

Závěrečná zpráva projektu specifického výzkumu na rok 2014 - zakázka č. 2134

Název projektu: Verifikace indexu srozumitelnosti v přednáškových sálech pomocí logatomických testů - závislost na frekvenčním a vyzářovacím diagramu

Specifikace řešitelského týmu

Odpovědný řešitel: doc. dr. René Drtina, Ph.D.
Studenti magisterského studia na PdF UHK: Bc. Lukáš Čákora
Bc. Jan Konvalina
Bc. Lukáš Vrba
Externí spolupráce: Akustické laboratoře FEL ZČU Plzeň
Ing. Oldřich Tureček, Ph.D., Ing. Martin Schlosser
Ing. Jan Karel, Ing. Martin Sýkora, Ph.D.
Celková částka přidělené dotace 127 500 Kč (vč. navýšení rozpočtu projektu)

Východiska projektu

Projekt navazuje na předcházející projekty SV PdF 2123/2011, SV PdF 2129/2012 a SV PdF 2131/2013, a vychází z dosavadních výsledků akustických měření a zjištění, že jak nové učebny, tak rekonstrukce stávajících, jsou projektovány v rozporu s ČSN 73 0527 *Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely*, bez akustických úprav, s dobou dozvuku překračující stanovené toleranční pole a převahou dozvukové energie na nízkých frekvencích. Dílčí výstupy projektu SV PdF 2130/2013 následně ukázaly, že výsledky měření podle ČSN EN 60268-16 *Elektroakustická zařízení - Část 16: Objektivní hodnocení srozumitelnosti řeči indexem přenosu řeči*, jsou pro hodnocení poslucháren neprůkazné. Též tvorba pracovního prostředí, v kontextu ČSN EN ISO 9001 *Systémy managementu kvality - Požadavky*, čl. 6.3 Infrastruktura a 6.4 Pracovní prostředí a vyhl. MMR č.137/1998 Sb. a MZ č.108/2001 Sb. je v podstatě nulová.

Postup při řešení projektu

Po schválení projektu jsme realizovali další vstupní akustická měření v učebnách s předpokládanou nevyhovující akustikou (C2, C4), v posluchárně s velkým ozvučovacím systémem (J1) a v učebnách s nestandardními rozměry (E11 s extrémně malou výškou, IX.A a IX.B s výškou 6 m). Měření v učebnách C2 a C4 prokázalo, že po odstranění původních akustických úprav (kazety Akulit na zadní stěně C2, tlumení někdejšího TV studia C4), došlo k výraznému prodloužení doby dozvuku na 2,6/3,8 s. Průměrná hodnota indexu přenosu řeči byla 0,54 pro přímé měření s budící hladinou $L_a = 70$ dB/1 m a 0,52 při měření přes ozvučovací systém. Měření v posluchárně J1 (aula FIM) ukázalo na neočekávaný a zcela zásadní problém - totální parametrickou nestabilitu bezobslužného ozvučovacího systému. Systém není odolný proti akustické zpětné vazbě a použitý procesing se vyznačuje skokovými změnami signálové úrovně a omezením vyšších frekvencí. Měření a vyhodnocení bylo provedeno v souladu s normami ČSN ISO 5725-2 *Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření - Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření*, ČSN ISO 1996 *Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí*, ČSN EN ISO 3382-2 *Akustika - Měření parametrů prostorové akustiky - Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech*, ČSN EN 60268-16 *Elektroakustická zařízení - Část 16: Objektivní hodnocení srozumitelnosti řeči indexem přenosu řeči*, ČSN ISO 2602 *Statistická interpretace výsledků zkoušek, odhad průměru, konfidenční interval* a ČSN ISO 2854 *Statistická interpretace údajů: Odhady a testy středních hodnot a rozptylů*.

Abychom pro přímé zjišťování srozumitelnosti měli ekvivalentní budící signál se 100% opakovatelností (stejně jako STIPA), byly ve studiu Českého rozhlasu Hradec Králové vyrobeny nové verze logatomických testů, jejichž autorská práva vlastní PdF UHK. Ve studiu ČRo HK jsme si ověřili, že dosahovaný index přenosu řeči, jak v samotném studiu, tak přes studiový řetěz, se v rámci chyby měření pohybuje v hodnotách 0,99-1 a je zajištěna 100% logatomická poznatelnost všech tří testů. Orientační zkoušky srozumitelnosti s omezováním šířky přenášeného pásma potvrdily náš předpoklad, že použití digitálního audioprocesingu bude při stejné šířce přenášeného pásma přinášet rozdílné výsledky, a to podle použitých strmostí filtrů. Analýzy, prováděné ve spolupráci s akustickými laboratořemi FEL ZČU v Plzni, ukazují, že bude nezbytné přehodnotit vliv šířky přenášeného pásma na srozumitelnost v závislosti na spektrálním složení formantových oblastí. Frekvenční rozsah, určený standardním postupem, nemá u digitálního audioprocesingu dostatečnou vypovídací hodnotu o energetickém obsahu nad horní mezní frekvenci. Nově byly vygenerovány signálové testy STIPA pro různé šířky pásma, různé strmosti filtrů a s proměnným podílem dozvukové složky, vytvářené plně programovatelným profesionálním reverbem Lexicon®. Ta se projevila jako klíčové omezení měřeného indexu přenosu řeči. Následně bylo provedeno měření v distanční vzdálenosti 3 m (prostor $V_0 = 51$ m³, doba dozvuku $T_d = 220$ ms, s použitím normované metody dle ČSN EN 60268-16 tlakovým snímačem NTi M2210, následně vlnovým snímačem ME36 a dvojicí gradientních snímačů MD441, které se směrovými charakteristikami přibližují binaurálnímu poslechu. Naměřené hodnoty 0,77/0,79/0,84 ukazují na nezanedbatelný vliv směrového slyšení.

Dosažené výsledky

Zpoždění stavebních prací na budově C a s tím spojený hluk byly příčinou, že dílčí logatomické testy realizovány pouze v pronajatém simulačním prostoru se skupinou pěti posluchačů. Měření indexu přenosu řeči pro různé typy zářičů (NTi TalkBox, RS711H, DPT208 - solo, V2, 2×16, 4×8, ARS7500 3×6) a různá nastavení sálových korekcí nevykázalo výrazné změny, naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí 0,45-0,59, což odpovídá kvalitativním pásmům H-E dle ČSN EN 60268-16 a přepočítané srozumitelnosti CIS 62-79 %. Logatomická poznatelnost se přitom pohybovala v rozmezí 55-92 %. Příznivějších hodnot bylo podle předpokladů dosahováno u zářičů s velkou směrovností a použitím tzv. dialogového (řečového) filtru s potlačením frekvencí pod 150 Hz a zdvihem formantové oblasti.

V rámci účelově navýšeného rozpočtu projektu byla zpracována akustická studie a návrh akustických úprav učebny E11. Jedná se o problematický prostor, který již primárně nesplňuje stavebně-technické požadavky a neměl by být jako učebna používán. Z několika variant bylo nakonec vybráno řešení, které při započtení energetické bilance spektrálního složení řeči bude vyhovovat požadavkům ČSN 73 0527 a nebude snižovat již beztak nedostatečnou světlost výšku učebny. Finální návrh řešení prostorové akustiky učebny E11 zpracoval Ing. Martin Schlosser za supervize Ing. Oldřicha Turečka, Ph.D., je přílohou této zprávy. Po realizaci úprav bude provedeno ověřovací měření, logatomické testy a v případě zájmu i návrh, nastavení a ověření ozvučovacího systému.

