

SÚHRNNÁ SPRÁVA

k previerke národného etalónu

Národný etalón:	NE 019/99 Národný etalón akustického tlaku na kalibrovanie meracích kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm v rozsahu (40 až 65) mV/Pa vo frekvenčnom rozsahu (63 až 2500) Hz
Osoba zodpovedná za národný etalón:	RNDr. Ján Šebok
Správu vypracoval:	RNDr. Ján Šebok

Bratislava, december 2010

OBSAH

SÚHRNNEJ SPRÁVY O NE AKUSTICKÉHO TLAKU

0	Názov etalónu	4
1	Technicko - ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE akustického tlaku	4
1.1	Význam a potreba metrológie danej veličiny	4
1.2	Technické zdôvodnenie potreby a výberu etalónu	5
1.3	Ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu etalónu	6
2	Podrobný popis NE akustického tlaku a s ním spojených zariadení	9
2.1	Všeobecný teoretický opis metódy reciprocity a základný princíp realizácie	9
2.1.1	Všeobecný princíp použitia troch mikrofónov	9
2.1.2	Všeobecný princíp použitia dvoch mikrofónov a pomocného zdroja zvuku	10
2.1.3	Princíp činnosti a opis NE akustického tlaku SMU	10
2.2	Zmena v zostave od vyhlásenia etalónu	11
2.3	Použitie zariadenie pri kalibrácii mikrofónov	12
2.3.1	Etalónové zariadenie na meranie citlivosti mikrofónov metódou reciprocity	12
2.3.2	Zostava zariadenia pre určenie akustickej impedancie mikrofónov	13
3	Špecifikácia metrologických vlastností národného etalónu akustického tlaku	14
3.1	Etalónové kondenzátorové mikrofóny B&K 4160	14
3.2	Kapacita etalónov kapacity	16
3.3	Bilancia neistôt	16
3.4	Prenos veličiny	17
4	Prehľad výsledkov výskumu a vývoja a medzinárodných porovnaní.	19
4.1	Prehľad vývoja etalónu akustického tlaku	19
4.2	Medzinárodné porovnania	21
4.2.1	Výsledky kľúčových medzinárodných porovnávacích meraní s PTB a DPLA z rokov 1997-1998 – EUROMET.AUV.A-K1	23
4.2.2	Výsledky porovnávania kalibrácie akustických kalibrátorov EA ILC Ac1 (European Cooperation for Accreditation interlaboratory comparison)	24
4.2.3	Výsledky medzinárodného porovnávacieho merania CCAUV.COOMET.AUV.A-K1	25
5	Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za NE akustického tlaku	28
5.1	Umiestnenie NE akustického tlaku	28
5.2	Osoby zodpovedné za NE akustického tlaku	28
6	Zoznam publikácií o NE akustického tlaku v odbornej literatúre	29
6.1	Výskumné správy	29
6.2	Ostatné súvisiace výskumné správy	30
6.3	Publikované články o etalóne	30
6.4	Výsledky medzinárodných porovnávacích meraní zachytených v správach	31
6.5	Podklady k porovnávaciemu meraniu	31
6.6	Ostatné súvisiace publikované články	31
6.6.1	Štúdie	31
6.6.2	Normotvorba	31
6.7	Ostatná súvisiaca literatúra	32
7	Zoznam dokumentov súvisiacich s NE akustického tlaku	31

7.1 Dokumentácia o NE akustického tlaku	31
7.2 Pracovné postupy	34
7.3 Zoznam programov	34
7.3.1 Zoznam záznamov validácie programov	35
7.4 Normalizácia v oblasti akustických veličín	35
7.4.1 Normy na meracie mikrofóny	35
7.4.2 Normy na akustické kalibrátory	35
7.4.3 Normy na zvukomery, integračné zvukomery, pásmové filtre a osobné zvukové expozimetre	36
7.4.4 Normy na tónové audiometre	36
7.4.5 Normy všeobecné	37
7.4.6 Normy ostatné	37
7.5 Európske smernice a z nich vyplývajúce zákony a nariadenia	38
Príloha 1 CMC tabuľka	41
Príloha 2 Certifikát NE akustického tlaku	42
Príloha 3 Pravidlá používania a uchovávania NE akustického tlaku	47
Príloha 4 Záverečné správy kľúčových porovnávacích meraní	60
4.1 Euromet project 399 An international comparison of sound pressure standards	60
4.2 Report on key comparison COOMET.AUV.A-K1 Draft A	81
4.3 Report on key comparison COOMET.AUV.A-K1 Draft B	103
4.4 Report on key comparison COOMET.AUV.A-K1 Final Report	133
4.5 Summary - linking key comparison from july 2009	134
Príloha 5 Publikované články na medzinárodnom akustickom seminári v Kočovciach	147
5.1 Primárny etalón akustického tlaku SMÚ v systéme národných etalónov Európy	147
5.2 Metóda reciprocity s aktívnou komôrkou v SMÚ v konfrontácií metódami akustických laboratórií euroregiónu	153
5.3 Meranie efektívneho objemu etalónových kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm	159
5.4 Uncertainty budget of the SMU type LS 1 standard microphone measurement	163
5.5 Zabezpečenie unifikácie merania elektrických parametrov meracích kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm pri určovaní akustickej impedancie nepriamou metódou	169
5.6 Zistenie ekvivalentného objemu meracích etalónových kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm	175
5.7. Postavenie NE akustického tlaku SMU Bratislava z hľadiska medzinárodných porovnávacích meraní	181

Názov etalónu : Národný etalón akustického tlaku č. NE 019/99 na kalibrovanie meracích kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm v rozsahu (40 až 65) mV/Pa vo frekvenčnom rozsahu (63 až 2500) Hz

Forma a dátum vyhlásenia etalónu: Osvedčenie o národnom etalóne pod číslom 019/99 zo dňa 15. júna 1999 vydané UNMS SR v Bratislave, certifikovaný Slovenským metrologickým ústavom (certifikát č. 019/02, príloha 1) v súlade s ustanovením § 6 a § 32 ods. 2 písm. d) zákona č. 142/2000 Z. z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov a zákonom č. 431/2004 Z.z. zo dňa 23. júna 2004, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 142/2000 Z.z. o metrológii.

