rozdíly v nedoslýchavosti,
- ušním šelestům,
- poruchám rovnováhy,
- závratím,
- ušním výtokům.

Patogeneze (vznik a vývoj choroby): jedná se o multifaktoriální onemocnění, porucha hormonální, zvýšená aktivita osteocytů a histiocytů v pouzdru labyrintu.

- Manifestuje se jen u 10% nosičů vadného genu, hlavně u žen, bělošek.
- Manifestuje se při hormonálních změnách (puberta, těhotenství), první symptomy se objevují až po šestnáctém roce věku a po těhotenství se zhoršují.

Léčba je převážně chirurgická - stapedektomie.

Obtížná odhalitelnost otosklerózy

Jak vyplývá z předchozího odstavce, otoskleróza není příliš častou chorobou a v běžné praxi se s ní lékař setkává dosti zřídka. Rovněž sluch pacienta se obvykle zhoršuje pozvolna a protože tento jev je obvyklý u mnoha častěji se vyskytujících příčin, může být onemocnění otosklerózou chybně rozpoznáno a léčeno. V této souvislosti je třeba si uvědomit, že velká skupina poškození sluchu je nevratná a tedy i následný vývoj, případně

ne příliš účinná léčba, nemusí hned vést k pochybnostem o nesprávnosti stanovené diagnózy.

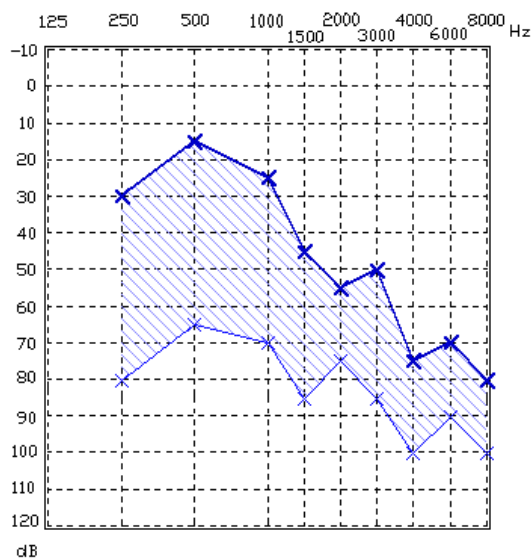
Malá četnost výskytu tohoto onemocnění byla potvrzena i při přípravě znalostní báze expertního systému, kdy v celé vstupní databázi (zdrojem byla databáze ORL ordinace) tato diagnóza figurovala pouze jednou přímo a několikrát jako možná - viz 4.3.2.

Důvody pro volbu otosklerózy

Otoskleróza byla zvolena jako primární diagnóza expertního systému z několika důvodů. Jedním z nich je samozřejmě možnost alespoň malou měrou napomoci lékaři, kdy doposud na úrovni běžné péče neexistují jednoznačné nástroje a postupy pro diagnostiku tohoto onemocnění. Pro jeho malou četnost ani samotní lékaři mnohdy nedisponují praktickými zkušenostmi s jeho diagnostikou.

Jak již bylo dříve uvedeno, poškození sluchu je ve většině případů nevratné. Nemusí však tomu tak být úplně, jedná-li se právě o otosklerózu - viz Obr. 20., který ukazuje výrazné zlepšení sluchu u pacienta s úspěšně léčenou otosklerózou. Dalším důvodem pro výběr této diagnózy byla tedy možnost alespoň nepřímo přispět ke zkvalitnění života pacientů, kteří tímto onemocněním trpí, a díky včasné diagnóze může rychleji dojít ke zlepšení jejich stavu.

V této práci nebyl prováděn přímo statistický výzkum tohoto onemocnění ani výsledků léčby, ale ze zkušeností lékařů na této práci zainteresovaných lze říci, že chirurgický zákrok jako výhradní způsob léčby přináší v mnoha případech výrazné zlepšení sluchu, což je demonstrováno na následujícím obrázku.



Obr. 20. Porovnání audiogramů operované otosklerózy

Obrázek ukazuje porovnání audiogramů 38-letého pacienta těsně před a přibližně měsíc po operaci. Je zde patrné výrazné zlepšení, které vyjádřeno procenty sluchové ztráty dle Fowlera se zmenšilo o více jak 40 %. Použijeme-li kritérium hodnocení sluchového poškození WHO (World Health Organization), pacient z kategorie „Těžká sluchová porucha“, kdy je sluchadlo nezbytnou pomůckou pro komunikaci, přechází do kategorie „Středně těžká sluchová porucha“ a sluchadlo se pro něj stává pouze vhodným doplňkem. Jak bylo demonstrováno, odhalení a následná léčba otosklerózy může vést k výraznému zlepšení života pacienta.

4.3.2 Implementace expertního systému

V této kapitole budou popsány jednotlivé kroky tvorby a ladění expertního systému.

V první fázi, po stanovení cílů, bylo nutno zajistit vhodnou databázi pacientů a vyšetření, která následně posloužila k přípravě znalostní báze.

Druhou fází bylo navržení a příprava znalostní báze. Na tuto bázi lze pohlížet jako na dva logické celky. První celek můžeme označit jako poznatky a obecné znalosti lékaře.

Druhý celek – experimentální znalosti, byl vytvořen aplikací obecných znalostí na výsledky z provedených měření.

Třetí fází bylo připravit a optimalizovat neuronovou síť tak, aby vhodně využívala informaci znalostní báze a tedy co možná nejadekvátněji odpovídala na budoucí dotazy.

Stanovení cílů

Základní myšlenkou bylo vytvoření systému, ve kterém na vstup přicházejí data získaná ORL lékařem při běžném vyšetření pacienta a výstupem je informace o možné diagnóze s důrazem na signifikantní znaky otosklerózy.

Databáze vyšetření

Aby mohl expertní systém vůbec vzniknout, bylo třeba získat dostatečné množství ohodnocených vzorků. Jako zdroj byla použita databáze ORL lékaře působícího ve městě Otrokovice. Tato databáze byla zpracována pro období přibližně 2 let. Velkým přínosem v této fázi bylo, že lékař po celou dobu pro audiometrické vyšetření využíval systému Fowler, vytvořeného v dřívější fázi této práce, a data tedy byla k dispozici již v digitální podobě. Rovněž tím došlo k prvnímu otestování základních funkcí systému v praktickém nasazení.

Jak již bylo zmíněno dříve v části Otoskleróza, tato diagnóza není příliš rozšířena a v celé databázi ORL lékaře se téměř nevyskytovala. Pro primární zdroj vzorků otosklerózy bylo nutno využít jiného zdroje, kterým se stala část archivu ORL oddělení Baťovy nemocnice ve Zlíně, které se na léčbu tohoto onemocnění specializuje.

Poznatky a obecné znalosti

Po příchodu pacienta do ordinace nastává proces vyhodnocování a hledání příčin jeho potíží. Do tohoto procesu vstupuje mnoho informací, lékař zjišťuje obtíže a hodnotí aktuální stav s přihlédnutím k anamnéze.

V závislosti na těchto zjištěních přistupuje k dalším vyšetřením, otoskopické prohlídce, audiometrickému vyšetření, tympanometrickému vyšetření apod. Výsledky vyšetření spolu s odbornými znalostmi a zkušenostmi lékaře by na výstupu tohoto procesu měly vést ke stanovení diagnózy.

Samozřejmě se jedná o značně zobecněný příklad, ale pro přiblížení principů by měl být postačující. Prostor pro uplatnění expertního systému je právě spatřován ve fázi hodnocení výsledků vyšetření. Aby však mohl být vyplněn, je třeba systému zajistit alespoň část znalostí, kterými disponují lékaři. V kapitole Otoskleróza byly naznačeny některé ze základních indicií směřující lékaře k úvahám o možnosti výskytu otosklerózy u daného pacienta. Na základě znalostí o této diagnóze byla databáze vzorků zkoumána, poznatky konzultovány s odbornými lékaři a postupně sestavena znalostní báze expertního systému.

Znalostní báze

Při sestavování znalostní báze bylo vycházeno ze znalostí odborných lékařů, ale rovněž byly brány na zřetel informace dostupné v databázi vyšetření. Jednalo se převážně o výběr parametrů obsažených u velké skupiny pacientů. Cílem bylo nejen získat rozsáhlou množinu vstupních vzorků, ale také vyřadit některé informace, které jsou sice v diagnostice otosklerózy významné, ale v databázi vyšetření minoritní, což má rovněž praktický význam pro budoucí nasazení expertního systému. Systém by měl být aplikovatelný obzvláště v situacích, kdy lékař nemá na otosklerózu podezření, a provádí jen běžná vyšetření a výsledky specifických testů tedy nejsou systému k dispozici. Právě v této situaci by upozornění na riziko otosklerózy prostřednictvím expertního systému mělo být vhodným doplněním diagnostických informací.

Jedním z vyšetření, které nebylo do sestavení znalostí báze zahrnuto je například tympanometrického vyšetření. V případě podezření na otosklerózu a mnohá další onemocnění toto vyšetření hraje nesporně významnou roli, ale s ohledem na malé zastoupení v databázi výsledků vyšetření (přibližně u 10 % z vyšetřovaných pacientů) a již zmiňovaný prostor uplatnění expertního systému nebylo vhodné jeho výsledky v systému uplatňovat.

Aby budoucí expertní systém nevyžadoval výraznou interakci s lékařem do jeho báze, nebyly rovněž zahrnuty vstupní informace a výsledky vyšetření, které běžně nemají numerickou formu (anamnéza, otoskopické nálezy apod.).

Znalostní báze sestavená pro zvýraznění signifikantních rysů otosklerózy obsahuje tyto parametry:

- 1) Rozdíl sluchových ztrát dle Fowlera pro hůře a lépe slyšící ucho.

Tento parametr zohledňuje vzdušné vedení.

- 2) Odstup sluchové ztráty vzdušného a kostního vedení u hůře slyšícího ucha.

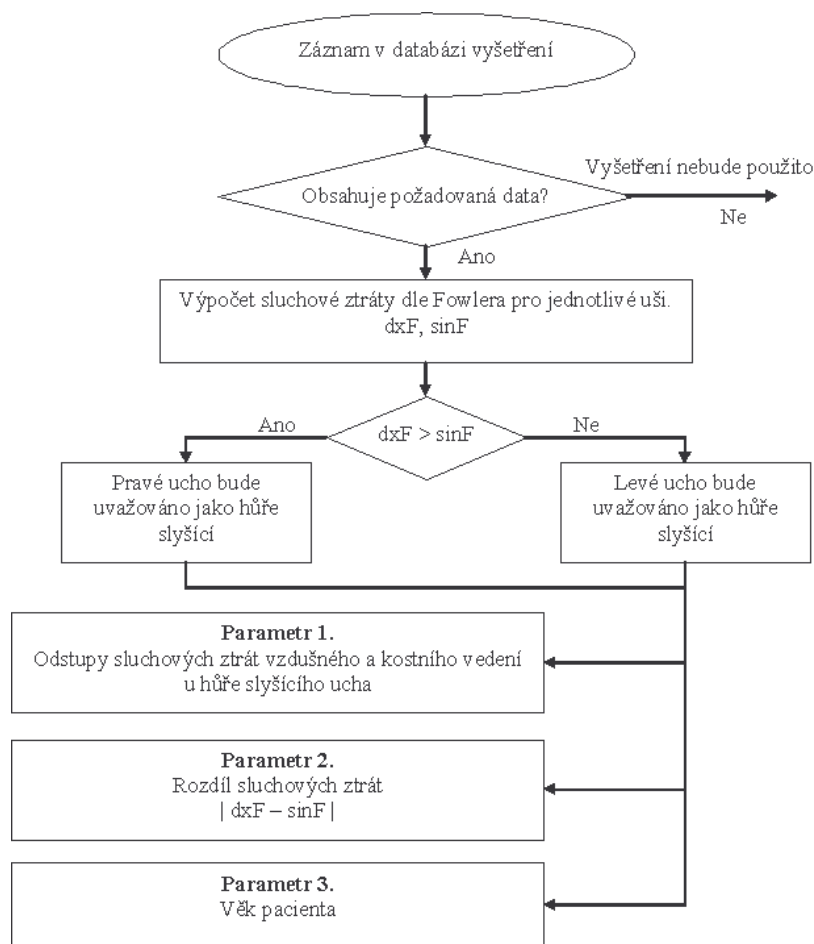
Tento parametr zohledňuje charakter nedoslýchavosti.

Odstupy ztrát u obou uší nebylo možno zahrnout, vstupní databáze pacientů s otosklerózou neobsahovala informace o kostním vedení „zdravého“ ucha.

- 3) Věk pacienta.

Tento parametr zohledňuje četnost výskytu v různých věkových skupinách.

Na základě výše popsaných znalostí byla z databáze vyšetření vytvořena tabulka vstupních parametrů pro další fázi experimentu. Algoritmus výpočtu jednotlivých parametrů této tabulky je znázorněn ve vývojovém diagramu níže.



Obr. 21. Vývojový diagram, tvorby vstupních parametrů

Kompletní tabulka vytvořená na základě databáze vyšetření je uvedena v Příloze A. Její struktura je následující:

Tabulka 3: Ukázka části záznamu tabulky vstupních parametrů

ČÍSLO ZÁZNAMU	VSTUPNÍ PARAMETRY									DIAGNÓZA	
	Parametr 1.							Parametr 2.	Parametr 3.		
	Odstupy sluchových ztrát vzdušného a kostního vedení různých frekvencí u hůře slyšícího ucha							Rozdíl sluchových ztrát dle Fowlera	Věk pacienta		
	0,25 kHz	0,5 kHz	1 kHz	1,5 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz				
[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[%]	[rok]			
1	55	30	45	35	15	35	25	37,4	55	H809	
.	
30	5	5	5	0	0	5	5	4	63	H681	
.	