Výstupy projektu

V rámci řešení projektu byly zpracovány následující publikace (vydavatelské verze jsou uvedeny v příloze):

ID 43869700 - výsledek kategorie D

DRTINA, R. - LOKVENC, J. - ŠEDIVÝ, J. *STIPA method in public address sound systems and voice alarm systems. Part 1: The theoretical basis and the reference speaker.* Trans Tech Publications. Advanced materials research. 2015, s. 570-573. ISSN 1022-6680.

ID 43869701 - výsledek kategorie D

DRTINA, R. - LOKVENC, J. - ŠEDIVÝ, J. - ČÁKORA, L. - KONVALINA, J. - VRBA, L. *STIPA method in public address sound systems and voice alarm systems. Part 2: Conversion curves and bandwidth effect.* Trans Tech Publications. Advanced materials research. 2015, s. 574-580. ISSN 1022-6680.

Přehled realizovaných výdajů

- osobní náklady nebyly pro administrativní náročnost a nutné odvody nárokovány, výroba logatomických testů byla financována z prostředků institucionální podpory VaV KTP.
- po schválení změny v rozpočtu byla navýšena částka na stipendia na 11 900 Kč. Stipendia byla přiznána studentům ID 24544 Lukáš Čákora, ID 27486 Jan Konvalina, ID 27584 Lukáš Vrba za pomoc při řešení úkolu, zejména za přípravu měření, transport a montáž měřicí techniky, programování DSP, měření přenosových charakteristik, sumarizaci dat frekvenčních a přípravu podkladů pro publikační výstupy.
- po schválení změny v rozpočtu byly materiálové náklady 56 992 Kč. Měřicí technika byla doplněna o gradientní snímače MD441, ochrany snímačů MZW a měřicí předzesilovač.
- výdaje na služby, ve výši 35 799 Kč, zahrnují pronájem měřicího prostoru, pronájem studia ČRo HK a částečné krytí provozních nákladů z pronájmu měřicí techniky a akustických laboratoří FEL ZČU.
- konferenční poplatky dosáhly výše 22 810 Kč. Oba články budou publikovány začátkem roku 2015.
- plánované cestovní náklady nebyly využity, v rámci schválených změn rozpočtu byly přesunuty do jiných položek.

Přidělená dotace ve výši 127 500 Kč byla po schválených změnách v rozpočtu projektu zcela vyčerpána. Se souhlasem oddělení VaV PdF byly, z důvodu úspory finančních prostředků, financovány DPP pro výrobu logatomických testů z prostředků institucionální podpory VaV. Podrobný přehled čerpání je uveden v tabulce 1.

Závěr

Dosažené výsledky do značné míry potvrzují správnost výchozích předpokladů, včetně významu činitele směrovnosti příjemce informací. Jedná se však o relativně malý soubor hodnot. Jejich zobecnění by bylo nesprávné a nesplňovalo by požadavky příslušných norem. Detailní rozbor problematiky verifikace indexu přenosu řeči pomocí logatomických testů nepotvrdil původní hypotézu, tj. určení korekčního činitele mezi STIPA a logatomickou poznatelností na omezení přenosového kanálu. Omezení šířky pásma nemá podle dosavadních zjištění dostatečnou vypovídací hodnotu. Pro novou hypotézu bude nutné uvažovat i energetické hledisko. To znamená posuzovat šířku přenášeného pásma na základě spektrálního složení měřicího signálu a porovnávat ho se spektrem STIPA. Výsledky potvrzují předcházející zjištění, že index přenosu řeči objektivně stanoví dosažitelnou srozumitelnost. K publikování v Trans Tech Publications tak byly uvolněny pouze ověřené výsledky opakovaných měření, splňující normovaná kritéria.

Tab.1 Přehled nákladů projektu 2134

položka	náklady
gradientní snímače	44 692
FEL ČZU v Plzni, akustická měření, analýzy výsledků, návrh E11	28 911
ČRo HK, pronájem studia	3 388
konferenční poplatky	22 810
měřicí předzesilovač	10 200
ochrany snímačů	2 100
pronájem měřicího prostoru	3 500
stipendia	11 900
celkové náklady	127 501
přečerpáno	-1

Datum: 29. prosince 2014



doc. dr. René Drtina, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta elektrotechnická

Katedra technologií a měření

Návrh akustických úprav

Ústav sociální práce UHK, učebna E11

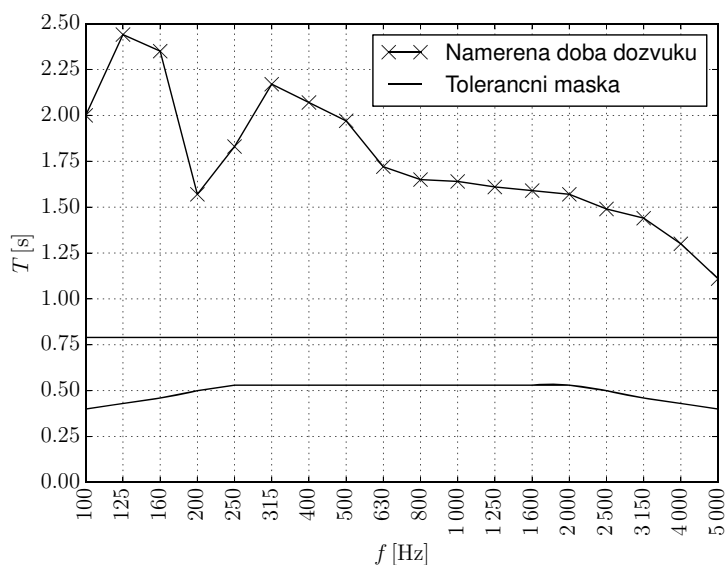
1 Současný stav

Učebna E11 má objem 286 m^3 a plochu ohraničujících stěn 302 m^2 . Výška stropu je $3,2 \text{ m}$, což značně ztěžuje použití akustických úprav na strop učebny. Stěna naproti dveřím učebny je osazena okny a radiátory, použití akustických úprav zde nepřichází v úvahu. Lze tedy uvažovat nad využitím zadní volné stěny, částečně stropu a boční stěny naproti oknům, která je v současnosti osazena nástěnnými věšáky na oblečení. Využití boční stěny učeny však ještě komplikuje fakt, že podél ní vede průchod k lavičím učebny, který je široký pouze $1,14 \text{ m}$. Z tohoto důvodu nesmí použitý akustický materiál příliš vystupovat do prostoru, aby nedošlo k jeho poškození procházejícími osobami. Popsaná situace je zobrazena na obr. 1.



Obr. 1: Současný stav učebny E11

Dne 14. 5. 2014 proběhlo v učebně E11 měření doby dozvuku impulzní metodou podle normy ČSN EN ISO 3382-1 [1]. Frekvenční průběh naměřené doby dozvuku zobrazuje obr. 2. Dobu dozvuku pro tento typ prostoru definuje norma ČSN EN 73 0527 [2]. Učebna E11 podle zmíněné normy spadá do kategorie „posluchárna“ a pro tu je předepsána optimální doba dozvuku $0,66 \text{ s}$. Porovnání naměřené doby dozvuku a optimální doby dozvuku dle [1] je také na obr. 2.



Obr. 2: Naměřená doba dozvuku učebny E11

2 Návrh akustických úprav

Návrh akustických úprav je zaměřen hlavně na tlumení frekvencí pod 500 Hz. Pod tímto frekvenčním pásmem byla naměřena výrazně delší doba dozvuku a navíc zde nedochází k tlumení vlivem obsazení místnosti posluchači. Přes nízký strop místnosti není vhodné tuto rovnou odrazivou plochu vynechat, protože by mohlo docházet ke vzniku nerovnoměrného rozložení akustického pole v místnosti.