Osoba zodpovedná za národný etalón : RNDr. Ján Šebok

1 Technicko ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE akustického tlaku

Pre technicko - ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE akustického tlaku sa ako fundamentálne vôbec javí objasniť význam a potrebu metrológie tejto veličiny:

1.1 Význam a potreba metrológie danej veličiny

Základnou úlohou metrológie v štáte je zabezpečenie jednotnosti a správnosti merania všetkých meraných veličín používaných v hospodárstve štátu. Týka sa to aj veličín akustiky.

Problematiku akustických veličín treba chápať komplexne. Súvisí to najmä s tým, že akustika v súčasnom poňatí predstavuje pomerne široký obor vedy a techniky. Pod pojmom **akustika** sa v súčasnosti rozumie užší obor mechaniky pevných telies a súvisiacich hmotných prostredí, v ktorých sa vyšetrujú kmity telies a sústav a zároveň aj vlnenie a vlnové polia tohto hmotného prostredia. Funkcia vyšetrovaného systému ako aj funkcia meracieho zariadenia sa môže výrazne meniť pri prechode merania z oblastí veľkých vlnových dĺžok do oblastí vlnových dĺžok zrovnateľných s rozmermi vyšetrovaného systému, resp. s rozmermi akustickej vstupnej časti meracieho zariadenia. Preto sa oblasť akustiky separuje na kmitanie a vlnenie v pevnej fáze a na kmitanie a vlnenie tekutín, ktoré sa ďalej delí na kmitanie a vlnenie kvapalného a plynného prostredia. Kmitanie a vlnenie plynného prostredia sa, v dôsledku funkcie vlnových dĺžok, člení na oblasti **infrazvuk, zvuk počuteľného pásma** a **ultrazvuk**. Pre úplnosť delenia sa rozlišujú zvlášť nízke a vyššie podzvukové frekvencie, ďalej nižšie, stredné a vyššie zvukové frekvencie a nižšie, vysoké a zvlášť vysoké nadzvukové frekvencie.

Pre jednotlivé oblasti sú špecifikované aj **fyzikálne veličiny**. Oblasť kmitania a vlnenia v pevnej fáze z hľadiska metrologického zabezpečenia charakterizujú veličiny **výchylka, rýchlosť** a **zrýchlenie**, ostatnú oblasť akustiky **akustický tlak, akustická impedancia, akustická rýchlosť, akustická intenzita** a akustický výkon.

Fundamentálnou veličinou je akustický tlak, ktorý sa meria v tlakovom poli v malých meracích komôrkach a vo voľnom akustickom poli v špeciálnom akustickom priestore zvanom bezodrazová komora.

Akustický tlak je jedna z najdôležitejších veličín v akustike. Dominantné postavenie tejto veličiny je úzko späté s javmi, ktoré skúmame a meriame, ako aj v neposlednom rade s jej pomerne jednoduchým meraním pomocou meracích mikrofónov. Je to skalárna veličina akustického poľa, z hľadiska časového veličina striedavá a existuje len v čase jej realizácie. Nie je ju možné ako veličinu v zhmotnenej forme, ako napr. hmotnosť alebo dĺžku, uchovávať, ani realizovať z definície tlaku ako pomer sily a plochy, na ktorú táto sila pôsobí, aj keď fyzikálne akustický tlak je takto definovaný v elementárnej forme. V elementárnej forme v danom prostredí, kde sa uskutočňuje silové pôsobenie na molekuly daného prostredia, nie je technicky realizovateľná forma podľa definície. Rovnako nie je v súčasnosti technicky realizovateľná forma priameho nadviazania jednotky statického tlaku Pa na jednotku akustického tlaku. Medzi dvomi realizáciami je jednotka akustického tlaku uchovávaná nepriamo cez citlivosť etalónových mikrofónov.

Hluk je veličina subjektívna a jej kvantifikácia sa deje prostredníctvom merania akustického tlaku. Práve v dnešnej dobe, keď sa tvorba a ochrana životného a pracovného prostredia stáva jednou, ľudstvom mimoriadne sledovanou, oblasťou nášho života, je meranie akustického tlaku veľmi dôležité (Zákon č. 355/2007 o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov – pred hlukom, infrazvukom a vibráciami v životnom prostredí ako aj na pracoviskách a Zákon č. 2/2004 o posudzovaní a kontrole hluku vo vonkajšom prostredí a o zmene zákona Národnej rady Slovenskej republiky č. 272/1994 Z. z. o ochrane zdravia ľudí v znení neskorších predpisov). Toto je aj jeden z dôvodov potreby jednotného a správneho merania akustického tlaku, čo si samozrejme vyžaduje etalonáž akustického tlaku na dobrej úrovni. Ďalším z dôvodov je ochrana zdravia ľudí pred škodlivými účinkami hluku a hodnotenie sluchu, prostredníctvom ktorého sa hodnotí škodlivý a rušivý hluk a robia sa lekárske závery o diagnózach sluchu ľudí. Práve z tohto dôvodu sa aj meradá akustického tlaku vo vzdušnom prostredí vyhlásili ako určené meradá v zmysle zákona o metrologii (Zák. 142/2000 Zb. v znení z. 431/2004 Zb., Vyhláška Z. z. č. 210/2000 a príslušné novely, Príloha č. 49 k vyhláške č. 48/2001 Z. z., Príloha č. 45 k vyhláške č. 48/2001 Z. z., Príloha č. 44 k vyhláške č. 48/2001 Z. z. a Príloha č. 42 k vyhláške č. 9/2001 Z. z. a súvisiace novely vyhláška 669/2004 Z.z a vyhláška 171/2008 Z.z.). V sekundárnej oblasti až po úroveň pracovných meradiel sa akustický tlak meria a monitoruje v komunálnej doprave (cestnej, železničnej, lodnej, leteckej, napr. v NV 309/2006 o technických požiadavkách na výfukové systémy a o prípustnej hladine hluku motorových vozidiel a v NV SR 401/2005 o hladine hluku vnímanej vodičom poľnohospodárskych kolesových traktorov alebo lesných kolesových traktorov ako aj v NV SR 274/2004 o opatreniach na ochranu životného prostredia pred hlukom z lietadiel), v strojárstve pri meraní hluku strojov a zariadení podľa Vyhlášky MZ SR č. 549/2007, v znení Vyhlášky 237/2009 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií, ďalej NV SR č. 115/2006, resp. novele č. 555/2006 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku a NV SR č. 416/2005 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou vibráciám, ako aj pri meraní akustických vlastností materiálov v priestorovej a v stavebnej akustike, kde podľa zákona 90/98 Zb. z. musia byť hodnotené stavebné materiály z hľadiska akustických vlastností (nepriezvučnosť, pohltivosť, kročajový hluk, a pod.) atď.. (pozri kap. 7 Súvisiace zákony NR SR a nariadenia vlády SR tejto revíznej správy).