Následující tabulky ukazují rozložení a počty použitelných vzorků v databázi vyšetření.

Tabulka 4: Rozložení a počty vzorků vyšetření

Diagnóza	Kód	Vzorků	Pacientů
Otoskleróza	H809	21	10
Obstrukce Eustachovy trubice	H681	15	12
Chronický seriózní zánět středního ucha	H652	14	8
Ztvrdle cerumen	H612	7	7
Jiný akutní nehnisavý zánět středního ucha	H651	6	5
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu jednostranná	H904	1	1
Převodní nedoslýchavost, ztráta sluchu, jednostranná	H901		
Bolest v uchu - otalgia	H920	3	3
Chronický zánět hltanu – pharyngitis chronica	J312	2	2
Akutní infekce horních dýchacích cest, NS	J069	10	10
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu oboustranná	H903	2	2
Obstrukce Eustachovy trubice	H681		
Centrální perforace bubínku	H720	2	2
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu oboustranná	H903		
Akutní lymfadenitis obličeje, hlavy a krku	L040	1	1
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu oboustranná	H903		
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu jednostranná	H904	17	16
Otitis externa, NS	H609	4	4
Chronický hnisavý atikoantrální zánět středního ucha	H662	3	3
Akutní hnisavý zánět středního ucha	H660	2	2
Ztvrdle cerumen	H612	2	1
Otitis externa, NS	H609		
Převodní nedoslýchavost, ztráta sluchu, jednostranná	H901	1	1
Obstrukce Eustachovy trubice	H681		
Obstrukce Eustachovy trubice	H681	2	1
Otitis externa, NS	H609		
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu oboustranná	H903	2	2
Ušní šelesty - tinnitus	H931		
Akutní zánět čelistní dutiny	J010	3	2
Chronický seriózní zánět středního ucha	H652		
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu oboustranná	H903	93	74
Obstrukce Eustachovy trubice	H681	3	1
Hypertrofie adenoidní tkáně	J352		
Akutní zánět čelistní dutiny	J010	7	7
Obstrukce Eustachovy trubice	H681	2	1
Akutní tonsilitida, NS	J039		
Chronická laryngitida – laryngitis chronica	J370	2	2
Alergická rýma, NS	J304	2	1
Alergická rýma, NS	J304	1	1
Obstrukce Eustachovy trubice	H681		
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu oboustranná	H903	2	1
Otitis externa, NS	H609		
Hypertrofie adenoidní tkáně	J352	1	1
Chronický zánět mandlí – tonsillitis chronica	J350	1	1
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu oboustranná	H903	3	2

Ztvrdlé cerumen	H612		
Chronický zánět hltanu – pharyngitis chronica	J312	1	1
Ztvrdle cerumen	H612		
Percepční nedoslýchavost, ztráta sluchu oboustranná	H903	1	1
Akutní zánět hltanu, NS	J029		
Akutní zánět čelistní dutiny	J010	1	1
Jiný akutní nehnisavý zánět středního ucha	H651		
Chronický hlenový zánět středního ucha	H653	1	1
Akutní zánět čelistní dutiny	J010	1	1
Chronický zánět hltanu – pharyngitis chronica	J312		

Tabulka 5: Souhrn vzorků vyšetření

Diagnózy	Vzorků	Pacientů
37	242	192

4.3.3 Neuronová síť

Pro řešení daného problému byla použita vícevrstvá neuronová síť na principu dopředného šíření. V této části bude popsáno sestavení a začlenění neuronové sítě do budoucího expertního systému.

Tréninková množina

Významnou součástí přípravy systému s neuronovou sítí je návrh tréninkové množiny. Použitá tréninková množina sestává ze skupiny záznamů, z nichž každý obsahuje pole, které je vstupem neuronové sítě následované hodnotou požadovaného výstupu.

V předchozí kapitole byla sestavena tabulka vstupních parametrů. Do podoby tréninkové množiny byla upravena jednoduchou transformací:

- Vstupní parametry byly převedeny na hodnoty intervalu $\langle 0, 1 \rangle$.
- Výstupní parametr vznikl substitucí diagnózy otoskleróza hodnotou 0. Zbývající diagnózy byly souhrnně nahrazeny hodnotou 1.

Ze vstupní tabulky byly vybrány záznamy, které budou použity k experimentálnímu ověření diagnostického efektu navrženého systému. Tyto záznamy nebyly do tréninkové množiny zahrnuty. Kompletní tréninková množina je uvedena v Příloze 2.

Tabulka 6: Ukázka části záznamu tréninkové množiny

Index	Číslo záznamu	Vstupní parametry									Požadovaný výstup
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,15	0,35	0,535	0,42	0
.

Popis parametrů:

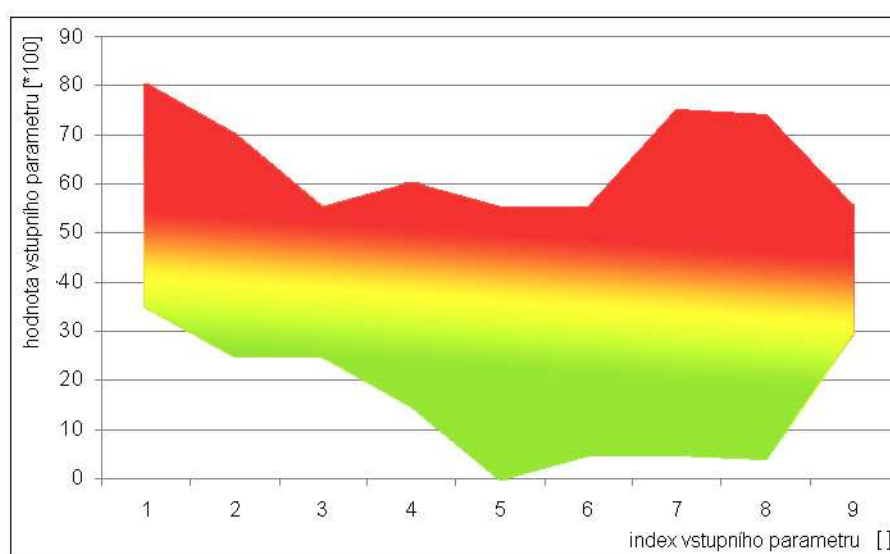
Vstupní parametry

- 1,2...7 - rozdíly sluchové ztráty vzdušného a kostního vedení,
- 8 - rozdíl sluchové ztráty dle Fowlera,
- 9 - věk pacienta.

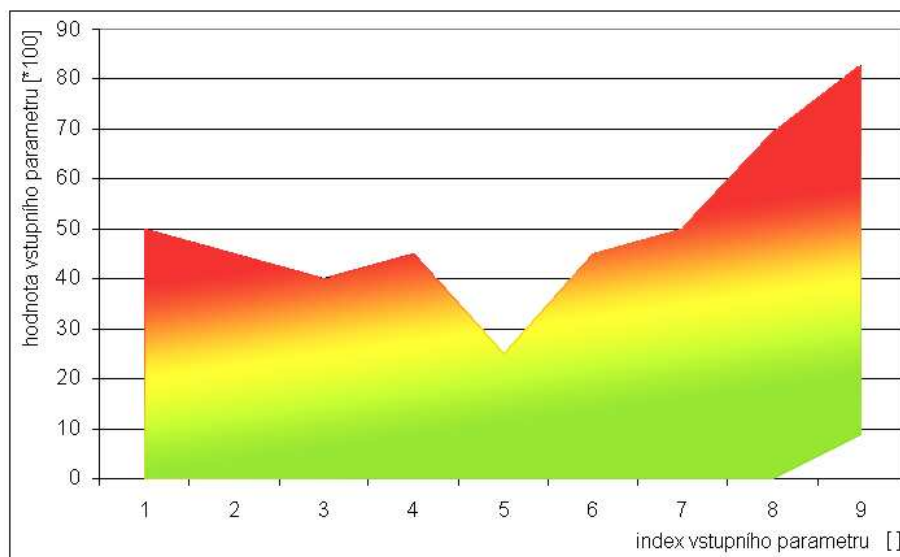
Požadovaný výstup

- 0 - diagnóza H809 – Otokleróza,
- 1 - zbývající diagnózy.

Následující obrázky ukazují rozložení jednotlivých vstupních parametrů v tréninkové množině. Rozčleněno podle požadovaného výstupu.



Obr. 22. Rozložení vstupních parametrů množiny – otoskleróza



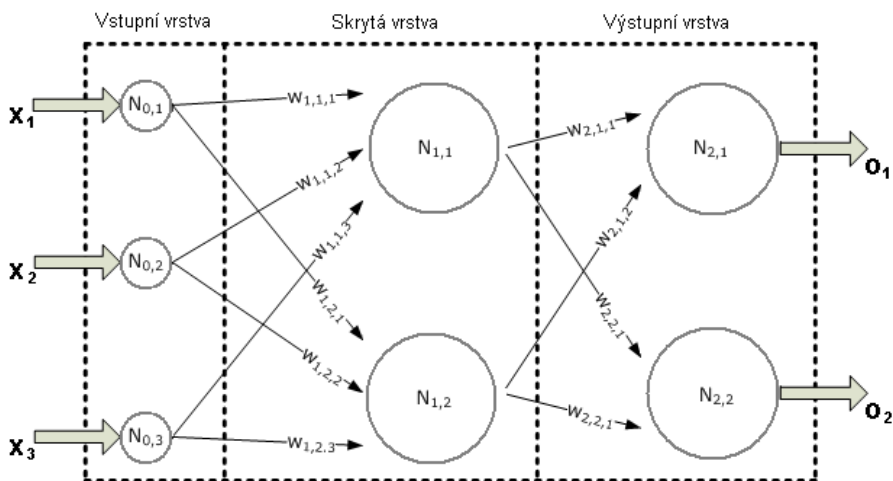
Obr. 23. Rozložení vstupních parametrů množiny – zbývající diagnózy

Učící algoritmus Backpropagation

Pro učení neuronové sítě byl použit algoritmus Backpropagation. Backpropagation je jeden z nejčastěji používaných algoritmů učení neuronové sítě s učitelem. Označovaný také “propagation of error”, tedy šíření chyby apod. [27]. Tento algoritmus opravuje-nastavuje váhy jednotlivých spojů zpětným chodem tak, aby jejich velikosti byly z hlediska řešeného problému pokud možno optimální - hledá se globální minimum chybové funkce. Nastavení vah tedy probíhá v opačném směru, než jakým se šíří vstupní informace.

4.3.4 Praktická implementace

Principy použitého algoritmu Backpropagation jsou standardní a budou tedy popsány jen v hlavních bodech. Implementace a algoritmy vycházejí ze zdrojového kódu [4].



Obr. 24. Vícevrstvá síť s dopředným šířením

Síť s dopředným šířením

Princip takové sítě je následující: Síť vezme vstup pro každý neuron a k němu nalezne výstup, jakožto sumu vstupních vah s následnou aplikací přenosové funkce. Nalezený výstup předává jako nový vstup do další vrstvy. Vše se opakuje až do dosažení výstupní vrstvy. Schematicky znázorněno na Obr. 24.

Přenosová funkce

Pro oba experimenty byla použita logistická přenosová funkce sigmoida. Jedná se o jednu z nejvíce používaných funkcí, která byla odvozena jako aproximace přenosové funkce biologického neuronu. Její zápis je:

$$\sigma(y) = \frac{1}{1 + e^{-y}}. \quad (3)$$

Hlavní body algoritmu Backpropagation

Nejdříve se provádí aktualizace výstupní hodnoty pro každý neuron. Toto se děje tak, že vstup je vnesen do neuronové sítě a nalezen výstup každého neuronu:

$$o = \sigma(\vec{w}x), \quad (4)$$

dalším krokem je nalezení delta pro výstupní vrstvu:

$$\delta_k \leftarrow o_k(1 - o_k)(t_k - o_k), \quad (5)$$

nalezení delta pro skrytou vrstvu(y):

$$\delta_h \leftarrow o_h(1 - o_h) \sum_{k \in \text{výstupy}} w_{kh} \delta_k, \quad (6)$$

aplikace momenta:

$$w_i = w_i + \mu * w_{i-1}, \quad (7)$$

kde μ ... momentum, modifikuje každou z vah v síti,

o_h ... výstup ve skryté vrstvě (vypočtená hodnota),

w ... váha spoje.

Nakonec dochází k nastavení vah pomocí korekce:

$$\Delta w_{ji} = \eta \delta_j x_{ji}, \quad (8)$$

kde Δw_{ji} je korekce.

A její aplikace:

$$w_{ji} \leftarrow w_{ji} + \Delta w_{ji}. \quad (9)$$

Posouzení kvality naučení

Důležitým aspektem při učení neuronové sítě je stanovení vhodné míry naučení. Jedná se vlastně o posouzení odchylky mezi výstupní odezvou a požadovaným originálem. V experimentu bylo použito zjednodušené kritérium střední kvadratické chyby (MSE).

$$E(k) = \frac{1}{2} \sum_{k \in \text{výstupy}} (t_k - o_k)^2, \quad (10)$$

kde

t_k ... originál (požadovaný výstup),

o_k ... výstup (vypočtená hodnota).