2.1 Popis použitých materiálů

2.1.1 Rigips BIG Quattro 47 [3]

Velkoplošné sádkartonové panely BIG Quattro 47 s rozměry 2400 × 1200 mm se oproti zbývajícím produkci perforovaných akustických sádkartonů vyznačují možností dosáhnout vysokého tlumení na nízkých frekvencích při malé hloubce obkladu. Z nabízených kombinací byla vybrána varianta se vzduchovou mezerou 100 mm. Tato vzduchová mezera je vyplněna 75 mm minerální izolace.



Obr. 3: Příklad použití materiálu Rigips BIG Quattro 47, převzato z [4]

2.1.2 Greiner akustické panely [5]

Akustické panely Greiner jsou vyráběny z pórovité melaninové pěny. Pohledová strana desky je opatřena průzvučnou tkaninou různých barev. Desky se montují kontaktně na strop (případně stěny) a jsou vyráběny v různých tloušťkách. Pro uvažované akustické úpravy byl vybrán formát 615 × 615 × 60 mm.



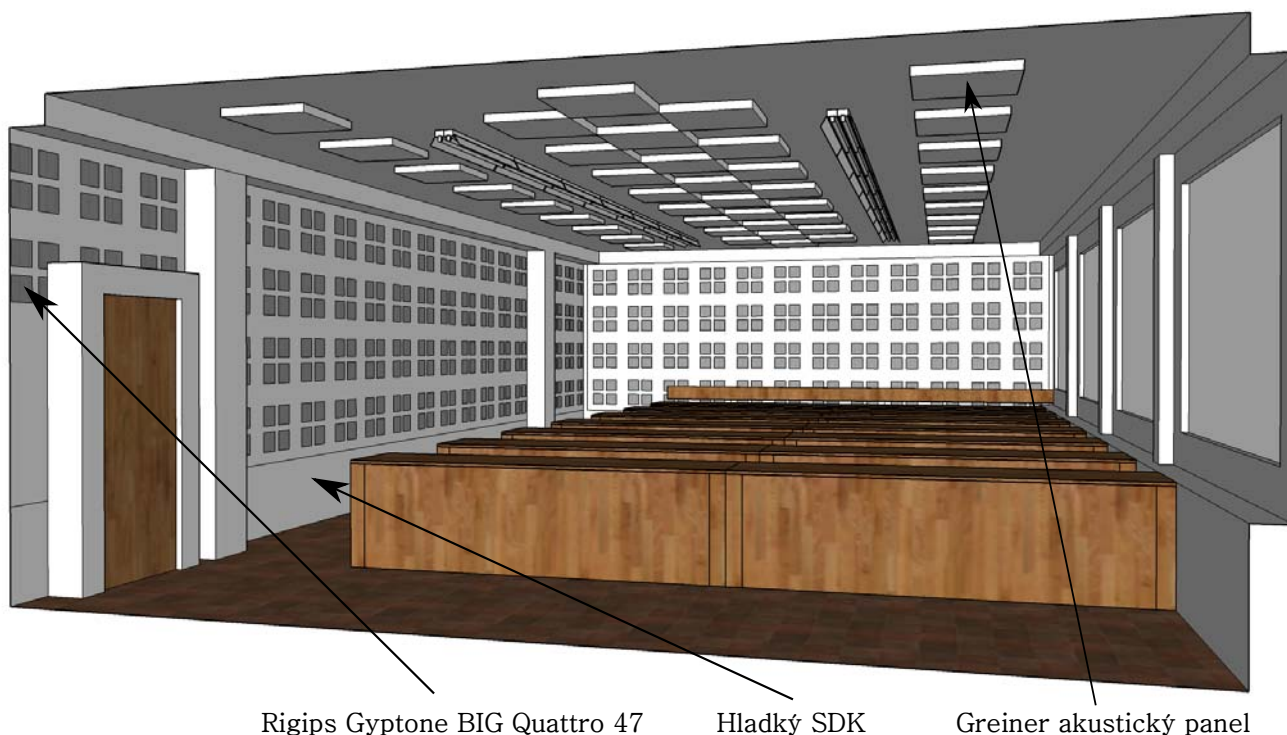
Obr. 4: Příklad kontaktní montáže panelů Greiner, převzato z [6]

2.2 Popis navrženého řešení prostorové akustiky

Akustické úpravy učebny E11 využívají prakticky všech dostupných ploch, aby byla zaručena co největší rovnoměrnost rozložení zvukového pole. Na strop učebny jsou navrženy širokopásmové absorbéry firmy Greiner s rozměry $615 \times 615 \times 60$ mm v počtu 43 ks.

Na stěnu naproti oknům učebny a zadní stěnu učebny byla navržena kombinace hladkého SDK a perforovaného akustického sádrokartonu Rigips Gyptone BIG Quattro 47. Velikost vzduchové mezery je 100 mm. V případě perforovaného sádrokartonu BIG Quattro 47 je vzduchová mezera vyplněna 75 mm minerální izolace. Pro zlepšení pohlcování zvuku na nízkých frekvencích by bylo vhodné vložit minerální izolaci i do vzduchové mezery hladkého sádrokartonu.

Rozmístění uvažovaných akustických materiálů spolu s jejich vizualizací je na obr 5. Výměry jednotlivých materiálů jsou uvedeny v tab. 1.



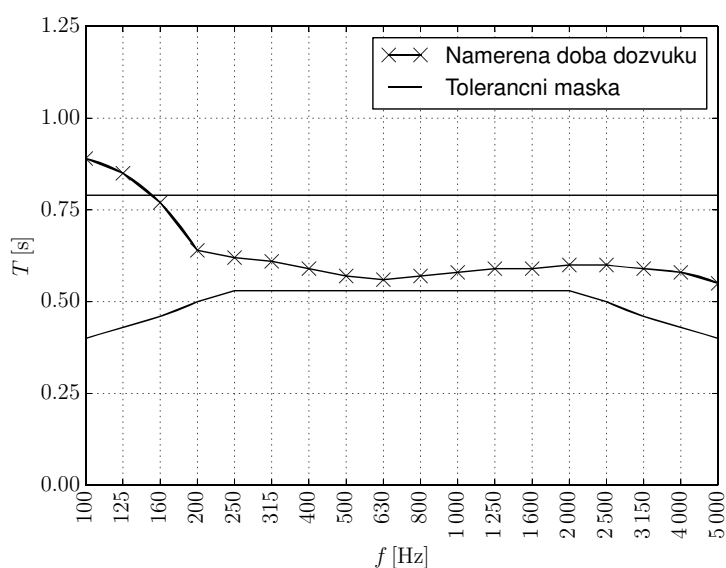
Rigips Gyptone BIG Quattro 47 Hladký SDK Greiner akustický panel

Obr. 5: Rozmístění akustických materiálů a jejich vizualizace

Tab. 1: Výměry materiálů použitých pro akustické úpravy

Materiál	Počet kusů	Plocha [m ²]
Panely Greiner	43	16,3
Hladký SDK	-	15,0
Rigips Gyptone BIG Quattro 47	-	45,0

Předpokládaná doba dozvuku učebny E11 je zobrazena na obr.6. Ve většině sledovaných frekvenčních pásmech je splněna doba dozvuku předepsaná normou ČSN EN 73 0527 [2]. Pouze na frekvencích 100 Hz a 125 Hz je doba dozvuku delší, než požaduje norma. Tyto frekvence však již leží mimo pásmo platnosti statistické akustiky a tudíž zde nelze akustické úpravy posuzovat dle doby dozvuku. Pokud budeme uvažovat jako zdroj zvuku řeč, není nutné frekvence 100 Hz a 125 Hz zohledňovat.