Európska Únia sa v poslednom desaťročí XX. storočia vehementne pustila do nápravy stavu v oblasti ochrany životného prostredia zameraním na hluk. V dokumente COM (95)647 predložila návrh na revíziu Piateho akčného programu EÚ a v roku 1996 Komisia EÚ vydala „Zelený dokument“ zameraný na povzbudenie verejnej diskusie o budúcom prístupe k politike ochrany proti hluku. V tomto dokumente je uvedený celkový prehľad hlukovej situácie v rámci krajín EÚ a doposiaľ podniknuté kroky v rámci Spoločenstva a v rámci členských krajín s bilanciou dosiahnutého stavu. Ďalej sú v tomto dokumente načrtnuté opatrenia pre zlepšenie informačného systému o hlučnosti, vzájomnej porovnateľnosti týchto údajov a možnosti zníženia hluku v budúcnosti. Slovenská republika preberá smernice EÚ týkajúce sa hluku do legislatívy, niektoré z nich, späté s meraním akustických veličín v priamej nadväznosti na etalón akustického tlaku sú uvedené v tejto revíznej správe v kap.7.

Význam a potreba metrologie akustického tlaku vo voľnom akustickom poli spočíva v samotnej praktickej aplikácii merania v akustike. V praxi sa merania vykonávajú z veľkej časti vo voľnom akustickom poli, resp. tomuto približnom. Kalibrácia zvukomerných reťazcov má preto prebiehať aj vo voľnom poli, kde je možné ohodnotiť difrakčné vlastnosti a smerové charakteristiky meradla. V súčasnosti sa k charakteristikám stanoveným v tlakovom poli pripočítavajú korekcie na voľné pole udávané výrobcom, ktoré nemožno kontrolovať. Korekcie navyše nemožno aplikovať paušálne. Kalibrácia mikrofónov metódou reciprocitu vo voľnom poli je realizovateľná v celom rozsahu akustického počutelného pásma a zaberá i oblasť nižších nadzvukových frekvencií.

V súvislosti so zavádzaním smerníc EÚ do legislatívy SR, Zák. 264/99 Zb. z. a súvisiacich nariadení vlády SR, povinnosťou výrobcov (dovozcov) strojov, zariadení a spotrebičov pre domácnosť je uvádzať údaje o hlukových vlastnostiach (akustický tlak v mieste obsluhy zariadenia, akustický výkon zariadenia), ktoré je možné merať v podmienkach voľného akustického poľa. Táto informácia je významným doplnením možnosti kalibrácie etalónových kondenzátorových mikrofónov vo voľnom poli, ktoré však reprezentuje ďalšiu modifikáciu metódy reciprocitu pre voľné pole a tým možnosť realizácie druhého etalónu akustického tlaku podľa IEC 1094-3 Measurement microphone Part 3: Primary method for free-field calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique. Výhoda takto realizovaného etalónu spočíva v možnosti kalibrácie ľubovoľných mikrofónov do frekvenčného rozsahu až 100 kHz.

1.2 Technické zdôvodnenie potreby a výberu etalónu

Akustický tlak, ako už bolo spomenuté, je jedna z najdôležitejších veličín v akustike. ktorú skúmame meraním pomocou meracích mikrofónov.

Primárna etalonáž akustického tlaku sa ešte v Československu začala budovať v roku 1976. V tom čase primárny etalón akustického tlaku bol vytvorený etalónovým pistonfónom s diferenciálnym piestom. Metóda pistonfónu je metóda absolútna. Zariadenie realizovalo jednotku akustického tlaku v rozsahu (100 až 250) Hz s neistotou lepšou ako 1,5 % (0,12 dB). Prakticky realizácia jednotky akustického tlaku sa robila len pri jednej frekvencii a to 250 Hz. Rozšírenie frekvenčného rozsahu od 20 Hz do 20 kHz sa robilo relatívne metódou elektrostatického aktuátora. Primárny etalón akustického tlaku vtedy realizovaný nebol autonómny napriek tomu, že sa jednalo o metódu absolútnu, lebo vzhľadom na svoju konštrukčnú realizáciu sa nadväzoval na primárny etalón priamočiareho mechanického kmitania, čím mal principiálne obmedzenie pri zmenšovaní neistoty realizácie jednotky. Kalibrácia vibračného snímača, používaného na meranie výchylky kmitajúceho piesta, podstatným spôsobom určovala dosahovanú neistotu realizácie jednotky akustického tlaku.

Nároky na presnosť etalonáže akustického tlaku však časom vzrastali. Z toho dôvodu sa prišlo k realizácii jednotky akustického tlaku pomocou primárneho etalónu založeného na využití metódy reciprocity. Kalibrácia mikrofónov metódou reciprocity v meracej komôrke je absolútnou metódou a umožňuje v súčasnosti dosahovať najmenšiu možnú neistotu kalibrácie mikrofónov. Na rozdiel od metódy pistonfónu, kde priamo generujeme definovanú hodnotu akustického tlaku a túto priamo prenášame cez citlivosť mikrofónu ďalej, pri využití metódy reciprocity nepoznáme hodnotu akustického tlaku a napriek tomu vieme mikrofón kalibrovať podstatne presnejšie. Pri metóde reciprocity sa k jednotke akustického tlaku dostávame nepriamo prostredníctvom akustickej prenosovej impedancie sústavy akusticky viazaných mikrofónov, určenej akustickou impedanciou komôrky, akustickou impedanciou meraných mikrofónov a ďalej prostredníctvom elektrickej prenosovej impedancie sústavy akusticky viazaných mikrofónov. Zmenšenie neistoty určenia citlivosti mikrofónu si preto vyžiadalo i v SMÚ Bratislava zavedenie etalonáže akustickej impedancie mikrofónov ako integrálnej súčasti metódy reciprocity. Využitím metódy reciprocity sa v ústave dosiahlo výrazné zmenšenie neistoty určenia citlivosti mikrofónov a tým aj realizácie jednotky akustického tlaku. Rozšírená relatívna neistota kalibrácie mikrofónu je menšia ako 0,5 % (0,04 dB) vo frekvenčnom rozsahu (63 až 2500) Hz. Opakovateľnosť meraní je lepšia ako 0,05 % (0,004 dB). Rozšírenie frekvenčného rozsahu určenia citlivosti mikrofónov od 20 Hz do 20 kHz sa robí zatiaľ elektrostatickou metódou kalibrácie mikrofónov. Realizované zariadenie primárneho etalónu akustického tlaku, využívajúce metódu reciprocity, sa tak stalo základom pre vyhlásenie slovenského národného etalónu akustického tlaku.