4.3.5 Konfigurace implementovaného algoritmu

Další fází bylo sestavení vhodné struktury neuronové sítě a návrh a ověření vhodného počtu skrytých vrstev a množství neuronů v každé z nich. Rovněž byly zvoleny hodnoty zbývajících parametrů (značení vychází ze zdrojového kódu):

<i>alfa</i>	...momentum (hybnost),
<i>beta</i>	...učicí poměr,
<i>threshold</i>	...práh (požadovaná hodnota střední kvadratické chyby MSE),
<i>treshreply</i>	...hodnota <i>threshold</i> musí být dosažena v <i>treshreply</i> počtu po sobě jdoucích opakování, aby byl trénink ukončen,
<i>numiter</i>	...maximální počet iterací.

Trénink neuronové sítě je zastaven, pokud MSE dosáhne hodnoty menší než požadované *threshold*, a to minimálně v *treshreply* iteracích. Pokud trénink není úspěšný, je přerušen po dosažení maximálního počtu iterací - reprezentováno parametrem *numiter*.

Použité parametry konfigurace:

<i>beta</i>	...0,3	(náhodně),
<i>alfa</i>	...0,1	(náhodně),
<i>threshold</i>	...0,0001	(experimentálně),
<i>treshreply</i>	...300	(náhodně s přihlédnutím k počtu vstupů),
<i>numiter</i>	...1 000 000 000	(experimentálně s přihlédnutím k realnosti dokončení).

Volba počtu neuronů

Byla definována neuronová síť se třemi vrstvami {9, 5, 1}.

Zvolený počet vrstev vychází z experimentálních znalostí. Vyšší počet vrstev a různé rozložení neuronů bylo rovněž testováno, ale vliv na kvalitu výsledného systému byl zanedbatelný.

První vrstva neuronové sítě je vrstvou vstupní, tj. představuje prostor vstupních parametrů a tedy počet neuronů v této vrstvě musí být shodný s počtem vstupních parametrů. V našem případě 9. Poslední vrstva je vrstvou výstupní a počet neuronů se musí shodovat s počtem výstupů. V našem případě 1 (možná diagnóza).

Počet neuronů ve zbývajících (skryté) vrstvě, byl experimentálně stanoven na 5.

4.3.6 Testování expertního systému

Metodika provádění testů byla následující:

- 1) Sestavení skupiny vzorků pokrývající různé varianty (různé diagnózy). Jedná se tedy o budoucí testovací množinu neuronové sítě, v našem případě ji lze považovat i za skupinu dotazů expertnímu systému.
- 2) Provedení adaptace neuronové sítě pro tréninkovou množinu a zvolený počet neuronů ve skryté vrstvě.
- 3) Vznesení dotazu ve formě testovací množiny.
- 4) Zopakování bodu 2 a 3 pro ověření shody odpovědí.
- 5) Volba nového počtu neuronů ve skryté vrstvě a provedení bodů 2, 3 a 4.

Testovací množina

Množinu lze rozdělit do tří logických celků:

Vzorky indexu <1, 4> přísluší pacientům, u nichž již byla otoskleróza diagnostikována a tedy je očekávána jednoznačná odpověď označující otosklerózu.

Označení hodnoty očekávané odpovědi v tabulce: 0.

Vzorky indexu <5, 7> odpovídají různým diagnózám H681; (J010,H652); H903 a je tedy očekávána jednoznačná odpověď vylučující otosklerózu.

Označení hodnoty očekávané odpovědi v tabulce: 1.

Zbývající vzorky <8, 19> odpovídají diagnózám různým od otosklerózy, ale lékař je toto schopen vyloučit pouze z informací doposud do systému nezahrnutých – obvykle anamnéza, otoskopický nálezn, tympanometrie. V tomto případě nelze vyloučit odpověď označující otosklerózu, ale s přihlédnutím k finální diagnóze by bylo vhodné, kdyby neuronová síť otosklerózu vyloučila. Označení hodnoty očekávané odpovědi v tabulce: 1*.

Volba testovací množiny se snaží ukázat, že i s minimem vstupních informací lze pomocí umělé inteligence a vhodně zvolených vstupů dosáhnout určité schopnosti diagnostiky.

Audiogramy vyšetření použitých v testovací množině jsou součástí přílohy C - E.

Ověření vlivu počtu neuronů ve skryté vrstvě

Během testování systému byly rovněž simulačně ověřeny různé varianty počtu neuronů ve skryté vrstvě. Počet neuronů v této vrstvě byl volen v intervalu <2, 27> při totožných hodnotách ostatních parametrů. Výsledky ukázaly, že tento počet v dané úloze nehraje příliš důležitou roli, a proto, jak již bylo zmíněno výše, pro další experimenty byla zvolena hodnota 5. Pro ilustraci jsou však uvedeny i výsledky při použití 18 neuronů - viz tabulky 7, 8.

Poznámka: Vyšší počet neuronů ve skryté vrstvě prodlužuje dobu učení a nevede-li toto k zpřesnění naučení, je vhodné použít raději jejich menší počet.

Výsledky testu

V následujících tabulkách budou demonstrovány odpovědi neuronové sítě po předložení neznámé skupiny vzorků. U všech experimentů se jednalo o opakované pokusy a tabulky tedy pouze ilustrují jeden ze skupiny pokusů, který se však svými výsledky od zbývajících odlišuje pouze nepatrně - v řádu desetin procenta.

Tabulka 7: Výsledek pro 18 neuronů ve skryté vrstvě

Index	Číslo záznamu	Vstupní parametry									Výstup	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Požadovaný	Dosažený
1	3	0,55	0,3	0,45	0,35	0,15	0,35	0,25	0,374	0,55	0	0,00000
2	4	0,55	0,35	0,55	0,35	0,2	0,25	0,25	0,407	0,55	0	0,00000
3	20	0,4	0,4	0,35	0,2	0,1	0,2	0,2	0,193	0,35	0	0,00000
4	21	0,35	0,4	0,35	0,15	0,1	0,15	0,25	0,204	0,36	0	0,00000
5	31	0,2	0,05	0	0,15	0	0,25	0,15	0,033	0,52	1	1,00000
6	121	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15	0,15	0,05	0,102	0,51	1	1,00000
7	181	0,3	0,25	0,1	0,1	0	0	0	0,123	0,6	1	1,00000
8	32	0,5	0,4	0,4	0,45	0,2	0,05	0,4	0,402	0,52	1*	0,00000
9	36	0,45	0,3	0,25	0,2	0,15	0,15	0,5	0,289	0,52	1*	0,00034
10	57	0,5	0,3	0,15	0,3	0,2	0,25	0,35	0,341	0,68	1*	0,99996
11	100	0,1	0,15	0,1	0,2	0,15	0,2	0,1	0,24	0,53	1*	1,00000
12	101	0,05	0,05	0,25	0,25	0,2	0,15	0,25	0,314	0,52	1*	1,00000
13	106	0,25	0,2	0,05	0,1	0	0,1	0,25	0,103	0,41	1*	1,00000
14	114	0,4	0,25	0,25	0,2	0,2	0,2	0,25	0,251	0,33	1*	0,56520
15	115	0,35	0,25	0,15	0,25	0,2	0,15	0,25	0,226	0,32	1*	1,00000
16	214	0,4	0,3	0	0,1	0	0,1	0,05	0,187	0,47	1*	1,00000
17	215	0,4	0,2	0,05	0,05	0	0,05	0,05	0,13	0,47	1*	1,00000
18	242	0,35	0,2	0,15	0,05	0	0,1	0,25	0,106	0,28	1*	0,93929
19	243	0,25	0,25	0,1	0,15	0,05	0	0,05	0,144	0,6	1*	1,00000

Parametry:

Doba učení 205 sekund.

Počet iterací potřebný ke splnění podmínky treshold a treshreply 11 280 882

Tabulka 8: Výsledek pro 5 neuronů ve skryté vrstvě

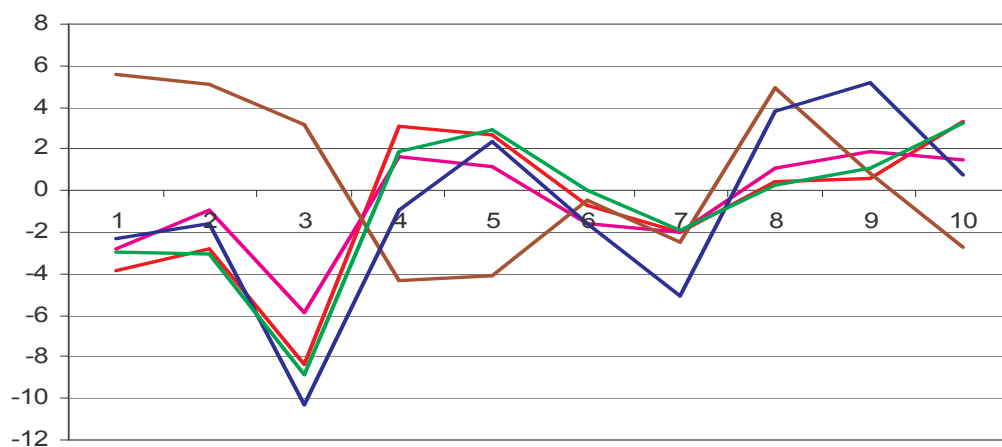
Index	Číslo záznamu	Vstupní parametry									Výstup	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Požadovaný	Dosažený
1	3	0,55	0,3	0,45	0,35	0,15	0,35	0,25	0,374	0,55	0	0,00000
2	4	0,55	0,35	0,55	0,35	0,2	0,25	0,25	0,407	0,55	0	0,00000
3	20	0,4	0,4	0,35	0,2	0,1	0,2	0,2	0,193	0,35	0	0,00001
4	21	0,35	0,4	0,35	0,15	0,1	0,15	0,25	0,204	0,36	0	0,00001
5	31	0,2	0,05	0	0,15	0	0,25	0,15	0,033	0,52	1	1,00000
6	121	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15	0,15	0,05	0,102	0,51	1	1,00000
7	181	0,3	0,25	0,1	0,1	0	0	0	0,123	0,6	1	1,00000
8	32	0,5	0,4	0,4	0,45	0,2	0,05	0,4	0,402	0,52	1*	0,00002
9	36	0,45	0,3	0,25	0,2	0,15	0,15	0,5	0,289	0,52	1*	0,00267
10	57	0,5	0,3	0,15	0,3	0,2	0,25	0,35	0,341	0,68	1*	0,99988
11	100	0,1	0,15	0,1	0,2	0,15	0,2	0,1	0,24	0,53	1*	1,00000
12	101	0,05	0,05	0,25	0,25	0,2	0,15	0,25	0,314	0,52	1*	1,00000
13	106	0,25	0,2	0,05	0,1	0	0,1	0,25	0,103	0,41	1*	1,00000
14	114	0,4	0,25	0,25	0,2	0,2	0,2	0,25	0,251	0,33	1*	0,43137
15	115	0,35	0,25	0,15	0,25	0,2	0,15	0,25	0,226	0,32	1*	0,99999
16	214	0,4	0,3	0	0,1	0	0,1	0,05	0,187	0,47	1*	1,00000
17	215	0,4	0,2	0,05	0,05	0	0,05	0,05	0,13	0,47	1*	1,00000
18	242	0,35	0,2	0,15	0,05	0	0,1	0,25	0,106	0,28	1*	0,84059
19	243	0,25	0,25	0,1	0,15	0,05	0	0,05	0,144	0,6	1*	1,00000

Parametry:

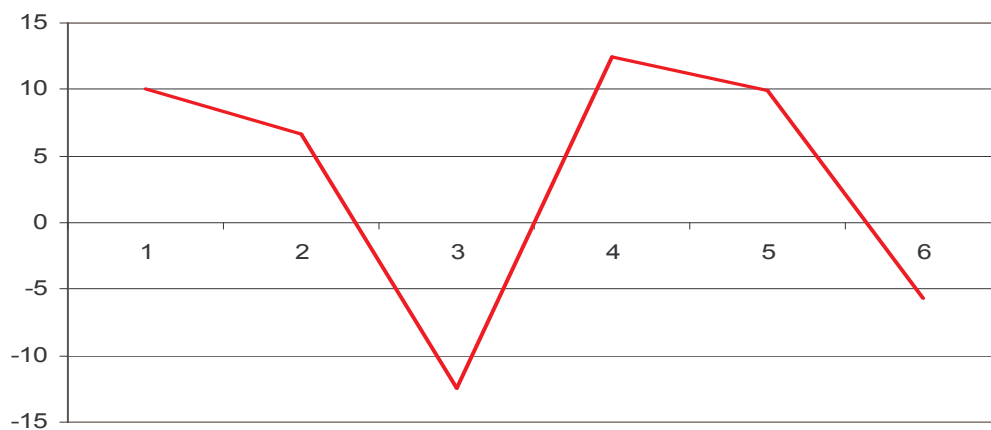
Doba učení 53 sekund.

Počet iterací potřebný ke splnění podmínky treshold a treshreply 9 625 784

Získané hodnoty vah mezi jednotlivými neurony jsou znázorněny na následujících obrázcích.