Obr. 6: Doba dozvuku po realizaci akustických úprav

3 Závěr

Na základě měření ze dne 14. 5. 2014 byly navrženy akustické úpravy učebny E11. Ty se skládají z použití panelů z minerální vaty firmy Greiner na strop učebny. Boční stěny učebny, vyjma přední stěny, budou upraveny kombinací hladkého sádkokartonu a perforovaného akustického sádkokartonu Rigips Gyptone BIG Quattro 47 se vzduchovou mezerou 100 mm. Předpokládaná doba dozvuku obsazené učebny E11 splňuje požadavky normy ČSN 730527 [2] ve všech frekvenčních pásmech důležitých pro řečové pásmo.

Reference

- [1] ČSN EN ISO 3382-1: *Akustika - Měření parametrů prostorové akustiky - Část 1: Prostory pro přednes hudby a řeči*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Prosinec 2009, 28s.
- [2] ČSN 73 0527: *Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely*, Český normalizační institut, Březen 2005, 16s.
- [3] *Dokumentace na serveru firmy Rigips*
<http://www.rigips.cz/dataUSR_001_PDFAKUSTIKA_a_DESIGN_podklady_pro_projektovani_02_velkoformatove_desky.pdf>
- [4] *Fotodokumentace na serveru Gyppix*
<<http://www.gyppix.com/gyptone/displayimage.php?album=15&pos=5>>
- [5] *Dokumentace na serveru firmy Greiner PURtec GmbH*
<http://www.audiofoam.at/wp-content/uploads/2014/04/audiofoam_folder_A4_ansicht-druckfertig.pdf>
- [6] *Fotodokumentace na serveru Greiner Foam International GmbH* <<http://www.greiner-gfi.com/wp/geschafsbereich-audiofoam-raumakustik/>>

STIPA method in public address sound systems and voice alarm systems Part 1: The theoretical basis and the reference speaker

Rene Drtina^{1,a}, Jaroslav Lokvenc^{2,b}, Josef Sedivy^{3,c},

^{1,2,3}University of Hradec Kralove, Faculty of Education, Department of Technical Subjects,
Rokitanskeho 62, 500 03 Hradec Kralove, Czech Republic

^arene.drtina@uhk.cz, ^bjaroslav.lokvenc@uhk.cz, ^cjosef.sedivy@uhk.cz

Keywords: STIPA, CIS, comprehensibility, speech transmission index, speech intelligibility index, clarity, measurement, sound system, voice alarm system.

Abstract. The transmission channel mediates the flow of information (information transfer) between the source and the information received. In terms of examining the technical characteristics of the transmission channel is probably the most widely used model Shannon-Weaver model of communication, in-processes to technical blocks. From the perspective of media communications and generally assess the overall effect of the transmission of information via Lasswell communication model.

Introduction

The transmission of information via the acoustic and today maintains in many cases dominant position. Communication in engineering, science and humanities, and of course in the teaching of languages is based on technical terminology of the field. Because of representing and interpreting (interpreting and explaining) the function of speech, we can derive the basic requirement, which is ideally wholly cognizable syllables and thus one hundred percent speech intelligibility.

1 Test of logatomic recognizability

Tests of logatomic recognizability are the strictest criterion transmission quality of the speech signal with the highest resolution. In compliance methodology gives objective results [3]. Used logatomic table from which the speaker reads syllable cadence of 0.5 to 1 second syllable for syllable and listeners entered. The complete test of logatomic recognizability has a thousand syllables (twenty blocks of fifty syllables). To achieve the objective results statistically is used to rotate the students to various locations audiences and to rotate the speakers. Implementation of these tests is to organize, time and cost-consuming. The tests themselves are already inherently dull and tedious. During testing, it is therefore necessary to take long enough breaks. To save time, because often uses short hundred syllables test and the number of syllables correctly entered directly indicates logatomic cognizable as a percentage.

2 Speech transmission index

The pursuit of objective quantification of speech intelligibility measurement date from 1940, when Bell Laboratories began to develop measurement technology to determine speech intelligibility. Methods SII (speech intelligibility index) and STI (speech transmission index) to quantify speech intelligibility based on objective measurement. STI is based on the empirical finding that fluctuations (modulation changes) of level of speech signals carry important information relating of speech intelligibility [4] [7] [8]. STI has been optimized and validated using speech intelligibility tests for a wide range of disturbances (distortion) in transmission channels (noise, reverberation, echo, linear and non-linear distortion and digital encoding processes) [2].

The measuring principle is simple to use. Sound Source simulates speaker emits a test signal with a modulation index m_i (Fig.1), which corresponds to the instantaneous intensity

$$\bar{I}_i = \bar{I}_{i_{\max}} (1 + m_i \sin 2\pi f_m t) \tag{1}$$

Measuring microphone (listener) receives this signal with a delay τ and (usually) with the changed modulation index $m_0 < 1$. These conditions correspond to the instantaneous intensity at the receiving end.

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_{0_{\max}} (1 + m_0 \sin 2\pi f_m (t + \tau)) \tag{2}$$

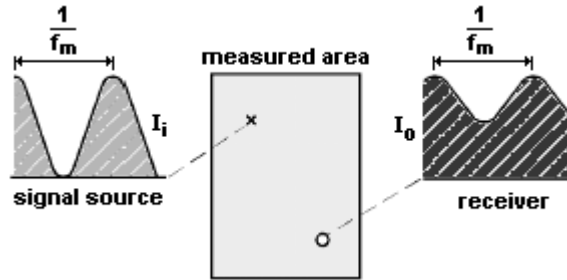


Fig.1 The principle of measurement of speech transmission index

Speech intelligibility in a given area is obtained by measuring the signal, which is evaluated, as the ear of the listener perceived it. The result is a number between 0 (completely unintelligible) to 1 (excellent clarity).

For the measurement of speech transmission index using electro-acoustic transmission system is intended direct method STIPA (speech transmission index for public address systems). It uses seven octave bands simultaneously and for each band are two unique modulation frequency (Table 1). STIPA is not validated only for the spectrum of male speech and the measurement time is about 15-20 s. Sensitive to distortion found in room acoustics and/or sound public address systems.

A measurement of speech intelligibility is prescribed of standard IEC 60849:1998 *Sound systems for emergency purposes* [1], for example, for voice alarm system.

Table 1 The modulation frequency for the method STIPA [2]

octave band [Hz]	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
first modulation frequency [Hz]	1.60	1.00	0.63	2.00	1.25	0.80	2.50
second modulation frequency [Hz]	8.00	5.00	3.15	10.0	6.25	4.00	12.5

Important characteristics of the sound source measurement method STIPA are geometric dimensions (physical size), directivity, location, sound pressure level and frequency response.

3 NTi Audio TalkBox

NTi TalkBox (Fig.2) is a reference resource companies NTi Audio for acoustic measurements. TalkBox the size of a human head. Acoustic output simulates speaker by IEC 60268-16 [2], where 1 m produces a sound pressure level of 60 dB (A). The basic test signals are chips, pink and white noise, sinusoidal reference signal 1 kHz, pulse signal delay measurements and reports in German and English. To verify the parameters of sound reinforcement systems in emergency situations when there is an increase in the strength of voice (e.g. during large noise), so called. Lombard effect is the basic set of signals (with the exception of pulse) reproduced with a level of +10 dB, i.e. 70 dB (A).