Ďalšie práce na etalóne predstavujú zavedenie kalibrácie etalónových kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 12 mm ako aj rozšírenie frekvenčného rozsahu pod a nad pracovné frekvenčné pásmo. Jednou z perspektívnych metód na spresnenie stanovenia citlivosti kondenzátorových mikrofónov sa javí využitie optickej interferometrickej metódy s vysokým S/N pomerom, kde by sa merala súčasne nielen amplitúda, ale aj fáza akustickej vlny.

1.3 Ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu etalónu

Akustický tlak v tlakovej komôrke- Na národný etalón akustického tlaku sa každoročne v SMÚ Bratislava nadväzujú legislatívou určené meradlá akustického tlaku vo vzdušnom prostredí, a to etalónové mikrofóny, akustické kalibrátory a umelé uši pracovísk sekundárnej etalonáže akreditovaných laboratórií, ako aj mikrofóny, akustické kalibrátory, pistonfóny, zvukomery, filtre, audiometre, hlukové analyzátory, hlukové expozimetre rady ďalších pracovísk z priemyslu, zdravotníctva a hygieny. Proces kalibrácie a overovania sa tým pyramídovite transformuje do všetkých oblastí spojených s akustickým meraním najmä v strojárstve, energetike ako aj pri ochrane životného prostredia a zdravia obyvateľstva. K najväčšiemu

počtu určených meradiel v regulovanej sfére, okrem audiometrov (cca 400 ks), patria zvucomery a filtre. Prehľad konkrétnych metrologických služieb vykonaných za akustiku napr. za rok 2001, ktorý je centrálné evidovaný v oddelení služieb, je v **Tabuľke 1**.

Tabuľka 1. Konkrétny zoznam metrologických služieb laboratória akustiky napr. za rok 2001

Inštitúcia	Kód služby	Cena v Sk	Prístroje
TSÚ Piešťany	316524	14680	M, K 3x
TSÚ Piešťany	317176	3670	útlmová dekáda
TSÚ Piešťany	317177	7340	generátor JFG
TSÚ Piešťany	317511	7340	M 2x
TSÚ Piešťany	316684	12840	multifunkčný kalibrátor
STK Zvolen	316940	6190	M, K
Slovdekra	316555	6190	M, K
AVC Čadca	316270	3670	M
UCD Bratislava	316556	6190	M, K
B&K, s.r.o. Bratislava	317122	5040	M, K
B&K, s.r.o. Bratislava	317706	10680	Z, M, K
Slovnaft	316899	20180	Z, F, M, K
Technický skúšobný ústav Bratislava	317306	20180	Z, F, M, K
Výskumný ústav spojov B. Bystrica	317452	6190	M, K
Vojenský ústav hygieny a epidemiológie, BA	317271	45000	Z 3x, F 2x, M 5x, K
Metal Plast Lipník, ČR	317032	2520	Vz 4x
Chirosan Piešťany	317287	7340	umelé ucho
NOVAMED, B. Bystrica	316862	8810	A
NsP Piešťany	317540	8810	A
DFN Limbová, Bratislava	316683	12110	A

Z zvucomer, M mikrofón, F filter, K kalibrátor, A audiometer, Vz vzorka – meranie pohltivosti

Podľa expertného odhadu je v súčasnosti na Slovensku asi 500 zvucomerov. Každý zvucomer býva obyčajne vybavený filtrom a dvomi mikrofónmi. Každá zvucomerná súprava je spravidla doplnená akustickým kalibrátorom. Počet zvucomerov bude relatívne konštantný, avšak vzniká vlna inovácie prístrojového parku, ktorý je zastaralý. To zvyšuje požiadavky na skúšky typov. Podľa presných údajov jedného z distribútorov zvucomerov na Slovensku len v období od rokov 1999-2000 bolo predaných 30 ks zvucomerov (s príslušenstvom) z počtu 68 dodávok, predmetom ktorých boli ďalšie akustické prístroje a zariadenia (mikrofóny, filtre, expozimetre, analyzátory, snímače vibrácií). Pritom počet distribútorov akustickej techniky je väčší. Ďalší odhad prístrojov je asi 300 ks akustických expozimetrov a 400 ks audiometrov, ktoré je potrebné pravidelne kalibrovať. Tieto prístroje sa používajú v prevažnej miere v oblasti zdravotníctva a hygieny. Tieto merania sa vykonávajú ako úradné merania. V zdravotníctve je v súčasnosti vlna oddeľovania a vytvárania súkromných ambulantných zariadení, ktoré sa snažia vybaviť audiometrami. Nová vlna rozširovania zvucomernej techniky je v súčasnosti v oblasti kontroly motorových vozidiel, kde sa začínajú všetky stanice technickej kontroly vybavovať zvucomermi (Slovdekra s.r.o.) Počet staníc technickej kontroly narastá a zatiaľ nie je ešte ustálený. Tu v dohľadnej dobe počítame s nárastom požiadaviek na overovanie zvucomerov triedy 1 a 2 ako aj kalibráciu mikrofónov. Značný počet zvucomerov používajú autodopravcovia (SAD, dopravné podniky, kamiónová preprava, autocentrá a súkromné autoskúšobne, výrobcovia – Volkswagen, Hyundai, STK), ďalej strojárne, elektrárne, úrady verejného zdravotníctva, nemocnice, lekárske fakulty... Rozširuje sa používanie mikrofónov s nominálnym priemerom 12 mm a požaduje sa kalibrácia týchto mikrofónov so zvýšenou presnosťou. Požaduje sa meranie ďalších parametrov ako sú teplotný a tlakový koeficient citlivosti mikrofónov ako aj presnejšie meranie mikrofónov do oblasti vyšších frekvencií. Uvedené zariadenia sú nadväzované priamo alebo prostredníctvom akreditovaných laboratórií na primárny etalón akustického tlaku. Veľká časť všetkých zvucomerov sa používa v úradoch verejného zdravotníctva pri meraniach slúžiacich k ochrane životného a pracovného prostredia. Celkovo možno odhadnúť, že ročne sa na Slovensku nadväzuje na primárny etalón akustického tlaku asi tisíc

meradiel akustického tlaku vo vzdušnom prostredí vo finančnom objeme metrologických služieb asi 4,5 mil. Sk (SMÚ, akreditované laboratóriá, úrady verejného zdravotníctva, diagnostické firmy, výskumné ústavy, vysoké školy, priemysel, STK, stavebníctvo a ostatné)