Obr. 25. Hodnoty vah mezi vstupní a skrytou vrstvou



Obr. 26. Hodnoty vah mezi skrytou a výstupní vrstvou

Poznámka: Časové údaje vycházejí z konfigurace počítače

AMD Athlon™ 64 Processor 3800+ 2,41 GHz, 2GB RAM, Windows XP

4.3.7 *Zhodnocení experimentu*

Bylo provedeno několik experimentů lišících se v počtu neuronů použitých ve skryté vrstvě. Tabulky 7 a 8 ukazují výsledky dvou z nich. Větší počet použitých neuronů samozřejmě vedl k prodloužení doby potřebné k provedení jedné iterace. Počet iterací potřebných k naučení se však s vyšším počtem neuronů nezmenshil. Rovněž vybavovací schopnost sítě se tímto nezlepšila.

Vzorky ohodnocené lékařem jako otoskleróza byly systémem rovněž správně označeny. Stejně tak vzorky, u kterých lékař jednoznačně otosklerózu vyloučil, byly systémem správně označeny. Do testovací množiny byla zahrnuta skupina dvanácti vzorků, u kterých lékař bez znalosti anamnézy nebo otoskopického vyšetření nemůže jednoznačně otosklerózu vyloučit. Systém správně u většiny těchto vzorků otosklerózu vyloučil.

5 VYUŽITELNOST VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ

Přínosem této práce pro vědu a praxi je především modernizace stávajících postupů vyšetření v ORL lékařství a zavedení nových moderních metod zpracování a vizualizace dat.

Celá práce vycházela přímo z požadavků lékařů a i během vývoje byla podrobena zpětné vazbě v podobě jejich připomínek. Postupy a zefektivnění byly centralizovány do jedné aplikace, která po uvedení do praktického užívání otevřela prostor pro následný vývoj expertního systému pro podporu diagnostiky onemocnění otosklerózou. Vedle prezentovaného expertního systému a nástrojů zefektivňujících práci lékařů a sester je významným přínosem práce také samotná digitalizace výsledků vyšetření a tím příprava datového základu pro snadnější aplikaci dalších inteligentních metod jejich zpracování.

Přínos práce je možné rozdělit do následujících oblastí:

Přínos pro střední zdravotnický personál: zdravotním sestřám, které obvykle provádějí daná vyšetření, byl poskytnut nástroj, ve kterém je jim významnou měrou usnadněno provádění a zaznamenávání výsledků audiometrického a tympanometrického vyšetření. Výpočty hodnotících ukazatelů jsou v tomto nástroji prováděny automaticky, což přináší další úsporu času potřebného k provedení daných vyšetření a také omezuje možnost vzniku chyb při výpočtech. K úspoře času také dochází díky odstranění redundance zadávání osobních dat pacienta (export a import do ambulantního programu je automatizován).

Přínos pro lékaře: skupina objektivních kritérií používaných při hodnocení výsledku vyšetření byla algoritmizována a implementována do aplikace systému Windows. Byl realizován expertní systém, který může přinést jistou míru objektivizace při diagnostice otosklerózy. Z podobných principů, které byly aplikovány v řešení expertního systému, by v budoucnu mohla vycházet další kritéria rozšiřující skupinu nástrojů podpůrné diagnostiky. Mohlo by se jednat o metody objektivního vyhodnocení daných vyšetření například pro diagnostiku onemocnění neurinomu akustiku. V neposlední řadě systém jako celek šetří čas lékaře, kdy propojení s měřicími přístroji umožňuje rychlý přístup k výsledkům vyšetření, zautomatizování některých úkonů usnadňuje například

kopírování výsledků do dekurzů ambulantních programů, přenos audiometrického záznamu do specializovaných nástrojů, ale také zjednodušuje práci s informací o aktuálním pacientu (odstraňuje redundanci při zadávání údajů).

Přínos pro vědu: jak již bylo uvedeno v úvodní části této kapitoly, zavedením systému vhodného sběru dat (forma databáze vyšetření realizovaného systému) se otevírá možnost aplikace moderních metod umělé inteligence na reálná data z medicínské praxe. Jedna taková aplikace, vycházející z reálného souboru historických dat a znalostní báze vytvořené ve spolupráci se specializovanými lékaři, byla připravena v rámci této práce. Jedná se o podpůrný expertní systém pro diagnostiku onemocnění otosklerózou.

Pokud by se podařilo digitalizovat velký soubor výsledků vyšetření, otevřel by se prostor pro objektivizaci rozsáhlejší skupiny diagnóz. Protože v současnosti je již navržený systém několik let využíván skupinou ORL lékařů, je takový soubor jistým způsobem nyní k dispozici. Jedná se ale pouze o strukturovaná data a je tedy úkolem dalšího výzkumu definovat a aplikovat vhodná kritéria pro jejich zpracování. Tento úkol zůstává nadále otevřený.

6 ZÁVĚR

V ORL lékařství, podobně jako v dalších oborech medicíny, je řada diagnóz rozpoznávána pouze kvalifikovaným odhadem lékaře. Tento odhad bývá založen na výsledcích skupiny vyšetření, k jejichž provedení se opět přistupuje v závislosti na úsudku lékaře.

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat systém, vycházející z požadavků lékařů a středního zdravotnického personálu, který usnadní a zefektivní řadu vyšetření v ORL lékařství. Práce si kladla za cíl obsáhnout většinu běžně prováděných vyšetření a v co možná největší míře je začlenit do komplexního systému. Tento systém, využívající prostředků výpočetní techniky, vede k urychlení a zpřesnění mnoha úkonů.

Do systému byla začleněna hardwarová zařízení (audiometry, tympanometry), pro které byly implementovány softwarové nástroje k online sběru dat. Stejně tak systém využívá již zavedených produktů třetích stran (ambulantní programy, specializované aplikace), se kterými spolupracuje a pro svou lepší funkčnost využívá a sdílí informace v nich obsažené. Všechna vyšetření realizovaná prostřednictvím navrženého systému jsou uchovávána v digitální podobě.

Systém samozřejmě vznikl v úzké spolupráci s ORL lékaři, kteří se podíleli na jeho návrhu, testování a zpřesňování. K prvnímu praktickému nasazení v ORL ordinaci došlo již v roce 2005, tedy před 5 lety. V následujících letech stále se rozšiřující systém našel uplatnění na mnoha dalších ORL pracovištích a postupně tedy rostla základna praktických uživatelů, která přispívala k dalším optimalizacím implementovaných postupů.

I když systém postupem let doznal významných změn, již od počátku jeho praktického nasazení byl dán základ budoucím rozsáhlým databázím audiologických vyšetření. Tím byl otevřen prostor k reálným úvahám o vytvoření expertního systému rozšiřujícího stávající metody hodnocení. Systému, který bude schopen sledovat příslušné znaky určitého onemocnění v právě prováděných vyšetřeních a v případě podezření na jeho výskyt upozornit lékaře.

Z podnětů odborných lékařů a následným studiem literatury byla vybrána diagnóza otoskleróza, jejíž diagnostikování je díky nepříliš četnému výskytu mnohdy obtížné. Lékaři v ordinacích se s danou diagnózou setkávají zřídka, a proto zde hrozí zvýšené riziko přehlédnutí nebo záměny s jinou diagnózou. Ve spolupráci se specializovaným oddělením zabývajícím se léčbou otosklerózy byla již existující databáze výsledků vyšetření běžných onemocnění sluchu rozšířena o záznamy pacientů s diagnózou otoskleróza. Na základě znalostní báze a informací obsažených v databázi, byla připravena tréninková množina neuronové sítě budoucího expertního systému.

Výstupem závěrečné části disertační práce byla realizace algoritmů pro aplikaci nových kritérií uplatňujících metody umělé inteligence. Byl dán základ podpůrnému expertnímu systému, který daná kritéria využívá k automatickému testování výsledků audiometrických vyšetření na riziko výskytu onemocnění otosklerózou.

Testování systému potvrdilo dobrou vypovídací schopnost navržených kritérií a tím i předpoklad, že kritéria nesou informaci o možnosti detekce onemocnění otosklerózou. V současnosti jsou algoritmy navrženého expertního systému připraveny k dalšímu rozvoji a ověřování v praxi.

K většímu zpřesnění by bylo vhodné použít kritéria rozšířit o pohlaví pacienta, výsledky tympanometrického a otoskopického vyšetření. V navrženém řešení však z důvodu nedostatečného počtu vzorků a zastoupení zmiňovaných výsledků ve vstupní databázi nebylo možné zpřesnění realizovat. Vedle rozšíření kritérií o výsledky dalších vyšetření lze systém zpřesnit na základě analýzy dalších audiometrických vyšetření, které mohou doplnit vstupní databázi v průběhu testování při skutečném nasazení. Následně by také bylo vhodné systém přizpůsobit a otestovat pro další diagnózy z ORL lékařství, případně i diagnózy z jiných odvětví medicíny.

7 LITERATURA

- [1] BAILEY, B.J, *Head & Neck Surgery – Otolaryngology*. J.B. Lippincott Copany Phililabdelphia, 1993. ISBN 0-397-51334-8.
- [2] BARGAR, Z., KOLLÁR, A. *Praktická audiometria*, Martin, 1986.
- [3] BINGHAM, B. HAWKE, M. *Atlas of clinical otolaryngology*. Mosby-Year Book; illustrated edition edition, 1991. ISBN 978-1556643156.
- [4] CHHABRA, T. S. *Back-propagation Neural Net* [online], c2006 [cit. 2009-03-12]. Dostupné z: <<http://www.codeproject.com/KB/recipes/BP.aspx>>.
- [5] ČADA, K. ŠLAPÁK, I. HOFFMANNOVÁ, D. BEDNAŘÍKOVÁ, L. *Základy otorinolaryngologie*. Masarykova univerzita v Brně: Brno, 1996. ISBN 80-210-1342-7.
- [6] DVOŘÁK, J. *Expertní systémy* [online], c2004 [cit. 2010-02-17]. Dostupné z: <<http://www.uai.fme.vutbr.cz/>>.
- [7] GANONG, W. F. *Review of medical physiology*. McGraw-Hill Publishing Co; 20th edition, 2001. ISBN 978-0838582824.
- [8] GLASSCOCK, M. E., JACKSON, C. G., JOSEY, A. F. *The „ABR Handbook“ Auditory Brainstem Response*, Thieme Medical Publishers; 2 Sub edition, 1991. ISBN 978-0865772021.
- [9] HYBÁŠEK, I. *Ušní, nosní a krční lékařství*. Galén, Karolinum: Praha, 1999. ISBN 80-7262-017-7.
- [10] INTERACOUSTICS, *Audiometer hearing solution* [online], c2009 [cit. 2010-01-17]. Dostupné z: <http://www.interacoustics.com/com_en/Pages/Product/>.
- [11] KATZ, J. *Handbook of Clinical Audiology*. Lippincott Williams & Wilkins; Fifth Edition edition, 2001. ISBN 978-0683307658.
- [12] KLOZAR et al. *Speciální otorinolaryngologie*. Galén, Praha 2005.

- [13] LEJSKA, M. kolektiv autorů. *Základy praktické audiologie a audiometrie*. Idvzp. Brno, 1994. ISBN 80-7013-178-0.
- [14] LEVY, M. N., KOEPPEN, B. M., STANTON, B. A., Berne, R. M. *Physiology*. Mosby-Year Book; 4th edition, 1998. ISBN 978-0815109525.
- [15] Mepha Centrum, *Tympanometrie* [online], c2007 [cit.2009-03-12]. Dostupné z: <<http://www.mephacentrum.cz/cs/info/tympanometrie>>.
- [16] NOVÁK, A. *Příručka základů klinické audiologie*. Praha 1998.
- [17] NOVÁK, A. *Stolní manuál audiologie*. Unitisk, Praha 2001.
- [18] PENHAKER, M. *Vývoj metody pro systematickou diagnostiku kondice cévního systému s využitím informace pletysmografického záznamu*, Doktorská disertační práce, VŠB - Technická univerzita Ostrava 2000.
- [19] PETZOLD, Ch. *Programování Microsoft Windows v jazyce C#*. SoftPress, 2003. ISBN 80-86497-54-2.
- [20] REICHL, J., VŠETIČKA, M.. *Encyklopedie fyziky* [online], c2010 [cit. 2010-04-12]. Dostupné z: <<http://fyzika.jreichl.com/>>.
- [21] ROZMAN, J. kolektiv autorů. *Elektronické přístroje v lékařství*. Academia, 2006. ISBN 80-200-1308-3.
- [22] SIBELMED, *Audiometria* [online], c2009 [cit. 2010-03-11]. Dostupné z: <<http://www.slovton.sk/Sibelmed/Sibelmed.htm>>.
- [23] SVATOŠ, J. *Biologické signály I*, Geneze, Praha 1998.
- [24] UCHYTIL, B., SMILEK, P., KOSTŘICA, R., Novotný, M. *Vyšetřovací metody a základní diagnostika v otorinolaryngologii. I. vyd.* Praha Triton, Edice Levou zadní, Praha 2002. ISBN 80-7254-190-0.
- [25] VALENTA, J. *Biomechanika*. Praha 1985.
- [26] WHO, *Grades of hearing impairment* [online], c2009 [cit.2009-03-22]. Dostupné z: <http://www.who.int/pbd/deafness/hearing_impairment_grades/en/index.html>.