TalkBox is equipped with a precision wideband speaker, frequency response using DSP is individually balanced for each individual piece with an accuracy of better than ± 1 dB from 100 Hz to 10 kHz (Fig.2).

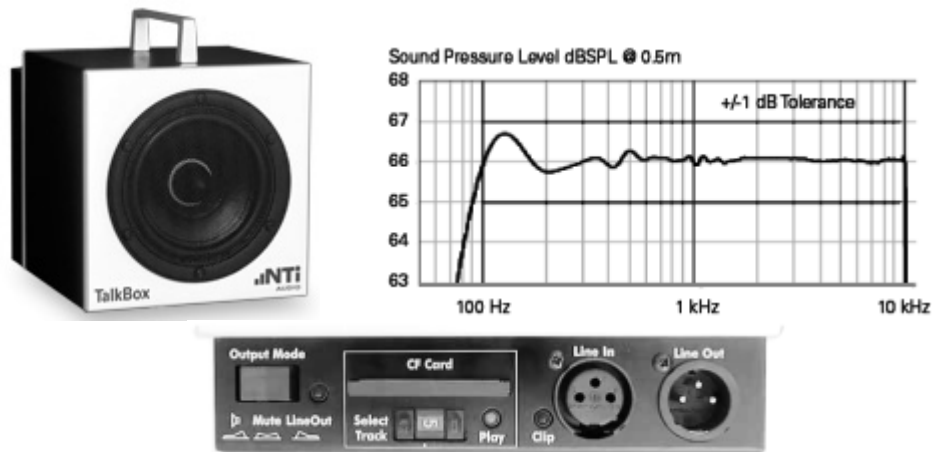


Fig.2 NTi TalkBox, frequency response and electronic unit
source:www.nti-audio.com

Electronic unit TalkBox (Fig.2) also serves as a signal generator. The output voltage goes over 100Ω balanced line via XLR connector. Nominal output level is -11 dBu (218 mV) for 1 kHz at 60 dB at 1 m. TalkBox can reproduce any signal received via a symmetrical line with the maximum level of $+18$ dBu (6,15 V) to the electronic unit, which corresponds to the standard studio over-modulation lines of $+12$ dB. External signal delay is 59 ms.

To prevent a change in reference level, TalkBox is not equipped with any regulatory and adjusters. Directional characteristics for NTi TalkBox producer not describes and is need to be measured.

Knowing of these characteristics particularly important when measuring PA systems with a permanently installed or hand-held microphones, while monitoring the effect of turning the sound source (speaker) to the microphone. Directional characteristics (Fig.4) were measured in an anechoic chamber, acoustic laboratories Faculty of Electrical Engineering West Bohemia University in Pilsen with analyzer Brüel & Kjær PULSE BK type 3560C.

From the measured directional characteristics (Fig.4) is to show that when measured over the entire electro-acoustic system, from the microphone to the listener, not the source to the rotation axis of the microphone exceed $\pm 15^\circ$. Frequencies up to 1 kHz can be considered half-space in front TalkBox for nearly omnidirectional source with omnidirectional characteristic. Limiting radiation angles (from the axis of the radiator) for the decrease of the sound pressure presents in Table 2.

Table 2 Limiting radiation angles NTi TalkBox

Radiation angles for attenuation	frequency [Hz]					
	100	500	1 k	2 k	5 k	10 k
-3 dB	129°	63°	60°	27°	24°	12°
-6 dB		105°	93°	42°	32°	20°
-10 dB			138°	60°	42°	30°

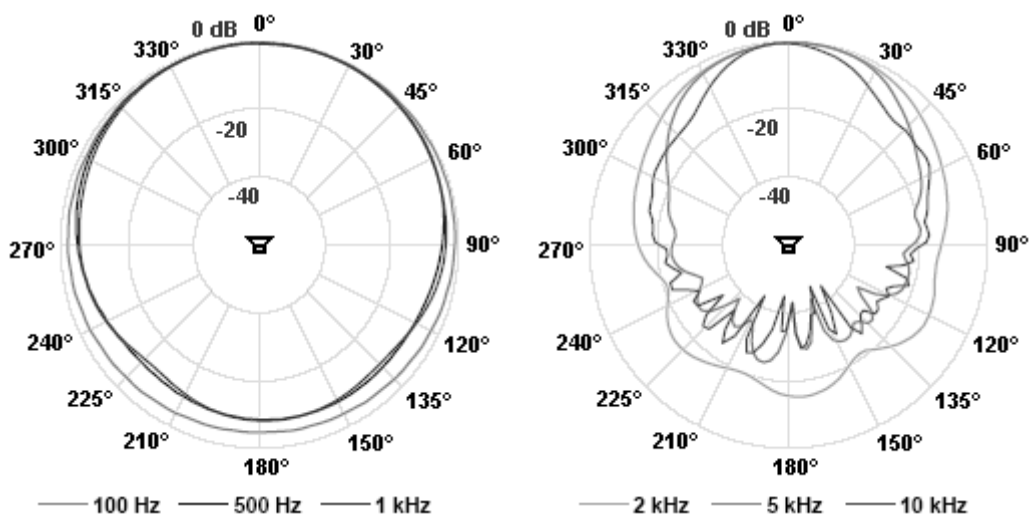


Fig.4 Directional characteristics NTi TalkBox

Conclusion

The measurement results confirmed that the radiation characteristics TalkBox NTi are fully comparable with the radiation pattern of a standard speaker. We can thus deduce that the behavior of the transmission channel TalkBox NTi - the microphone will exhibit the default behavior installed sound system, when operating as a live speaker. We assume that, especially when using high quality sensors (eg. Sennheiser MD441, Neumann U87...) we get quite relevant and repeatable measurement results, the required normative regulation.

Acknowledgements

This work was financially supported by specific research project no. 2131/2013 and 2137/2014 the Faculty of Education, University of Hradec Králové, which solves the Electrotechnical Laboratory of Department of Technical Subjects.

The authors thank Ing. Oldrich Turecek, Ph.D., Ing. Martin Sykora, Ph.D., Ing. Martin Schlosser, and Ing. Ladislav Zuzjak of the Acoustic laboratory of the Faculty of Electrical Engineering University of West Bohemia in Pilsen, as expert and technical assistance for acoustic measurements.

References

- [1] IEC 60849:1998. *Sound systems for emergency purposes*.
- [2] IEC 60268-16:2011. *Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*.
- [3] JANUŠKA, I. *Statistické porovnání subjektivních a objektivních metod určování akustické kvality uzavřených prostorů pro poslech řeči*. Výzkumná zpráva. Praha. VÚZORT. 1964.
- [4] STEENEKEN, H. J. M. - HOUTGAST, T. *Some applications of the Speech Transmission Index (STI) in auditoria*. *Acustica* 51, 1982, p.229-234.
- [5] DRTINA, R. et al. *Ozvučovací systémy pro velká auditoria. Část 8. - Směrové charakteristiky reproduktorového sloupu DPT208*. *Media4u Magazine*. 1/2012. s.154-164. ISSN 1214-9187.
- [6] DRTINA, R. - LOKVENC, J. *Ozvučovací systémy pro velká auditoria. Část 9. - Směrové charakteristiky skládaných zářičů z DPT208*. *Media4u Magazine*. 2/2013. s.50-63. ISSN 1214-9187.
- [7] SMETANA, C. *Praktická elektroakustika*. Praha - Bratislava. SNTL/ALFA. 1981.