Tabuľka č.2. Priemerná hodnota objemu metrologických služieb zabezpečovaných v laboratóriu akustiky je cca 250 tis. Sk/rok.

Tabuľka 2. Hlavní užívatelia

Etalón	Hlavní užívatelia/kalibračné laboratória (HU)					Ostatní užívatelia (významní a drobní)			Prínos etalónu na národné hospodárstvo (SK) (odhad)
	Hlavní užívatelia (HU) Názov a sídlo	Počet MS vykonaných pre HU v SMU	Hodnota MS v SMU (SK)	Počet MS vykonaných hlavnými užívatelmi	Hodnota MS vykonaných HU (SK)	Názov a sídlo užívateľov	Počet MS vykonaných v SMU	Cena MS vykonaných v SMU (SK)	
NE akustického tlaku	TSU Piešťany	9	46 000	500	3 800 000	Podniky	33	130 000	cca. 4 500 000
	Chirosan s.r.o. Vrbové	2	10 000	100	500 000	Nemocnice zdravotníctvo o podniky	3	30 000	

Pri zvažovaní možnosti zabezpečenia nadväznosti priamo na primárne etalóny v zahraničí by náklady na kalibráciu (bez overenia) sa zvýšili na 5 až 10 násobok nákladov na jednu službu. Overovanie určených meradiel v zahraničí nepripadá do úvahy nakoľko overovanie je výhradne predmetom činnosti štátnej správy. Priame náklady za overenie a kalibráciu by bolo pre niektoré inštitúcie (napr. RÚVZ) cenovo nedostupné. Medzi položky nepriamych nákladov, ktoré by zaťažovali tieto inštitúcie by patrili prostriedky na dopravu, ubytovanie, poštovné, atď., nevynímajúc časovú kapacitu. Naopak, evokovalo by sa zníženie výskumných, vývojových a normalizačných kapacít, čo by zase podmienilo zvýšenie nezamestnanosti...

Osobitné postavenie zaujíma audiometria ako akustická disciplína na rozhraní fyziologickej akustiky a elektroakustiky, zaoberajúca sa meraním prahu počutia osôb. Je úzko spätá s ochranou, vyšetrovaním, prevenciou a diagnostikou sluchu. Medzi určené meradlá patria audiometre. Overovanie audiometrov v SR zabezpečujú len SMU Bratislava, ako primárne pracovisko, a Chirosan s.r.o., Vrbové. Merania sa vykonávajú elektricky, ďalej prostredníctvom vzdušného vedenia a pomocou kostného vedenia. Umelý mastoid – zariadenie simulujúce mechanickú impedanciu ľudského mastoidu, sa kalibruje pomocou akcelerometra – snímača mechanického zrýchlenia. Tu je jedno z veľmi blízkych prepojení na oblasť mechanického kmitania a vibrácií, ktoré zatiaľ nie je na primárnej úrovni dobudované.

Akustická impedancia – je určujúca veličina, z ktorej sa vychádza pri presnom stanovení citlivosti mikrofónov metódou reciprocity. Je preto zviazaná aj ekonomicky s etalonážou mikrofónov touto metódou. Dôležitá je pri porovnávacích meraniach so zahraničím, kde sa ekonomická stránka ťažko vyčísluje. Ekonomická využiteľnosť je badateľná až na poslednom stupni pyramídy nadväznosti.

K špeciálnemu meraniu impedancie zaraďujeme i merania impedančných vlastností zvukovopohltivých materiálov. Tieto merania sú potrebné jednak pre automobilový priemysel ako aj na stavebné účely a odhlučnenie strojných zariadení (Technické sklo, Volkswagen, Doprastav, Izomat ...)

Metrológia akustického tlaku má v systéme nadväznosti a kalibrácie meradiel metrologického ústavu každého štátu významné osobitné postavenie, vyplývajúce najmä zo skutočností, že akustický tlak je jedna z najdôležitejších veličín s pomerne jednoduchým a presným meraním, existujúca iba v čase realizácie. V SMÚ Bratislava sa metrológii akustického tlaku venuje

náležitá pozornosť aj z dôvodu metrologického zabezpečenia veľkého počtu určených meradiel, ktoré je potrebné sledovať z dôvodu ochrany životného a pracovného prostredia.

2. Podrobný popis NE akustického tlaku a s ním spojených zariadení.

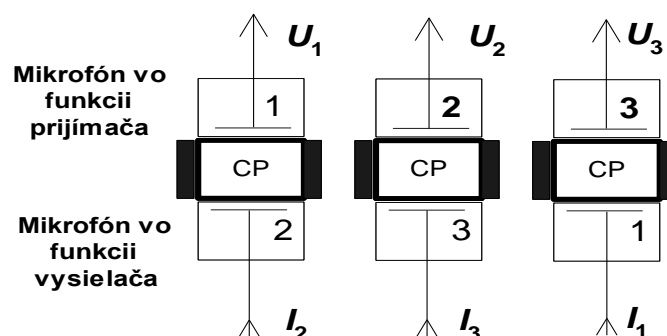
Jedným z najpresnejších spôsobov realizácie jednotky akustického tlaku Pa je realizácia nepriamo kalibráciou etalónových mikrofónov metódou reciprocity. Takto je jednotka uchovávaná prostredníctvom stanovenej citlivosti mikrofónov.