- [27] ZELINKA, I. *Umělá inteligence I. Volume 1*. Vutium Brno, 1998. ISBN 80-214-1163-5.
- [28] ZITKO, M., kolektiv autoru. *Praktikum z lékařské biofyziky*, Praha 2003. ISBN 80-7254-435-7.
- [29] ŽIVČÁK, J. *Sluchové stimulatory*. Přerov 2002. ISBN 80-89040-14-4

8 PUBLIKAČNÍ AKTIVITY

Články v periodiku:

DOLINAY, V., LAMPART, M., VAŠEK, V. (2007). Prenatal care signal filtering. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, ISSN/ISBN 1210-0471, Ostrava.

Články ve sborníku:

DOLINAY, V., VAŠEK, V. (2004). Utilization of personal computer for heart sound processing. *In Annals of DAAAM for 2004 & Proceedings*, ISBN 3-901509-42-9, Published by DAAAM International, Vienna, Austria.

DOLINAY, V., VAŠEK, V., ZLÍNSKÝ, V. (2005). Software utility for processing of hearing investigation results. *In Annals of DAAAM for 2005 & Proceedings*, ISBN 3-901509-46-1, Published by DAAAM International, Vienna, Austria.

DOLINAY, V., DOLINAY, J., VAŠEK, V. (2005). Teaching aid for real time programming lessons. *In Process Control 2005*, ISBN 80-227-2235-9, Slovak University of Technology in Bratislava.

DOLINAY, V., VAŠEK, V., ZLÍNSKÝ, V. (2005). Computer interpretation of hearing loss based on Fowler Metod, *In Proceedings of XXXth Seminary ASR'05*, ISBN 80-248-0774-2, Ostrava.

ZLÍNSKÝ, V., DOLINAY, V. (2006). Softwarové porovnávání audiometrických nálezů. *69. kongres ORL*, Plzeň.

JANÁČOVÁ, D., DOLINAY, V., CHARVÁTOVÁ, H. (2006) Výukový program pro výpočet teplotních polí. *4. konference Alternativní metody výuky*.

JANÁČOVÁ, D., DOLINAY, V., MOKREJŠ, P. (2006). Řešení teplotních polí v tuhých látkách. *In 7th International Conference Control of Power & Heating Systems 2006*.

DOLINAY, V., LAMPART, M., VAŠEK, V. (2007). Filtrace dat v prenatální péči. *In XXXII. Seminář ASR '2007 "Instruments and Control"*, ISBN 978-80-248-1272-4, VŠB-TUO, Ostrava.

DOLINAY, V., LAMPART, M., VAŠEK, V. (2007). Systém of integrated prenatal care. *In TMT2007 11th International research/expert conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology"*, Faculty of Mechanical Engineering in Zenica ISSN/ISBN 978-9958-617-34-8, Zenica.

DOLINAY, V., ZLÍNSKÝ, V., VAŠEK, V. (2007). The processing of audiometrical investigation. *In 16th International Conference on Process Control'07*, Slovenská technická univerzita v Bratislave, ISSN/ISBN 978-80-227-2677-1, Bratislava.

DOLINAY, V., LAMPART, M., VASEK, V. (2008). Data Filtering. *In Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium*, ISBN 978-3-901509-68-1, ISSN 1726-9679, Published by DAAAM International, Vienna, Austria.

DOLINAY, V., PÁLKA, J. (2009). Sunny day as a sharpening factor of heat consumption survey. *In Proceedings of the 20th DAAAM International World Symposium*, ISBN 978-3-901509-70-4, Published by DAAAM International, Vienna, Austria.

Výzkumné zprávy:

MAREK, J., KOTEK, M., DOLINAY, V. (2007). Specifikace prostředků pro vývoj SW pro ICSE. *Dílčí zpráva projektu „Inteligentní systém pro řízení energetického systému městské aglomerace“ NPVII-2C06007, MŠMT.*

DOLINAY, V., PÁLKA, J. (2007). Návrh topologického datového modelu rozvodných sítí. *Dílčí zpráva projektu „Inteligentní systém pro řízení energetického systému městské aglomerace“ NPVII-2C06007, MŠMT.*

STRAKOŠ, V., VAŠEK, L., BALÁTĚ, J., DOLINAY, V. (2008). Zpracování a simulační ověření modelu distribuce tepla v sekundární distribuční síti. *Dílčí zpráva projektu „Inteligentní systém pro řízení energetického systému městské aglomerace“ NPVII-2C06007, MŠMT.*

DOLINAY, V., PÁLKA, J. (2008). Analýza závislosti spotřeby tepla na venkovní teplotě, při uvažování faktorů: den v týdnu a sluneční aktivita. *Dílčí zpráva projektu „Inteligentní systém pro řízení energetického systému městské aglomerace“ NPVII-2C06007, MŠMT.*

VAŠEK, L., VARGOVČÍK, L., MAREK, J., NEUMAN, P., PÁLKA, J., DOLINAY, V. (2009). Návrh informačního systému pro inteligentní řízení energetického systému městské aglomerace. *Dílčí zpráva projektu „Inteligentní systém pro řízení energetického systému městské aglomerace“ NPVII-2C06007, MŠMT.*

VAŠEK, L., KRÁL, E., VAŘACHA, P., DOLINAY, V. (2009). Návrh modelu distribuce a spotřeby tepla využívající metod analýzy měřených dat. *Dílčí zpráva projektu „Inteligentní systém pro řízení energetického systému městské aglomerace“ NPVII-2C06007, MŠMT.*

Mimo výše popsaných konferenčních příspěvků jsem byl **vedoucím těchto diplomových a bakalářských závěrečných prací:**

STAŠIAK, J. *Průmyslové sběrnice*, diplomová práce, UTB ve Zlíně, FAI, 2005.

REICH, J. *Archivační teploměr s využitím mikropočítače řady Motorola HC08*, bakalářská práce, UTB ve Zlíně, FAI, 2006.

ŽIVOTOPIS

Osobní informace:

Jméno a příjmení: Viliam Dolinay

Datum a místo narození: 16. 1. 1977, Zlín

Vzdělání:

2003-dosud UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, Institut řízení procesů a aplikované informatiky, doktorské studium, obor: Technická kybernetika.

1997-2003 UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, Institut informačních technologií, magisterské studium – dosažený titul Ing., obor: Automatizace a řídicí technika ve spotřebním průmyslu.

Jazykové znalosti:

Anglický jazyk – aktivně

Zaměstnání:

2006 - dosud Ústav automatizace a řídicí techniky, Fakulta aplikované Informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Odborný pracovník pro řešení projektu č. 2C06007.

Odborná činnost:

2005 – dosud: Spoluřešitel výzkumného záměru MSM 7088352102 Modelování a řízení zpracovatelských procesů přírodních a syntetických polymerů.

2006 – dosud: Spoluřešitel výzkumného projektu NPV II 2C06007 Inteligentní systém pro řízení energetického systému městské aglomerace.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Tabulka vstupních parametrů

Příloha B: Tabulka tréninkové množiny

Příloha C: Vzorky indexu $\langle 1, 4 \rangle$, H809

Příloha D: Vzorky indexu $\langle 5, 7 \rangle$, různé od H809

Příloha E: Vzorky indexu $\langle 8, 19 \rangle$, s podezřením na H809

Příloha A: Tabulka vstupních parametrů

ČÍSLO ZÁZNAMU	VSTUPNÍ PARAMETRY								DIAGNÓZA	
	Parametr 1.							Parametr 2.		Parametr 3.
	Odstupy sluchových ztrát vzdušného a kostního vedení různých frekvencí u hůře slyšícího ucha							Rozdíl sluchových ztrát dle Fowlera		Věk pacienta
	0,25 kHz [dB]	0,5 kHz [dB]	1 kHz [dB]	1,5 kHz [dB]	2 kHz [dB]	3 kHz [dB]	4 kHz [dB]	_____		[rok]
							[%]			
1	40	30	30	20	20	15	35	53,5	42	H809
2	35	35	35	20	10	20	30	47,7	42	H809
3	55	30	45	35	15	35	25	37,4	55	H809
4	55	35	55	35	20	25	25	40,7	55	H809
5	55	50	35	30	25	25	35	73,7	40	H809
6	50	50	50	60	55	55	45	69,6	40	H809
7	40	30	25	15	5	5	10	16,2	30	H809
8	35	25	30	15	0	5	5	15,9	31	H809
9	55	40	55	55	30	45	50	4	38	H809
10	60	45	50	55	30	40	50	10,5	38	H809
11	45	30	35	25	15	25	30	57,1	45	H809
12	50	35	35	20	10	25	30	55,6	45	H809
13	50	35	35	35	35	30	25	38,2	34	H809
14	50	35	35	35	30	35	30	35,9	34	H809
15	45	35	30	30	25	35	35	39,6	43	H809
16	55	45	35	30	25	25	35	40,1	44	H809
17	80	60	50	35	35	45	75	66,2	53	H809
18	75	70	55	35	35	45	65	65,5	53	H809
19	75	65	50	30	40	45	70	65,7	54	H809
20	40	40	35	20	10	20	20	19,3	35	H809
21	35	40	35	15	10	15	25	20,4	36	H809
22	0	0	0	5	0	0	0	1,2	26	H681
23	15	0	0	5	0	0	0	8,8	34	H681
24	15	5	0	0	0	0	0	0,6	58	H681
25	45	20	20	15	5	0	0	28,4	33	H681
26	50	45	10	0	0	5	0	46,3	37	H681
27	20	20	0	10	5	0	0	5,4	15	H681
28	0	5	0	5	0	5	0	7,7	63	H681
29	0	0	0	10	0	5	5	9,7	64	H681
30	5	5	5	0	0	5	5	4	63	H681
31	20	5	0	15	0	25	15	3,3	52	H681
32	50	40	40	45	20	5	40	40,2	52	H681
33	10	5	0	0	0	0	0	0,3	32	H681
34	10	10	15	10	10	20	10	12,4	52	H681
35	0	5	10	5	0	0	0	3,5	52	H681
36	45	30	25	20	15	15	50	28,9	52	H681
37	15	10	15	10	0	15	20	18,8	52	H652
38	5	0	0	5	10	0	10	7,6	52	H652
39	5	10	5	5	15	15	15	11,7	52	H652
40	5	0	0	0	5	0	5	0,2	62	H652
41	20	5	5	0	0	0	15	7,8	58	H652
42	25	25	10	5	5	5	15	4,4	54	H652
43	0	10	0	5	0	5	0	0,6	56	H652
44	35	10	20	20	5	45	35	34,3	62	H652
45	35	20	0	0	0	20	25	6,3	62	H652
46	20	0	0	0	0	10	25	5,6	62	H652
47	40	25	15	5	0	0	20	15,1	70	H652
48	35	15	15	5	0	0	15	9	70	H652
49	25	5	10	15	5	10	15	3,3	70	H652
50	30	20	25	25	10	10	20	6,7	18	H652
51	0	0	0	5	5	10	10	3,8	67	H612
52	0	5	0	0	5	0	0	0,1	56	H612
53	10	0	0	5	5	0	0	8,5	73	H612
54	5	0	0	0	5	0	5	0	28	H612

55	0	0	0	0	0	0	0	37,2	61	H612
56	0	0	0	0	0	0	0	0	43	H612
57	50	30	15	30	20	25	35	34,1	68	H612
58	0	5	0	0	0	0	5	0,5	13	H651
59	35	25	15	10	0	10	30	5,9	61	H651
60	30	10	10	5	0	0	20	0,1	61	H651
61	20	0	0	10	5	5	5	9,2	39	H651
62	30	0	0	10	0	0	0	2,6	77	H651
63	35	0	15	15	0	5	0	15,9	77	H651
64	35	20	10	0	0	5	5	4,9	62	H904, H901
65	5	5	10	5	0	0	0	1,6	38	H920
66	5	5	0	0	0	0	5	0,2	32	H920
67	10	0	0	0	0	0	0	7,3	73	H920
68	10	0	5	0	5	0	0	12,4	56	J312
69	45	30	15	10	0	0	0	7	80	J312
70	0	0	5	5	0	5	0	4,2	67	J069
71	0	0	0	0	0	5	5	2,3	45	J069
72	0	5	0	0	5	0	5	1	50	J069
73	10	5	0	0	0	0	0	0,3	10	J069
74	5	5	5	0	0	0	5	0,6	44	J069
75	0	0	0	0	0	0	0	0	21	J069
76	0	0	0	0	0	5	5	4,5	30	J069
77	10	5	0	0	0	0	0	0,3	37	J069
78	5	0	0	0	0	0	5	0,2	51	J069
79	5	5	5	10	5	5	10	4,9	48	J069
80	15	0	0	0	0	0	5	6,4	63	H903, H681
81	5	0	0	0	0	0	10	23,7	67	H903, H681
82	20	10	0	0	0	5	15	11,1	60	H720, H903
83	0	5	0	5	0	0	0	16,4	17	H720, H903
84	30	25	0	0	0	0	0	69,1	66	L040, H903
85	5	0	5	5	0	5	5	0,2	50	H904
86	5	0	5	0	0	0	0	0,6	9	H904
87	0	0	5	0	0	0	5	12,2	43	H904
88	5	0	5	0	0	0	0	2	29	H904
89	0	0	0	5	5	0	5	1,2	37	H904
90	5	0	0	0	0	0	0	6,6	58	H904
91	0	0	0	0	0	0	0	0,8	41	H904
92	0	0	0	0	0	5	10	2,6	19	H904
93	5	0	0	0	0	0	0	0,3	26	H904
94	5	5	0	5	0	5	0	2,6	34	H904
95	0	0	0	0	0	0	5	0,2	35	H904
96	5	0	0	0	0	0	10	4,1	36	H904
97	0	0	0	5	0	0	5	0,6	30	H904
98	10	0	5	5	0	5	10	60,5	56	H904
99	0	0	5	5	0	0	10	14	75	H904
100	10	15	10	20	15	20	10	24	53	H904
101	5	5	25	25	20	15	25	31,4	52	H904
102	15	0	0	0	0	5	5	2,8	30	H609
103	5	5	0	0	5	0	0	9,1	58	H609
104	0	5	0	0	0	0	0	0,7	40	H609
105	5	0	0	0	0	0	15	4,5	51	H609
106	25	20	5	10	0	10	25	10,3	41	H662
107	35	40	35	25	20	0	0	40,7	72	H662
108	35	25	15	0	0	10	20	5,8	59	H662
109	5	0	15	25	25	15	5	15,4	26	H660
110	10	0	5	0	5	10	5	9,8	15	H660
111	0	0	0	0	0	0	5	0,2	65	H612, H609
112	0	5	0	5	0	10	0	3,3	50	H612, H609
113	20	0	0	0	0	0	5	17,4	63	H901, H681
114	40	25	25	20	20	20	25	25,1	33	H681, H609
115	35	25	15	25	20	15	25	22,6	32	H681, H609
116	30	15	10	10	0	15	10	64,4	60	J010, H651
117	0	5	0	5	5	0	0	0,6	58	H903, H931