STIPA method in public address sound systems and voice alarm systems Part 2: Conversion curves and bandwidth effect

Rene Drtina^{1,a}, Jaroslav Lokvenc^{2,b}, Josef Sedivy^{3,c},
Lukáš Čákora^{4,d}, Jan Konvalina^{5,e} and Lukáš Vrba^{6,f}

^{1,2,3,4,5,6}University of Hradec Kralove, Faculty of Education, Department of Technical Subjects,
Rokitanskeho 62, 500 03 Hradec Kralove, Czech Republic

^arene.drtina@uhk.cz, ^bjaroslav.lokvenc@uhk.cz, ^cjosef.sedivy@uhk.cz, ^dlukas.cakora@uhk.cz,
^ejan.konvalina@uhk.cz, ^flukas.vrba@uhk.cz

Keywords: STIPA, CIS, comprehensibility, speech transmission index, speech intelligibility index, clarity, measurement, sound system, voice alarm system.

Abstract. Classrooms, lecture, lecture, conference and convention halls can be considered as spaces in which there is sometimes one way, but more often two-way communication through the transmission channel. Equally important is the transfer of key information in voice alarm system.

Introduction

Vast areas in which the emphasis is on clarity of information are transmitted voice alarm systems in buildings exposed to a large number of people (shopping centers, hotels, metro, transport terminals, cinemas, theaters, schools, selected industrial plants), but also for example in flood areas, in places with danger of industrial accidents, often in voice alarm system requires operation in a dormant mode. Sound level (reproduced reports) must wake a sleeping person [1]. Detection rate of speech intelligibility perform essentially two methods. Listening tests and measurement of speech transmission index (STI) according to IEC 60268-16 [2]. The second part presents the definition of conversion curves and the bandwidth effect of the STIPA values measured.

1 Conversion curves

Electrotechnical Laboratory of the Department of Technical Subjects Faculty of Education University of Hradec Kralove used for measuring acoustic set NTi (XL2 analyzer, measuring microphone 2210 class I, TalkBox and the necessary accessory). The kit allows direct measurement of speech transmission index according to IEC 60268-16 [2], including the measurement of ambient noise on speech intelligibility transfer to a scale of CIS [1] (a common measure of speech intelligibility) and the creation of the measurement. The best speech intelligibility clarity is achieved when sound pressure levels in the range of 70-80 dB_{SPL}. At levels above 85 dB reduces the sensitivity of the ear, leading to lower clarity. Speech transmission index, for example, drops from STI = 1 at 70 dB_{SPL} to the STI = 0.7 when the sound level over 90 dB_{SPL}.

Calculation we verify that the conversion curve between the values of CIS and STI (STIPA), according to IEC 60849 [1] (Fig.5) can be approximated with high precision with exponential function

$$STI = 0.10196 \cdot e^{2.279 \cdot CIS} \quad (3)$$

value of reliability $R^2 = 0.9998$

or using third degree polynomials and higher degrees, for example

$$STI = 0.80308 \cdot CIS^3 - 0.28423 \cdot CIS^2 + 0.39115 \cdot CIS + 0.090496 \quad (4)$$

Value of reliability $R^2 \rightarrow 1$. For the inverse transfer STI/CIS (Fig.5) then we can use a logarithmic approximation

$$\text{CIS} = 0.4387 \cdot \ln \text{STI} + 1.0018 \quad (5)$$

with value of reliability $R^2 = 0.9998$ or third-degree polynomial

$$\text{CIS} = 0.9647 \cdot \text{STI}^3 - 2.5056 \cdot \text{STI}^2 + 2.6678 \cdot \text{STI} - 0.1263 \quad (6)$$

with value of reliability $R^2 = 0.9997$ for values STI 0.25.

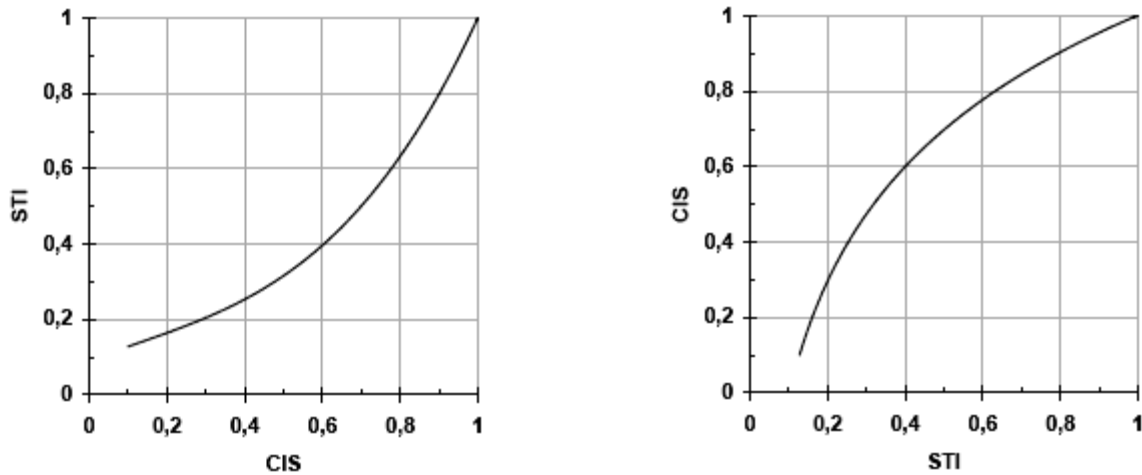


Fig.5 Conversion of scales CIS/STI and STI/CIS

On the basis of standard values of conversion curves of different methods to CIS [1] we reslusted for our substantial mutual conversion between logatomic recognizability (LOG) and speech transmission index (STI). The conversion of speech transmission index to logatomic speech intelligibility (Fig.6) can be approximated with high precision sixth degree polynomial

$$\begin{aligned} \text{LOG} = & -20.783 \cdot \text{STI}^6 + 70.377 \cdot \text{STI}^5 - 88.867 \cdot \text{STI}^4 + 50.558 \cdot \text{STI}^3 - \\ & -13.606 \cdot \text{STI}^2 + 3.6785 \cdot \text{STI} - 0.3668 \end{aligned} \quad (7)$$

value reliability $R^2 = 0.9999$.

For the inverse transfer (Fig.6), ie. Conversion values logatomic recognizability (LOG) for speech transmission index (STI) can be re-used polynomial approximation sixth grade

$$\begin{aligned} \text{STI} = & 56.881 \cdot \text{LOG}^6 - 163.57 \cdot \text{LOG}^5 + 181.03 \cdot \text{LOG}^4 - 96.253 \cdot \text{LOG}^3 + \\ & + 25.062 \cdot \text{LOG}^2 - 2.4058 \cdot \text{LOG} + 0.2575 \end{aligned} \quad (8)$$

value reliability $R^2 = 0.9956$.