2.1 Všeobecný teoretický opis metódy reciprocity a základný princíp realizácie

Princípy tlakovej kalibrácie metódou reciprocity využívajú ako spojovací akustický člen malú väzbovú komôrku, ktorá môže byť pasívna alebo aktívna. Kalibráciu mikrofónov metódou reciprocity možno vykonať pomocou troch mikrofónov, z ktorých dva musia byť recipročné, alebo pomocným zdrojom zvuku a dvomi mikrofónmi, z ktorých jeden musí byť recipročný. V prípade, ak jeden z mikrofónov nie je recipročný, potom ho je možné použiť len ako akustický prijímač.

2.1.1 Všeobecný princíp použitia troch mikrofónov

Nech sú dva mikrofóny akusticky viazané väzbovou komôrkou. Použijúc jeden z nich ako zdroj (vysielač) zvuku a druhý ako prijímač zvuku, zmeria sa elektrická prenosová impedancia. Ak je známa akustická prenosová impedancia systému môže sa určiť súčin tlakových citlivostí oboch viazaných mikrofónov. Použitím párových kombinácií mikrofónov (1), (2) a (3) obr. 1, je možné získať tri vzájomne nezávislé súčiny, z ktorých môže byť odvodený vzťah pre tlakovú citlivosť pre každý z troch mikrofónov.



Obr. 1 Principiálna schéma použitia párových kombinácií meracích mikrofónov v tlakovej komôrke

Ak označíme elektrickú prenosovú impedanciu $\underline{U}_1/\underline{i}_2$ symbolom $\underline{Z}_{e,12}$, pričom podobné výrazy použijeme pre ďalšie páry mikrofónov, a uvažíme korekcie na tepelnú vodivosť a vyrovnávaciu kapiláru, konečný výraz pre modul tlakovej citlivosti mikrofónu (1) je potom daný ako:

$$|M_{p,1}| = \left\{ \left\| \frac{\underline{Z}_{e,12} \underline{Z}_{e,31}}{\underline{Z}_{e,23}} \right\| \frac{\underline{Z}_{a,23}''}{\underline{Z}_{a,12}'' \underline{Z}_{a,31}''} \left\| \frac{\underline{\Delta}_{c,12} \underline{\Delta}_{c,31}}{\underline{\Delta}_{c,23}} \right\| \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Pre mikrofóny (2) a (3) platia obdobné výrazy.

Fázový uhol tlakovej citlivosti sa pre každý mikrofón určí obdobným postupom z fázového uhla každého člena vyššie uvedeného výrazu.

2.1.2 Všeobecný princíp použitia dvoch mikrofónov a pomocného zdroja zvuku

Najprv sa mikrofóny akusticky zviažu väzbovou komôrkou (obr. 2 a 3) a určí sa súčin tlakových citlivostí. Ďalej sa nechá pôsobiť na oba mikrofóny rovnaký akustický tlak, vytvorený pomocným zdrojom zvuku. Potom pomer výstupných napätí mikrofónov bude rovný pomeru ich tlakových citlivostí. Zo súčinu a pomeru tlakových citlivostí oboch mikrofónov je možné odvodiť vzťah na určenie tlakovej citlivosti každého z nich. Aby sa získal pomer tlakových citlivostí môže byť použitá metóda priameho porovnania a pomocným zdrojom zvuku môže byť tretí mikrofón s odlišnými mechanickými a akustickými vlastnosťami ako majú kalibrované mikrofóny.

Ak sa použijú len dva mikrofóny a pomocný zdroj zvuku je výsledný vzťah pre modul tlakovej citlivosti daný:

$$|M_{p,1}| = \left\{ \frac{M_{p,1} Z_{e,12}}{M_{p,2} Z_{a,12}} \Delta_C \right\}^{\frac{1}{2}},$$

kde sa pomer tlakových citlivostí meria porovnaním výstupných napätí mikrofónov pri súčasnom pôsobení pomocného zdroja zvuku.



Obr. 2 Krátka aktívna väzbová komôrka



Obr. 3 Dva akusticky zviazané mikrofóny

Všeobecne je teória metódy reciprocity popísaná v norme STN EN 61094-2 Meracie mikrofóny Časť 2: Primárna metóda na tlakovú kalibráciu laboratórných etalónových mikrofónov metódou reciprocity.

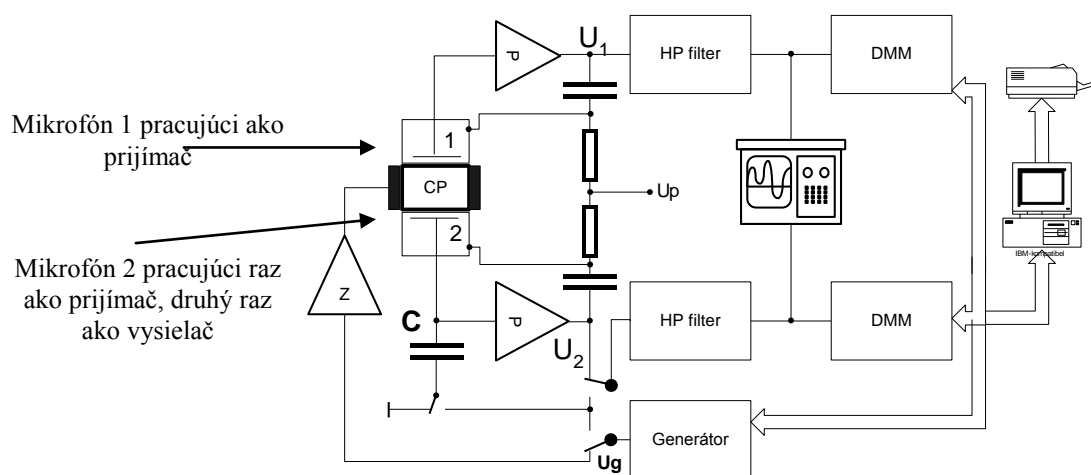
2.1.3 Princíp činnosti a opis NE akustického tlaku SMU

Podrobnejší opis a princíp činnosti NE akustického tlaku je v PP19/2250/02 Pracovný postup na kalibráciu meracích mikrofónov a v publikácií Brinkmann K., Obermayr K., Lager G.: Die Bestimmung des Druck-Lehrlauf- Übertragungsmaßes von 1-Zoll-Kondensator- mikrofönen in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. PTB Bericht, März 1984. Pre účely revízie etalónu, preto len v stručnosti, modifikovaná metóda reciprocity s aktívnou komôrkou z piezokeramiky je opísateľná nasledovne.