118	15	20	5	5	0	5	10	28,5	75	H903, H931
119	25	10	0	5	0	10	20	9,8	54	J010, H652
120	45	20	15	20	10	0	30	39,9	70	J010, H652
121	30	25	20	20	15	15	5	10,2	51	J010, H652
122	10	0	0	5	0	0	5	0	38	H903
123	5	5	0	0	5	5	10	4,4	82	H903
124	0	5	0	5	0	0	5	0,2	55	H903
125	0	0	0	0	0	0	5	5,6	55	H903
126	0	5	0	0	0	0	5	0,2	45	H903
127	0	0	0	0	0	0	5	2,4	41	H903
128	0	0	0	0	0	5	0	4,8	57	H903
129	15	0	0	0	0	0	15	0,2	38	H903
130	0	5	0	0	5	0	0	1,4	38	H903
131	0	0	0	5	0	0	5	1,9	74	H903
132	5	0	0	0	5	5	0	12,4	81	H903
133	5	0	5	0	0	10	0	0,2	39	H903
134	0	0	0	0	0	5	0	3,8	64	H903
135	0	0	0	5	5	0	0	0,1	60	H903
136	10	0	0	0	0	5	10	1,4	66	H903
137	0	5	0	0	0	0	0	4,3	50	H903
138	5	0	5	0	0	0	0	42,9	80	H903
139	5	0	0	5	5	5	0	45,7	80	H903
140	0	0	0	5	0	5	5	16,3	70	H903
141	0	0	0	0	0	5	25	12	58	H903
142	20	5	0	5	0	5	0	19,2	78	H903
143	20	5	0	5	0	5	0	19,2	78	H903
144	20	5	5	5	5	5	10	5,4	83	H903
145	0	0	0	0	0	0	0	1,4	69	H903
146	15	15	5	10	0	5	10	5,2	47	H903
147	0	5	0	5	0	5	0	1	71	H903
148	0	5	5	0	0	0	0	4,3	58	H903
149	5	0	0	0	5	5	0	4,8	82	H903
150	0	0	0	0	0	10	10	1,2	73	H903
151	0	0	0	0	5	5	5	3,8	77	H903
152	0	0	5	0	0	0	5	1,7	77	H903
153	0	5	5	0	5	0	5	6,6	60	H903
154	0	5	5	10	0	10	5	9,7	64	H903
155	0	0	0	0	0	5	5	4,7	53	H903
156	15	10	0	0	0	5	0	39,6	75	H903
157	20	0	0	5	0	0	5	40,7	75	H903
158	10	5	0	5	0	5	5	29,5	75	H903
159	0	0	0	10	10	0	10	13,3	68	H903
160	5	0	0	5	0	5	0	0,5	36	H903
161	30	25	0	0	5	10	10	14,3	78	H903
162	5	0	0	0	0	5	5	1,9	58	H903
163	0	0	0	10	0	0	0	13,6	67	H903
164	0	0	0	5	0	0	0	6,9	73	H903
165	0	0	0	5	0	5	0	4,9	36	H903
166	0	0	0	0	5	0	0	2,3	52	H903
167	0	0	0	0	0	0	0	1,5	49	H903
168	5	5	0	0	0	0	0	1,1	65	H903
169	10	0	0	0	0	0	0	2,5	65	H903
170	5	0	0	0	0	0	0	0	49	H903
171	30	10	0	0	0	25	20	9,1	51	H903
172	30	15	15	10	0	15	15	11,9	51	H903
173	5	10	0	0	5	0	0	7,8	51	H903
174	5	0	0	0	0	0	5	6,6	51	H903
175	10	0	0	0	0	0	10	1,7	79	H903
176	0	5	0	5	5	0	0	13,7	61	H903
177	0	0	0	5	0	5	0	0,6	44	H903
178	10	5	5	5	5	5	10	3,6	60	H903
179	10	0	5	5	5	0	5	20,5	70	H903
180	0	0	0	5	0	5	5	0	49	H903
181	30	25	10	10	0	0	0	12,3	60	H903

182	45	20	5	10	15	15	10	34,9	60	H903
183	0	5	5	0	0	0	0	4,3	64	H903
184	0	0	0	0	0	0	0	0,6	45	H903
185	5	0	0	0	0	5	5	5,3	58	H903
186	0	10	0	5	10	0	10	28,2	83	H903
187	5	0	0	0	0	5	0	4,6	72	H903
188	0	0	0	5	0	0	5	4,3	78	H903
189	0	0	5	0	5	0	5	0,3	41	H903
190	5	5	0	5	0	10	5	10,1	73	H903
191	5	5	0	5	0	0	0	0,4	57	H903
192	0	0	0	5	5	0	5	3,6	32	H903
193	25	0	5	5	0	0	5	31,8	66	H903
194	0	5	0	5	0	0	0	1	47	H903
195	0	0	0	0	0	0	5	0,2	47	H903
196	0	0	20	10	5	5	15	7,9	61	H903
197	25	5	0	5	0	0	5	65,6	76	H903
198	35	5	0	0	5	0	10	62,7	76	H903
199	30	5	5	15	10	5	10	68,5	76	H903
200	0	0	0	0	0	0	0	1,4	62	H903
201	10	0	0	0	0	0	25	2	41	H903
202	10	0	0	0	0	5	15	0	58	H903
203	5	0	0	0	0	5	0	52	62	H903
204	5	0	5	5	0	0	5	51	62	H903
205	0	0	0	0	5	0	5	2,8	63	H903
206	0	5	0	5	0	5	5	1,8	63	H903
207	5	0	0	0	5	5	5	1,6	29	H903
208	0	5	0	5	0	0	0	0	42	H903
209	5	10	0	5	5	0	0	4,3	75	H903
210	0	5	0	0	5	0	5	8	75	H903
211	0	5	0	5	5	5	5	7,4	60	H903
212	0	0	5	0	5	0	10	2,3	42	H903
213	5	0	0	0	0	0	0	0	30	H903
214	40	30	0	10	0	10	5	18,7	47	H903
215	40	20	5	5	0	5	5	13	47	H903
216	20	0	5	15	5	5	0	2,5	23	H681, J352
217	20	10	15	15	0	0	5	4,5	23	H681, J352
218	25	20	20	15	10	0	0	13,3	23	H681, J352
219	25	5	0	0	10	0	25	12,9	62	J010
220	15	0	5	5	5	0	15	1,6	62	J010
221	5	0	0	0	0	5	5	1,2	43	J010
222	0	0	0	0	0	5	0	0,6	36	J010
223	0	0	0	0	0	5	5	5,3	57	J010
224	5	0	0	0	0	5	0	0,8	41	J010
225	25	20	10	5	0	0	0	0,8	13	J010
226	5	5	0	5	5	5	5	1,2	35	H681, J039
227	0	0	0	5	5	5	5	0,9	35	H681, J039
228	0	0	0	0	0	5	5	1	49	J370
229	5	0	0	5	5	0	0	2	51	J370
230	0	0	0	0	0	5	5	1,5	60	J304
231	0	5	0	0	5	0	0	2,3	60	J304
232	0	0	0	0	5	0	10	1,5	62	J304, H681
233	0	0	0	0	0	0	15	50,5	64	H903, H609
234	5	5	0	0	0	5	10	34,3	64	H903, H609
235	0	0	0	10	5	0	0	18,5	68	H903, J029
236	0	10	5	5	0	5	5	1,7	22	J352
237	15	5	5	5	0	5	5	17,1	56	J350
238	5	0	0	0	0	5	5	0,6	53	H903, H612
239	0	0	0	0	0	10	0	1,4	53	H903, H612
240	5	0	0	5	5	5	5	3,9	52	H903, H612
241	5	5	5	10	5	0	0	0,3	72	J312, H612
242	35	20	15	5	0	10	25	10,6	28	H653
243	25	25	10	15	5	0	5	14,4	60	J010, J312

Příloha B: Tabulka tréninkové množiny

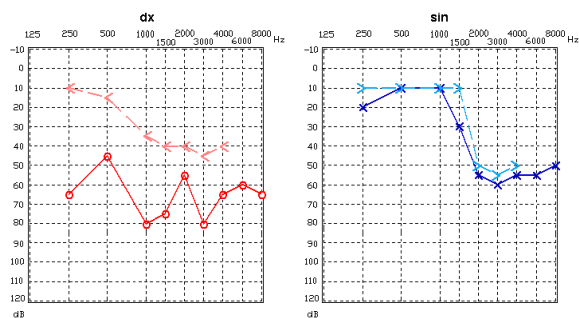
Index	Číslo záznamu	Vstupní parametry									Požadovaný výstup
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,15	0,35	0,535	0,42	0
2	2	0,35	0,35	0,35	0,2	0,1	0,2	0,3	0,477	0,42	0
3	5	0,55	0,5	0,35	0,3	0,25	0,25	0,35	0,737	0,4	0
4	6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,55	0,55	0,45	0,696	0,4	0
5	7	0,4	0,3	0,25	0,15	0,05	0,05	0,1	0,162	0,3	0
6	8	0,35	0,25	0,3	0,15	0	0,05	0,05	0,159	0,31	0
7	9	0,55	0,4	0,55	0,55	0,3	0,45	0,5	0,04	0,38	0
8	10	0,6	0,45	0,5	0,55	0,3	0,4	0,5	0,105	0,38	0
9	11	0,45	0,3	0,35	0,25	0,15	0,25	0,3	0,571	0,45	0
10	12	0,5	0,35	0,35	0,2	0,1	0,25	0,3	0,556	0,45	0
11	13	0,5	0,35	0,35	0,35	0,35	0,3	0,25	0,382	0,34	0
12	14	0,5	0,35	0,35	0,35	0,3	0,35	0,3	0,359	0,34	0
13	15	0,45	0,35	0,3	0,3	0,25	0,35	0,35	0,396	0,43	0
14	16	0,55	0,45	0,35	0,3	0,25	0,25	0,35	0,401	0,44	0
15	17	0,8	0,6	0,5	0,35	0,35	0,45	0,75	0,662	0,53	0
16	18	0,75	0,7	0,55	0,35	0,35	0,45	0,65	0,655	0,53	0
17	19	0,75	0,65	0,5	0,3	0,4	0,45	0,7	0,657	0,54	0
18	22	0	0	0	0,05	0	0	0	0,012	0,26	1
19	23	0,15	0	0	0,05	0	0	0	0,088	0,34	1
20	24	0,15	0,05	0	0	0	0	0	0,006	0,58	1
21	25	0,45	0,2	0,2	0,15	0,05	0	0	0,284	0,33	1
22	26	0,5	0,45	0,1	0	0	0,05	0	0,463	0,37	1
23	27	0,2	0,2	0	0,1	0,05	0	0	0,054	0,15	1
24	28	0	0,05	0	0,05	0	0,05	0	0,077	0,63	1
25	29	0	0	0	0,1	0	0,05	0,05	0,097	0,64	1
26	30	0,05	0,05	0,05	0	0	0,05	0,05	0,04	0,63	1
27	33	0,1	0,05	0	0	0	0	0	0,003	0,32	1
28	34	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,2	0,1	0,124	0,52	1
29	35	0	0,05	0,1	0,05	0	0	0	0,035	0,52	1
30	37	0,15	0,1	0,15	0,1	0	0,15	0,2	0,188	0,52	1
31	38	0,05	0	0	0,05	0,1	0	0,1	0,076	0,52	1
32	39	0,05	0,1	0,05	0,05	0,15	0,15	0,15	0,117	0,52	1
33	40	0,05	0	0	0	0,05	0	0,05	0,002	0,62	1
34	41	0,2	0,05	0,05	0	0	0	0,15	0,078	0,58	1
35	42	0,25	0,25	0,1	0,05	0,05	0,05	0,15	0,044	0,54	1
36	43	0	0,1	0	0,05	0	0,05	0	0,006	0,56	1
37	44	0,35	0,1	0,2	0,2	0,05	0,45	0,35	0,343	0,62	1
38	45	0,35	0,2	0	0	0	0,2	0,25	0,063	0,62	1
39	46	0,2	0	0	0	0	0,1	0,25	0,056	0,62	1
40	47	0,4	0,25	0,15	0,05	0	0	0,2	0,151	0,7	1
41	48	0,35	0,15	0,15	0,05	0	0	0,15	0,09	0,7	1
42	49	0,25	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15	0,033	0,7	1
43	50	0,3	0,2	0,25	0,25	0,1	0,1	0,2	0,067	0,18	1
44	51	0	0	0	0,05	0,05	0,1	0,1	0,038	0,67	1
45	52	0	0,05	0	0	0,05	0	0	0,001	0,56	1
46	53	0,1	0	0	0,05	0,05	0	0	0,085	0,73	1
47	54	0,05	0	0	0	0,05	0	0,05	0	0,28	1
48	55	0	0	0	0	0	0	0	0,372	0,61	1
49	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0,43	1
50	58	0	0,05	0	0	0	0	0,05	0,005	0,13	1
51	59	0,35	0,25	0,15	0,1	0	0,1	0,3	0,059	0,61	1
52	60	0,3	0,1	0,1	0,05	0	0	0,2	0,001	0,61	1
53	61	0,2	0	0	0,1	0,05	0,05	0,05	0,092	0,39	1
54	62	0,3	0	0	0,1	0	0	0	0,026	0,77	1
55	63	0,35	0	0,15	0,15	0	0,05	0	0,159	0,77	1
56	64	0,35	0,2	0,1	0	0	0,05	0,05	0,049	0,62	1
57	65	0,05	0,05	0,1	0,05	0	0	0	0,016	0,38	1
58	66	0,05	0,05	0	0	0	0	0,05	0,002	0,32	1
59	67	0,1	0	0	0	0	0	0	0,073	0,73	1