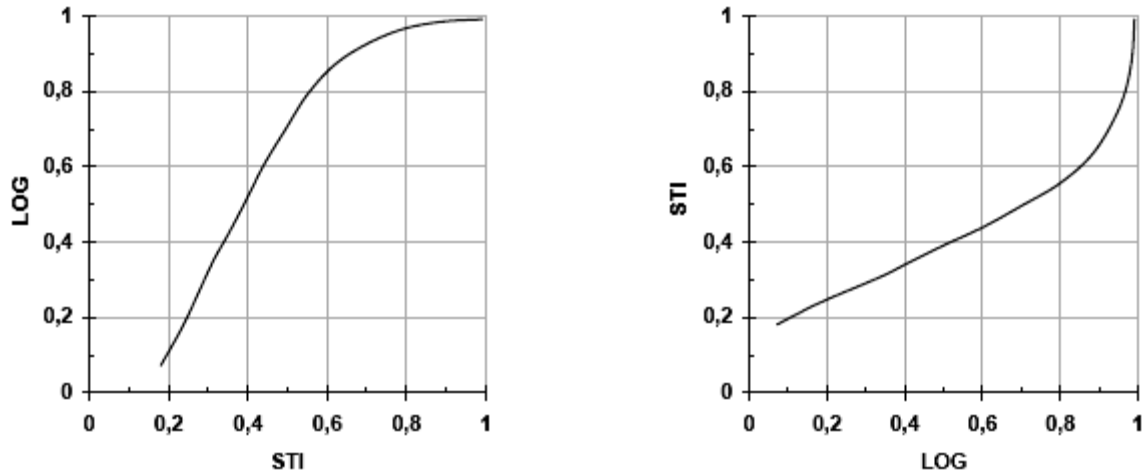


Fig.6 Converting of speech transmission index and logatomic recognizability STI/LOG a LOG/STI

For logatomic cognizable we chose the standard expression with a maximum value of 1, instead of commonly mentioned on percentages. Approximation polynomials are chosen so that at an early stage had a reported value of reliability, if possible, more than 0.999.

Speech Transmission Index should for classrooms and lecture halls (for the educational process in general) respond logatomic recognizability (syllable intelligibility) higher than 95%. Calculation according to (8) and by refining (7) should be the speech transmission index better than 0.75. Thus, in qualitative zones A + to A, which is the approximate scale [2], has excellent speech recognisability. The condition is very strict and moves level requirements for sound studios. Especially for the language classroom by such parameters should be obvious.

2 The influence of directivity of acoustic sources

Assumes that the acoustic sources with strong directional effect (narrow radiation pattern) and optimum settings mainframe correction increases the speech transmission index and hence clarity, is based on patterns of spatial acoustics, the theory of drives, models of acoustic fields and the specific results of previous research and practical experience. Analysis of folded acoustic sources confirmed the very good agreement of calculated and measured characteristics [5] [6]. Applications of directional sources will bring greater radius of reverberation, reverberation greater distances, reducing energy of reverberation field and increase intelligibility. From vertical and horizontal beam angles γ_v, γ_h directivity factors were determined by the following equation (9) [7] where $\gamma_1 > \gamma_2$.

$$Q_Z = \frac{510}{\gamma_2 \cdot \sqrt{1 - \cos \gamma_1}} \quad (9)$$

Factors directivity was in the area of formant values $Q_Z = 16$ to 24 . Under otherwise constant conditions with reverberation distance in a given area increases $\sqrt{Q_Z}$ times. Used assemblies open field reaches up to $4 \times$ to $5 \times$ distance. At the same time increases the achievable speech intelligibility. From equation (10) [7] implies, T is the reverberation time, V the volume of space, distance l_{ZP} speaker listener and n cooperating number of sources, the loss of clarity of consonants ζ , at otherwise constant conditions, factors inversely proportional to the directivity of the radiator Q_Z .

$$\zeta = n \frac{200T^2 l_{ZP}^2}{VQ_Z} \quad (10)$$

Preliminary measurements in the auditorium of the University of Hradec Kralove showed compliance with the values measured in 1992 and 2005 Acoustics remained unchanged after reconstruction,

preserve the distinctive flutter echo in the first third of the auditorium and the lack of parameters has a relatively unstable PA system. Average speech transmission index STIPA over existing sound system is 0.73 and the recalculated average of clarity in the auditorium (CIS) is 86%, which corresponds with the values determined using logatonic tests. Additional measurements were performed for two wall speaker size 4×8 and for long column speaker with 24 emitters (Fig.7). As modules stacked radiators were used DPT208 column speaker [5] [6]. Frequency response was in the area above 5 kHz offset sound processor Sabine NAV8800. With the speech transmission index (STIPA) from 0.61 to 0.80 and the average intelligibility (CIS) 86% were measured value, under standard errors are nearly identical.



Fig.7 Wall speakers and two-meters column speaker in assembly hall of University of Hradec Kralove

Measurements confirmed their assessed, although the evaluation of the listening test showed a vastly different sound administration.

To simulate acoustically untreated and complex lecture, we used the church space and small wall speaker in 2×16 format, with a balanced frequency response and equalization filter for speech (Fig.8).

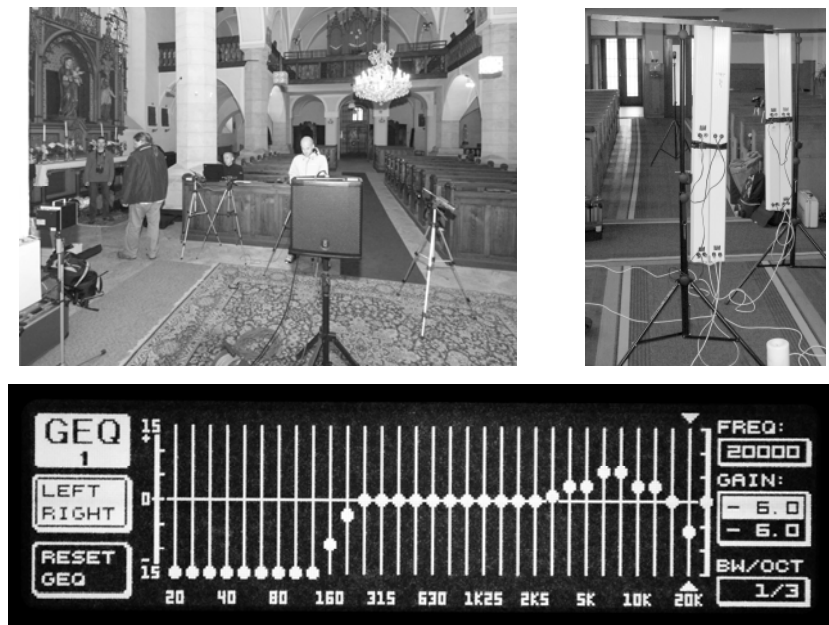


Fig.8 Area of the church of St. Vrsila, installation of wall speaker 2×16 in Hus Choir, frequency response of the speech (dialogue) filter

Measurements have shown some influence directionality of emitters, in a small extent also reflected adjustments transmission characteristics (Table 3). Nevertheless, the measured values significantly differ from the calculated assumptions. The indicative logatonic and listening tests in the case of stacked radiators and using speech intelligibility stroke filter showed 85%.

Table 3 Partial results of acoustic measurements

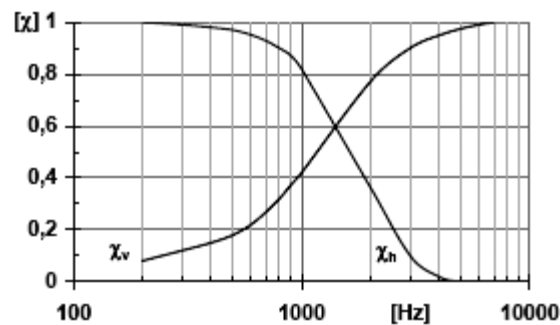
used radiator, hall correction	speech transmission index (STIPA)	average intelligibility (CIS)
omnidirectional, without correction	0.45-0.58	68 %
composed 2 × 16 balanced process	0.52-0.57	73 %
composed 2 × 16, speech filter	0.53-0.59	74 %

3 Influence of transmitted bandwidth

Interpretation of the measurement results is very problematic. Leaving aside the fact that STIPA is validated only for the spectrum of male speech, make measurements premise for the claim that the standard method according to IEC 60268-16 [2] is insensitive to frequency and radiation characteristics. It was therefore necessary to extend the research on sensitivity analysis methods STIPA width of the transmission channel and to see if there is concurrence between the really values measured and χ characteristic (Fig.9).