Zariadenie národného etalónu akustického tlaku č. 019/99 využíva pre svoju činnosť modifikovanú metódu reciprocity založenú na kalibrácii dvoch kondenzátorových mikrofónov

s využitím pomocného zdroja akustického tlaku.. Využíva sa skutočnosť, že niektoré elektroakustické meniče sú recipročné, to znamená, že môžu pracovať aj ako prijímač zvukového vlnenia (mikrofón) aj ako vysielač zvukového vlnenia (reproduktor). Pre takýto elektroakustický menič platí, že prenosový člen v štvorpólových rovniciach postupným (dopredným) a spätným smerom je rovnaký.

Zdroj akustického tlaku predstavuje jednak aktívna meracia komôrka, jednak jeden z mikrofónov (2). Celú zostavu etalónu obr. 4 tvorí vlastná meracia komôrka, v ktorej je zabudovaný piezoprstenec CP, ktorou sú akusticky viazané dva kalibrované mikrofóny (1) a (2). Tieto sú cez predzosilňovače P a infrazvukové HP filtre (100 Hz hornofrekvenčné priepuste) pripojené na číslicové voltmetre DMM. Meracia komôrka v aktívnom stave je cez zosilňovač napájaná signálom U_g z generátora. Zostavu dopĺňa riadiaca jednotka, ktorou sa môže meniť elektrickým prepínaním funkcia mikrofónu z prijímača na vysielača a opačne. Celá zostava je riadená počítačom. Využitie aktívnej komôrky a špeciálnych mikrofónových predzosilňovačov umožnilo celý merací proces automatizovať.



Obr. 4 Principiálna schéma zapojenia zariadení NE akustického tlaku

Výstup je citlivosť resp. hladina citlivosti mikrofónov vstupujúcich do merania. Jednotka akustického tlaku Pa je obsiahnutá v citlivosti etalónového mikrofónu, ktorá udáva veľkosť výstupného napätia z mikrofónu naprázdno na jednotku akustického tlaku.

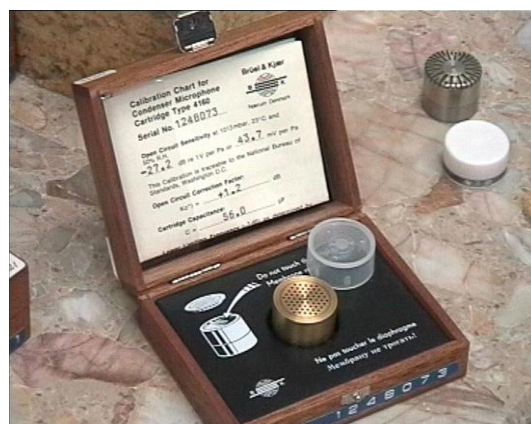
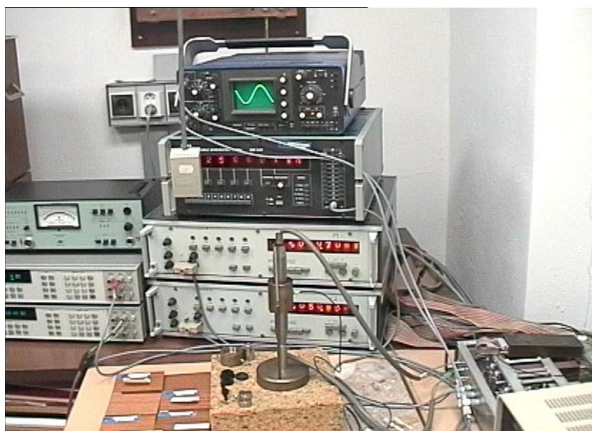
Nedeliteľnou operáciou kalibrácie mikrofónov je meranie akustickej impedancie metódou merania elektrickej impedancie mikrofónov pri akustickom skratovaní vstupnej akustickej časti mikrofónu (ekvivalentný objem mikrofónu). Meraciu zostavu pre meranie elektrickej impedancie mikrofónov tvorí kapacitný most a prípravok pre zakončovanie mikrofónu vlnovodom $\lambda/4$ pre meranie impedancie v rozsahu frekvencií od 200 Hz do 100 kHz.

Efektívny objem mikrofónu sa meria porovnávacou metódou s etalónovými geometrickými objemami pevných náhrad mikrofónov. Zariadenie pre meranie efektívneho objemu tvorí merací prípravok s meracou komôrkou budenou aktívnym kondenzátorovým mikrofónom. Do komôrky sa umiestňujú mikrofónové náhrady s definovaným geometrickým objemom. Hodnota akustického tlaku sa indikuje meracou mikrofónovou sondou. Zariadenie dopĺňa generátor a merací zosilňovač s číslicovým voltmetrom. Meranie je poloautomatizované.

2.2 Zmena v zostave od vyhlásenia etalónu:

V priebehu riešenia úloh na uchovávaní a zdokonaľovaní NE akustického tlaku od jeho vyhlásenia sa nahradzovali zastaralé meracie prístroje novšími, prípadne presnejšími. Zostava bola doplnená resp. nahradená o číslicový voltmeter Solartron 7081, číslicový barometer

DRUCK typ DPI-141, dvojkanálový teplomer Testo 650 so snímačom vlhkosti a teploty a so snímačom teploty Pt 100, dvojkanálový teplomer Testo 950 so snímačom teploty Pt 100, pásmový priepust Brüel & Kjær typ 1617, merací zosilňovač Brüel & Kjær 2610, generátor sínusového napätia s ultra nízkym skreslením Stanford Research System Model DS 360 a etalón kapacity 47 pF.