60	68	0,1	0	0,05	0	0,05	0	0	0,124	0,56	1
61	69	0,45	0,3	0,15	0,1	0	0	0	0,07	0,8	1
62	70	0	0	0,05	0,05	0	0,05	0	0,042	0,67	1
63	71	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,023	0,45	1
64	72	0	0,05	0	0	0,05	0	0,05	0,01	0,5	1
65	73	0,1	0,05	0	0	0	0	0	0,003	0,1	1
66	74	0,05	0,05	0,05	0	0	0	0,05	0,006	0,44	1
67	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21	1
68	76	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,045	0,3	1
69	77	0,1	0,05	0	0	0	0	0	0,003	0,37	1
70	78	0,05	0	0	0	0	0	0,05	0,002	0,51	1
71	79	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,1	0,049	0,48	1
72	80	0,15	0	0	0	0	0	0,05	0,064	0,63	1
73	81	0,05	0	0	0	0	0	0,1	0,237	0,67	1
74	82	0,2	0,1	0	0	0	0,05	0,15	0,111	0,6	1
75	83	0	0,05	0	0,05	0	0	0	0,164	0,17	1
76	84	0,3	0,25	0	0	0	0	0	0,691	0,66	1
77	85	0,05	0	0,05	0,05	0	0,05	0,05	0,002	0,5	1
78	86	0,05	0	0,05	0	0	0	0	0,006	0,09	1
79	87	0	0	0,05	0	0	0	0,05	0,122	0,43	1
80	88	0,05	0	0,05	0	0	0	0	0,02	0,29	1
81	89	0	0	0	0,05	0,05	0	0,05	0,012	0,37	1
82	90	0,05	0	0	0	0	0	0	0,066	0,58	1
83	91	0	0	0	0	0	0	0	0,008	0,41	1
84	92	0	0	0	0	0	0,05	0,1	0,026	0,19	1
85	93	0,05	0	0	0	0	0	0	0,003	0,26	1
86	94	0,05	0,05	0	0,05	0	0,05	0	0,026	0,34	1
87	95	0	0	0	0	0	0	0,05	0,002	0,35	1
88	96	0,05	0	0	0	0	0	0,1	0,041	0,36	1
89	97	0	0	0	0,05	0	0	0,05	0,006	0,3	1
90	98	0,1	0	0,05	0,05	0	0,05	0,1	0,605	0,56	1
91	99	0	0	0,05	0,05	0	0	0,1	0,14	0,75	1
92	102	0,15	0	0	0	0	0,05	0,05	0,028	0,3	1
93	103	0,05	0,05	0	0	0,05	0	0	0,091	0,58	1
94	104	0	0,05	0	0	0	0	0	0,007	0,4	1
95	105	0,05	0	0	0	0	0	0,15	0,045	0,51	1
96	107	0,35	0,4	0,35	0,25	0,2	0	0	0,407	0,72	1
97	108	0,35	0,25	0,15	0	0	0,1	0,2	0,058	0,59	1
98	109	0,05	0	0,15	0,25	0,25	0,15	0,05	0,154	0,26	1
99	110	0,1	0	0,05	0	0,05	0,1	0,05	0,098	0,15	1
100	111	0	0	0	0	0	0	0,05	0,002	0,65	1
101	112	0	0,05	0	0,05	0	0,1	0	0,033	0,5	1
102	113	0,2	0	0	0	0	0	0,05	0,174	0,63	1
103	116	0,3	0,15	0,1	0,1	0	0,15	0,1	0,644	0,6	1
104	117	0	0,05	0	0,05	0,05	0	0	0,006	0,58	1
105	118	0,15	0,2	0,05	0,05	0	0,05	0,1	0,285	0,75	1
106	119	0,25	0,1	0	0,05	0	0,1	0,2	0,098	0,54	1
107	120	0,45	0,2	0,15	0,2	0,1	0	0,3	0,399	0,7	1
108	122	0,1	0	0	0,05	0	0	0,05	0	0,38	1
109	123	0,05	0,05	0	0	0,05	0,05	0,1	0,044	0,82	1
110	124	0	0,05	0	0,05	0	0	0,05	0,002	0,55	1
111	125	0	0	0	0	0	0	0,05	0,056	0,55	1
112	126	0	0,05	0	0	0	0	0,05	0,002	0,45	1
113	127	0	0	0	0	0	0	0,05	0,024	0,41	1
114	128	0	0	0	0	0	0,05	0	0,048	0,57	1
115	129	0,15	0	0	0	0	0	0,15	0,002	0,38	1
116	130	0	0,05	0	0	0,05	0	0	0,014	0,38	1
117	131	0	0	0	0,05	0	0	0,05	0,019	0,74	1
118	132	0,05	0	0	0	0,05	0,05	0	0,124	0,81	1
119	133	0,05	0	0,05	0	0	0,1	0	0,002	0,39	1
120	134	0	0	0	0	0	0,05	0	0,038	0,64	1
121	135	0	0	0	0,05	0,05	0	0	0,001	0,6	1
122	136	0,1	0	0	0	0	0,05	0,1	0,014	0,66	1

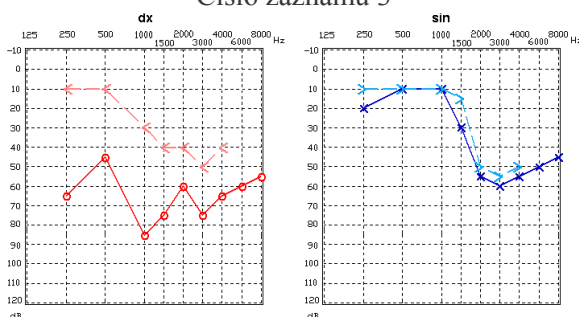
123	137	0	0,05	0	0	0	0	0	0,043	0,5	1
124	138	0,05	0	0,05	0	0	0	0	0,429	0,8	1
125	139	0,05	0	0	0,05	0,05	0,05	0	0,457	0,8	1
126	140	0	0	0	0,05	0	0,05	0,05	0,163	0,7	1
127	141	0	0	0	0	0	0,05	0,25	0,12	0,58	1
128	142	0,2	0,05	0	0,05	0	0,05	0	0,192	0,78	1
129	143	0,2	0,05	0	0,05	0	0,05	0	0,192	0,78	1
130	144	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,054	0,83	1
131	145	0	0	0	0	0	0	0	0,014	0,69	1
132	146	0,15	0,15	0,05	0,1	0	0,05	0,1	0,052	0,47	1
133	147	0	0,05	0	0,05	0	0,05	0	0,01	0,71	1
134	148	0	0,05	0,05	0	0	0	0	0,043	0,58	1
135	149	0,05	0	0	0	0,05	0,05	0	0,048	0,82	1
136	150	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,012	0,73	1
137	151	0	0	0	0	0,05	0,05	0,05	0,038	0,77	1
138	152	0	0	0,05	0	0	0	0,05	0,017	0,77	1
139	153	0	0,05	0,05	0	0,05	0	0,05	0,066	0,6	1
140	154	0	0,05	0,05	0,1	0	0,1	0,05	0,097	0,64	1
141	155	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,047	0,53	1
142	156	0,15	0,1	0	0	0	0,05	0	0,396	0,75	1
143	157	0,2	0	0	0,05	0	0	0,05	0,407	0,75	1
144	158	0,1	0,05	0	0,05	0	0,05	0,05	0,295	0,75	1
145	159	0	0	0	0,1	0,1	0	0,1	0,133	0,68	1
146	160	0,05	0	0	0,05	0	0,05	0	0,005	0,36	1
147	161	0,3	0,25	0	0	0,05	0,1	0,1	0,143	0,78	1
148	162	0,05	0	0	0	0	0,05	0,05	0,019	0,58	1
149	163	0	0	0	0,1	0	0	0	0,136	0,67	1
150	164	0	0	0	0,05	0	0	0	0,069	0,73	1
151	165	0	0	0	0,05	0	0,05	0	0,049	0,36	1
152	166	0	0	0	0	0,05	0	0	0,023	0,52	1
153	167	0	0	0	0	0	0	0	0,015	0,49	1
154	168	0,05	0,05	0	0	0	0	0	0,011	0,65	1
155	169	0,1	0	0	0	0	0	0	0,025	0,65	1
156	170	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0,49	1
157	171	0,3	0,1	0	0	0	0,25	0,2	0,091	0,51	1
158	172	0,3	0,15	0,15	0,1	0	0,15	0,15	0,119	0,51	1
159	173	0,05	0,1	0	0	0,05	0	0	0,078	0,51	1
160	174	0,05	0	0	0	0	0	0,05	0,066	0,51	1
161	175	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0,017	0,79	1
162	176	0	0,05	0	0,05	0,05	0	0	0,137	0,61	1
163	177	0	0	0	0,05	0	0,05	0	0,006	0,44	1
164	178	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,036	0,6	1
165	179	0,1	0	0,05	0,05	0,05	0	0,05	0,205	0,7	1
166	180	0	0	0	0,05	0	0,05	0,05	0	0,49	1
167	182	0,45	0,2	0,05	0,1	0,15	0,15	0,1	0,349	0,6	1
168	183	0	0,05	0,05	0	0	0	0	0,043	0,64	1
169	184	0	0	0	0	0	0	0	0,006	0,45	1
170	185	0,05	0	0	0	0	0,05	0,05	0,053	0,58	1
171	186	0	0,1	0	0,05	0,1	0	0,1	0,282	0,83	1
172	187	0,05	0	0	0	0	0,05	0	0,046	0,72	1
173	188	0	0	0	0,05	0	0	0,05	0,043	0,78	1
174	189	0	0	0,05	0	0,05	0	0,05	0,003	0,41	1
175	190	0,05	0,05	0	0,05	0	0,1	0,05	0,101	0,73	1
176	191	0,05	0,05	0	0,05	0	0	0	0,004	0,57	1
177	192	0	0	0	0,05	0,05	0	0,05	0,036	0,32	1
178	193	0,25	0	0,05	0,05	0	0	0,05	0,318	0,66	1
179	194	0	0,05	0	0,05	0	0	0	0,01	0,47	1
180	195	0	0	0	0	0	0	0,05	0,002	0,47	1
181	196	0	0	0,2	0,1	0,05	0,05	0,15	0,079	0,61	1
182	197	0,25	0,05	0	0,05	0	0	0,05	0,656	0,76	1
183	198	0,35	0,05	0	0	0,05	0	0,1	0,627	0,76	1
184	199	0,3	0,05	0,05	0,15	0,1	0,05	0,1	0,685	0,76	1
185	200	0	0	0	0	0	0	0	0,014	0,62	1
186	201	0,1	0	0	0	0	0	0,25	0,02	0,41	1