Sensitivity of speech transmission index STIPA and intelligibility CIS of the bandwidth limitations, we measured directly in the signal path. We analyzed 88 signal samples with different signal bandwidth limitations of 70 dB level. Correction for loss of intelligibility in percent, depending on the transmitted bandwidth limitation indicates χ characteristics according to equation (11).

$$\zeta_{\text{cor}} = 50 - \chi_v \chi_h (50 - \zeta) \quad (11)$$

Fig.9 χ Characteristics of correction intelligibility [7]

Filter of transmitted bandwidth through the analog filter, bandpass filter 500 Hz to 2.5 kHz (Fig.10) represents suppression formant region 4 kHz by 10 dB, according to equation (11) reducing the intelligibility of $\zeta_{\text{cor}} = 9.6\%$. Evaluation of method STIPA gives speech transmission index 0,97 and clarity (CIS) of 99%. For bandpass cutoff frequency of 700 Hz to 1.2 kHz (Fig.11) represents suppression formant region 4 kHz by 20 dB and a reduction of intelligibility, according to equation (11), the $\zeta_{\text{cor}} = 23.8\%$. Evaluation method Stipe gives speech transmission index 0,91 and intelligibility (CIS) of 96%, which would for practical applications meant that even standard phone connection (band 300 Hz to 3.5 kHz) ensures excellent speech intelligibility.

Using extreme attenuation of programmable digital filters has been realized for example bandwidth of 400 Hz to 2.5 kHz with 60 dB attenuation in $\frac{1}{3}$ octave range (Fig.12). Speech transmission index (STIPA) was 0.68 and intelligibility (CIS) 83%. For bandwidth of 630 Hz to 1.6 kHz (Fig.13), the speech transmission index (STIPA) 0.51 and intelligibility (CIS) 71%.

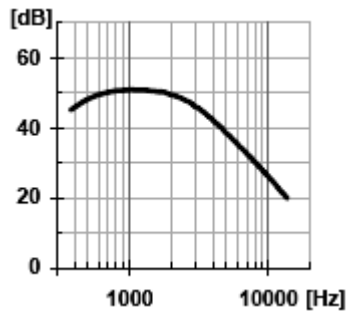


Fig.10 Band pass 500 Hz to 2.5 kHz
12 dB/octave, STI 0.97/CIS 99 %

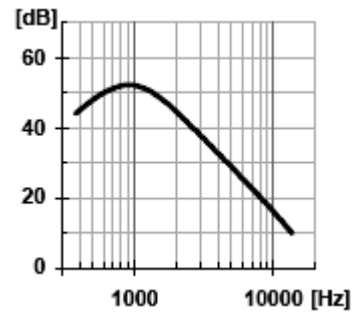


Fig.11 Band pass 700 Hz to 1.2 kHz
12 dB/octave, STI 0.91/CIS 96 %

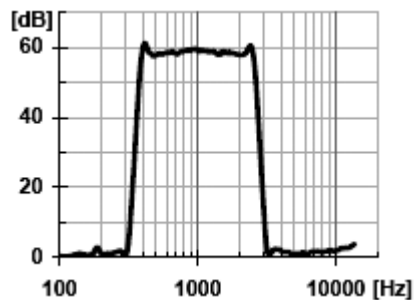


Fig.12 Band pass 400 Hz to 2.5 kHz
-60 dB in $\frac{1}{3}$ octave, STI 0.68/CIS 83 %

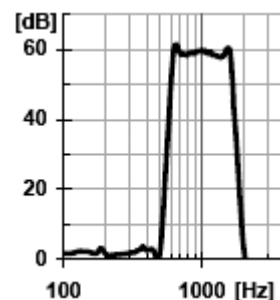


Fig.13 Band pass 630 Hz to 1.6 kHz
-60 dB in $\frac{1}{3}$ octave, STI 0.51/CIS 71 %

For bandwidth limited to frequencies above 1,6 kHz, with 30 dB attenuation in $\frac{1}{3}$ octave range (Fig.14) was detected speech transmission index (STIPA) 0,89 and intelligibility (CIS) of 95%.

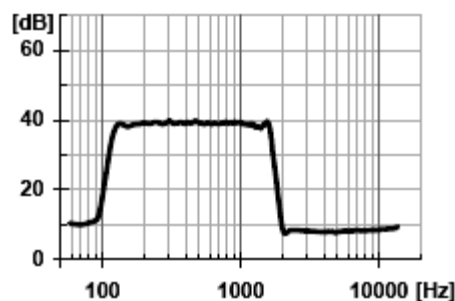


Fig.14 Band pass 160 Hz to 1.6 kHz, -30 dB in $\frac{1}{3}$ octave, STI 0.89/CIS 95 %

Conclusion

Results of the analysis indicate that the measurement of speech transmission index Stipe (although it is a standard set by an objective method) can't agree with logatomic tests for evaluating the transmission properties of PA and VA systems. In education, we can assume fatal impact of classroom acoustics and the properties of the transmission channel on the quality of teaching. Also in the voice alarm system may block transmission of information restricted frequency band, without that measurements showed Stipe problem. The analysis builds examining the impact of reverberation and signal levels reverberation the results indicated by speech transmission index and scaled intelligibility.

In our opinion, it is necessary to expand research on the measurement and detailed analysis of the detected signal in comparison to the results valid logatomic tests that are dependent on the emitter and the transmitted band. The objective is to verify the measured values with the results of tests logatomic or suggest modification of the measuring system so that the correlation results of the signal measurements and tests logatomic was greatest in the ideal case that the correlation coefficient $\rho_{CIS LOG}$ most approached to value 1.

Acknowledgements

This work was financially supported by specific research project no. 2131/2013 and 2137/2014 the Faculty of Education, University of Hradec Králové, Which solves the Electrotechnical Laboratory of Department of Technical Subjects.

The authors thank Ing. Oldrich Turecek, Ph.D., Ing. Martin Sykora, Ph.D., Ing. Martin Schlosser, and Ing. Ladislav Zuzjak of the Acoustic laboratory of the Faculty of Electrical Engineering University of West Bohemia in Pilsen, as expert and technical assistance for acoustic measurements. Special thank Mgr. Rostislav Kotrc and dean ICLic. Pavel Seidl.

References

- [1] IEC 60849:1998. *Sound systems for emergency purposes.*
- [2] IEC 60268-16:2011. *Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.*
- [3] JANUŠKA, I. *Statistické porovnání subjektivních a objektivních metod určování akustické kvality uzavřených prostorů pro poslech řeči.* Výzkumná zpráva. Praha. VÚZORT. 1964.
- [4] STEENEKEN, H. J. M. - HOUTGAST, T. *Some applications of the Speech Transmission Index (STI) in auditoria.* Acustica 51, 1982, p.229-234.
- [5] DRTINA, R. et al. *Ozvučovací systémy pro velká auditoria. Část 8. - Směrové charakteristiky reproduktorového sloupu DPT208.* Media4u Magazine. 1/2012. s.154-164. ISSN 1214-9187.
- [6] DRTINA, R. - LOKVENC, J. *Ozvučovací systémy pro velká auditoria. Část 9. - Směrové charakteristiky skládaných zářičů z DPT208.* Media4u Magazine. 2/2013. s.50-63. ISSN 1214-9187.
- [7] SMETANA, C. *Praktická elektroakustika.* Praha - Bratislava. SNTL/ALFA. 1981.