187	202	0,1	0	0	0	0	0,05	0,15	0	0,58	1
188	203	0,05	0	0	0	0	0,05	0	0,52	0,62	1
189	204	0,05	0	0,05	0,05	0	0	0,05	0,51	0,62	1
190	205	0	0	0	0	0,05	0	0,05	0,028	0,63	1
191	206	0	0,05	0	0,05	0	0,05	0,05	0,018	0,63	1
192	207	0,05	0	0	0	0,05	0,05	0,05	0,016	0,29	1
193	208	0	0,05	0	0,05	0	0	0	0	0,42	1
194	209	0,05	0,1	0	0,05	0,05	0	0	0,043	0,75	1
195	210	0	0,05	0	0	0,05	0	0,05	0,08	0,75	1
196	211	0	0,05	0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,074	0,6	1
197	212	0	0	0,05	0	0,05	0	0,1	0,023	0,42	1
198	213	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1
199	216	0,2	0	0,05	0,15	0,05	0,05	0	0,025	0,23	1
200	217	0,2	0,1	0,15	0,15	0	0	0,05	0,045	0,23	1
201	218	0,25	0,2	0,2	0,15	0,1	0	0	0,133	0,23	1
202	219	0,25	0,05	0	0	0,1	0	0,25	0,129	0,62	1
203	220	0,15	0	0,05	0,05	0,05	0	0,15	0,016	0,62	1
204	221	0,05	0	0	0	0	0,05	0,05	0,012	0,43	1
205	222	0	0	0	0	0	0,05	0	0,006	0,36	1
206	223	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,053	0,57	1
207	224	0,05	0	0	0	0	0,05	0	0,008	0,41	1
208	225	0,25	0,2	0,1	0,05	0	0	0	0,008	0,13	1
209	226	0,05	0,05	0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,012	0,35	1
210	227	0	0	0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,009	0,35	1
211	228	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,01	0,49	1
212	229	0,05	0	0	0,05	0,05	0	0	0,02	0,51	1
213	230	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,015	0,6	1
214	231	0	0,05	0	0	0,05	0	0	0,023	0,6	1
215	232	0	0	0	0	0,05	0	0,1	0,015	0,62	1
216	233	0	0	0	0	0	0	0,15	0,505	0,64	1
217	234	0,05	0,05	0	0	0	0,05	0,1	0,343	0,64	1
218	235	0	0	0	0,1	0,05	0	0	0,185	0,68	1
219	236	0	0,1	0,05	0,05	0	0,05	0,05	0,017	0,22	1
220	237	0,15	0,05	0,05	0,05	0	0,05	0,05	0,171	0,56	1
221	238	0,05	0	0	0	0	0,05	0,05	0,006	0,53	1
222	239	0	0	0	0	0	0,1	0	0,014	0,53	1
223	240	0,05	0	0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,039	0,52	1
224	241	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05	0	0	0,003	0,72	1

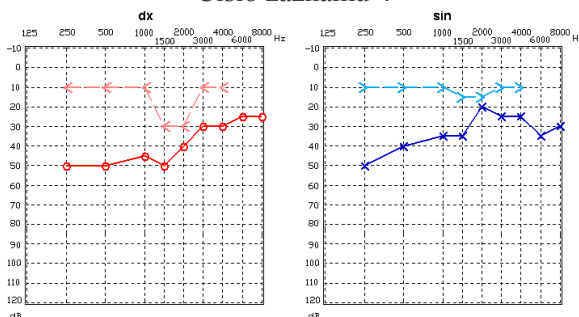
Příloha C: Vzorky indexu <1, 4>, H809



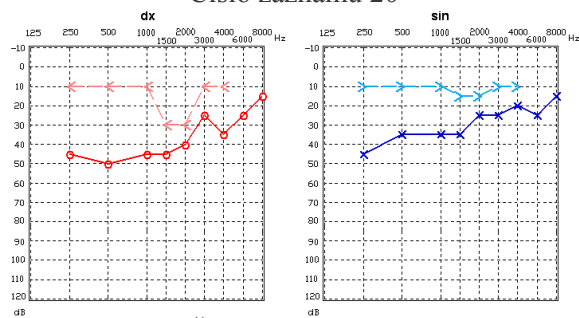
Číslo záznamu 3



Číslo záznamu 4

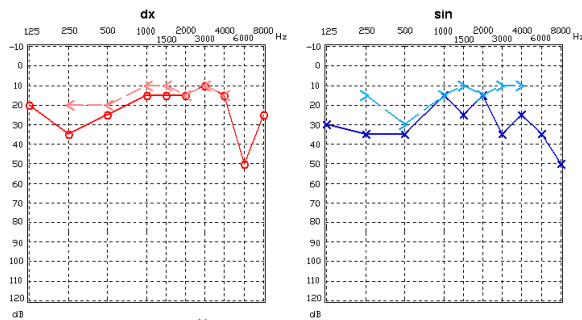


Číslo záznamu 20

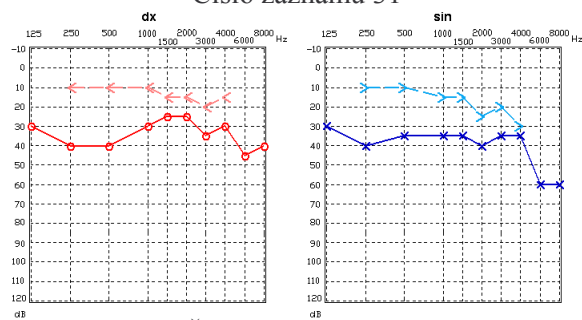


Číslo záznamu 21

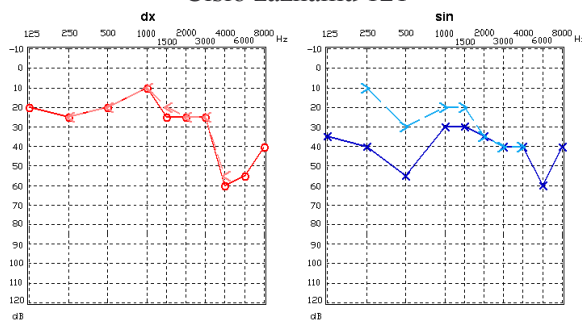
Příloha D: Vzorčky indexu <5, 7>, různé od H809



Číslo záznamu 31

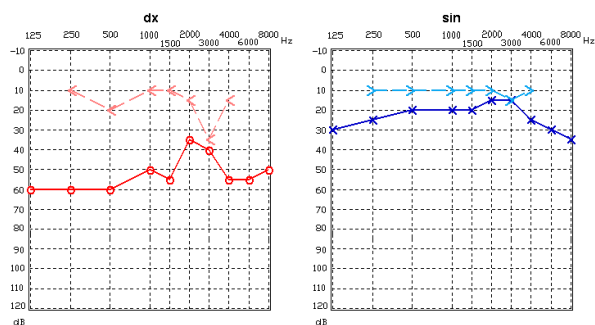


Číslo záznamu 121

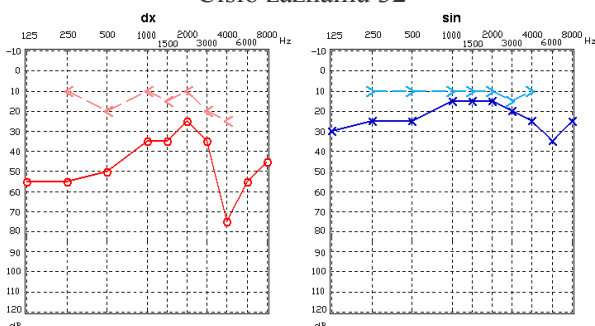


Číslo záznamu 181

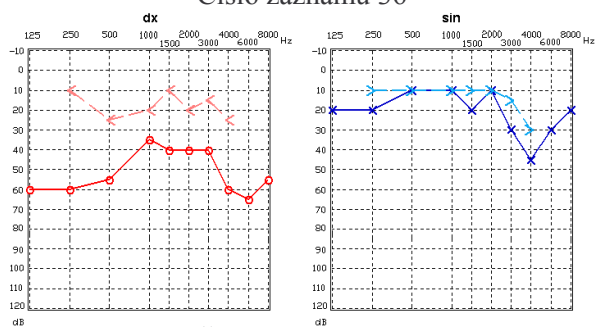
Příloha E: Vzorčky indexu <8, 19>, s podezřením na H809



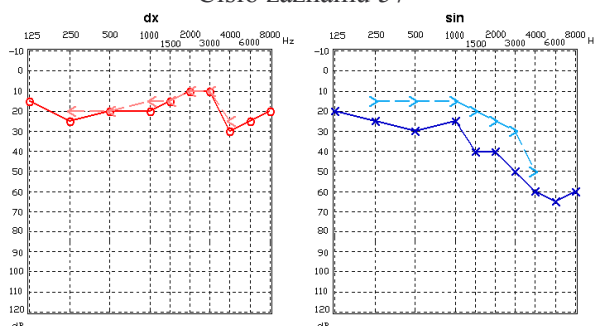
Číslo záznamu 32



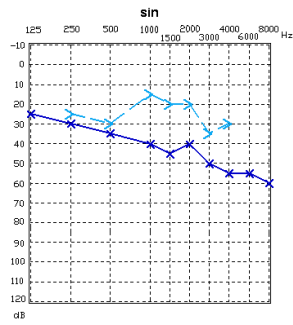
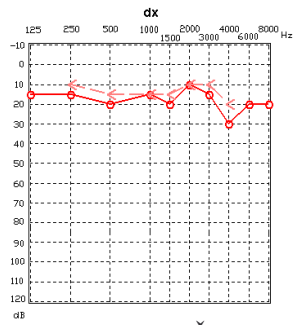
Číslo záznamu 36



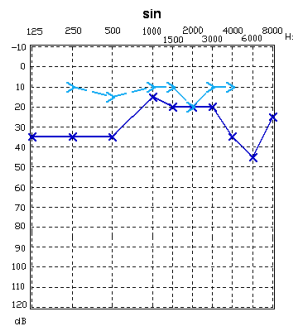
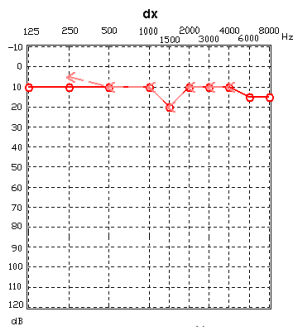
Číslo záznamu 57



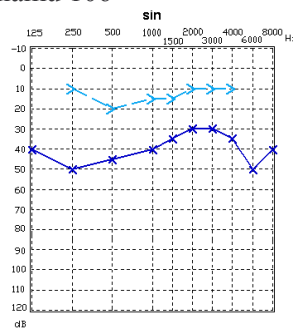
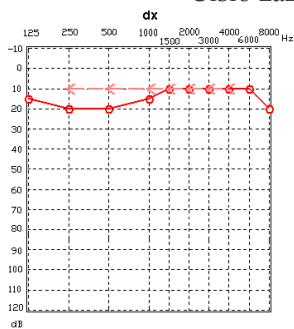
Číslo záznamu 100



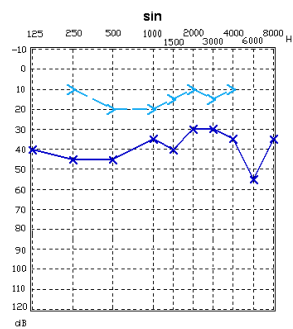
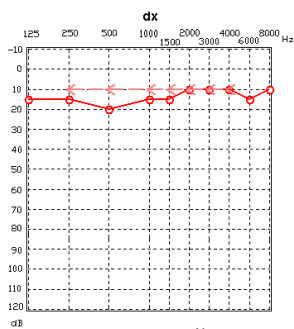
Číslo záznamu 101



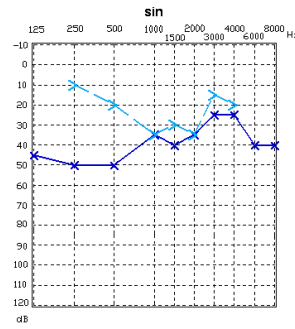
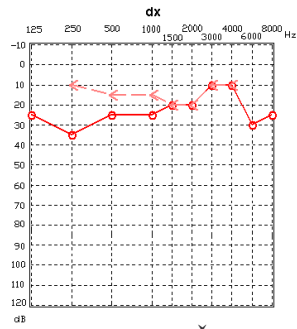
Číslo záznamu 106



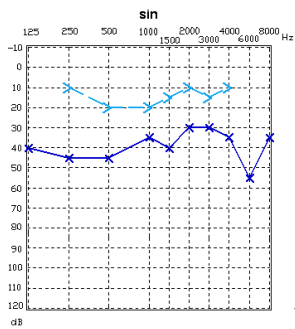
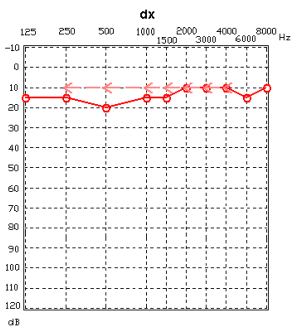
Číslo záznamu 114



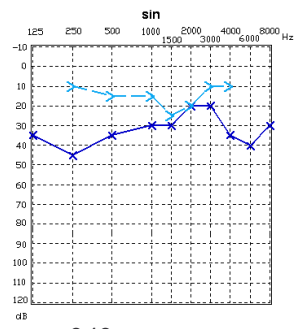
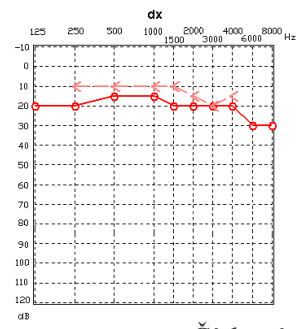
Číslo záznamu 115



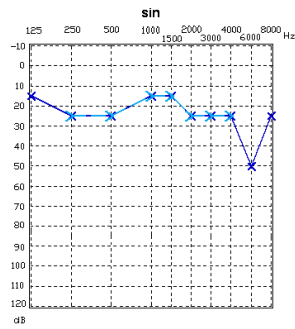
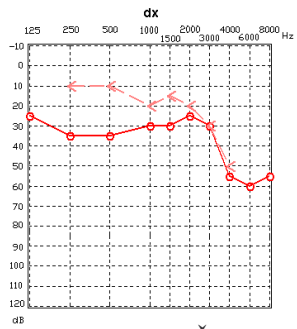
Číslo záznamu 214



Číslo záznamu 215



Číslo záznamu 242



Číslo záznamu 243