Obr. 5 Zmena DMM v zostave NE akustického tlaku Obr. 6 Meracie mikrofóny typu LS 1 B&K 4160

2.3 Použité zariadenie pri kalibrácii mikrofónov

Zostava národného etalónu akustického tlaku obsahuje :

2.3.1 Etalónové zariadenie na meranie citlivosti mikrofónov metódou reciprocity, ktoré tvoria nasledovné prístroje:

1. Aktívna meracia komôrka (priemer 18,6 mm; nominálny objem 3 cm³; vlastné vyhotovenie) – vlastná kalibrácia
2. Kondenzátorové mikrofóny Brüel & Kjær Typ 4160, v.č.1248073, 1144841 (tlaková hladina citlivosti naprázdno -27,2 dB pri 250 Hz; záložné v.č. 1560028, 1560029, na prenos veličiny Typ B&K 4144 v.č. 2118521) – vlastná kalibrácia + medzinárodné porovnávacie meranie
3. Mikrofónové predzosilňovače (napät'ový prenos zo zdroja napätia s vnútornou impedanciou kapacitného charakteru od 40 pF do 60 pF min. 0,998; vlastné vyhotovenie) so zabudovaným meracím kondenzátorom C kapacity 58,18 pF ± 0,02 pF – vlastná kalibrácia
4. Hornopriepustné HP filtre (od 100 Hz vyššie, útlm - 0,17 dB pri 250 Hz; - 0,038 dB pri 1 kHz; vlastné vyhotovenie) – vlastná kalibrácia
5. Prepínacia jednotka (vlastné vyhotovenie)
6. Programovateľný generátor sínusového napätia TESLA BM 536, v.č.115798 (frekvenčný rozsah od 50 Hz do 10 000 Hz, amplitúdová stabilita 0,01 mV/10 min., frekvenčná stabilita 10⁻⁸/deň) – vlastná kalibrácia
7. Číslkové voltmetre AC Hewlett- Packard HP 3458A, v.č. 2823A 18862, 2823A 18868 (rozsah 10 mV až 10 V, neistota merania 0,05 %) – kalibrácia centrom SMU 240
8. Číslkový voltmeter DC Metra MIT 330, v.č.6295480 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) (doplňkový voltmeter Solartron 7081, neistota 0,003 V) – kalibrácia centrom SMU 240
9. Osciloskop TESLA BM 566A v.č. 801575
10. Počítač PC v.č.0431112 + monitor v.č.10000334 + tlačiareň v.č. OERE 031369

11. Číslicový barometer DRUCK typ DPI-141 v.č. 624/98-09 (rozsah od 80 kPa do 110 kPa s neistotou merania 15 Pa) (doplnkový tlakomer METRA v.č.89271) – kalibrácia centrom SMU 220
12. Dvojkanálový teplomer Testo 650 v.č. 00129179 so snímačom vlhkosti a teploty v.č. 0636.9741 (merací rozsah od 0 % do 100 %, rozšírená neistota 1,2 %) a so snímačom teploty Pt 100 v.č. 0628.0019 (rozšírená neistota 0,02 °C) – kalibrácia centrom SMU 270

2.3.2 Zostava zariadenia pre určenie akustickej impedancie mikrofónov pozostáva zo zariadení:

- A) zariadenie na meranie efektívneho objemu mikrofónov (efektívny objem je daný súčtom predmembránového a ekvivalentného objemu),
- B) zariadenie na meranie elektrickej impedancie mikrofónov pri skratovanom akustickom vstupe mikrofónu

Add. A Zariadenie na meranie efektívneho objemu mikrofónov tvorí:

1. Prípravok so zdrojovou časťou a držiakom mikrofónu (uchytenie mikrofónu s tienením podľa normy STN EN 61094-1, vlastné vyhotovenie)
2. Sada etalónových zaslepovacích zátok obr. 7 s definovaným objemom (vlastné vyhotovenie) – kalibrácia Kontroltech s.r.o.
3. Merací mikrofón Brüel & Kjær typ 4160 v.č.1248072 ako zdroj zvuku
4. Mikrofónová sonda s priemerom 2 mm s tlakovým mikrofónom nominálneho priemeru 12 mm Brüel & Kjær typ 4134, v.č. 49842 + predzosilňovač B&K 2645T v.č.1648615
5. Merací zosilňovač Brüel & Kjær typ 2610, v.č. 2002708 (polarizačné napätie 200,00 V \pm 0,01 V) – vlastná kalibrácia
6. Pásmový priepust Brüel & Kjær typ 1617 v.č.246893
7. Generátor sínusového napätia s ultra nízkym skreslením Stanford Research System Model DS 360 v.č.33666 (skreslenie THD -100 dB, frekvenčná stabilita 0,0025 – vlastná kalibrácia
8. Digitálny voltmeter Schlumberger Solartron 7081, v.č. 001502, (neistota merania 0,00001 V) - kalibrácia centrom SMU 240
9. Číslicový voltmeter DC Metra M1T 330, v.č.6441407 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) – kalibrácia centrom SMU 240
10. Čítač frekvencie Tesla BM 641, v.č. 803989 – kalibrácia centrom SMU 210



Obr. 7 Sada etalónových zaslepovacích zátok Obr. 8 Časť zariadenia pod Add.. B (bod 1. a 2.)

Add. B Zariadenie na meranie elektrickej impedancie mikrofónov pri skratovanom akustickom vstupe mikrofónu tvorí:

1. Prípravok so zdrojovou časťou a držiakom mikrofónu obr. 8 (uchytenie mikrofónu s tienením podľa normy STN EN 61094-1, vlastné vyhotovenie)
2. Vlnovod $\lambda/4$ obr. 8 (priemer 18,6 mm, dĺžka min. 80 mm, vlastné vyhotovenie) s mikrometrickou skrutkou Mitutoyo v.č. 44595 – vlastná kalibrácia (delenie stupnice – Kontroltech s.r.o.)
3. Posuvné meradlo Somet v.č. 3o00422 (rozšírená neistota 0,02 mm)- kalibrácia SLM, n.o.
4. Kapacitný most- presný LCR merač Quad Tech 7400- CE, v.č.7305302 (frekvenčný rozsah od 5 Hz do 500 kHz, neistota merania 0,1 %) – kalibrácia centrom SMU 240
5. Etalón kapacity 47 pF Keithley Instruments Model 5905 diel 5900-301-5 v.č. 771 779 (neistota kapacity 0,05 %, neistota stratového činiteľa 0,0005) (10 pF GR 1404-C v.č. 2379 - etalón centra SMU 240) – kalibrácia ČMI Brno
6. Číslcový voltmeter DC Metra M1T 330, v.č.6441407 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) – kalibrácia centrom SMU 240
7. Čítač frekvencie Tesla BM 641, v.č. 803949 – kalibrácia centrom SMU 210
8. Dvojkanálový teplomer Testo 950 v.č. 00129629 so snímačom teploty Pt 100 v.č. 0628.0016 (10015143) (merací rozsah od -100 °C do +300 °C, rozšírená neistota 0,02 °C) – kalibrácia centrom SMU 270
9. Merač vlhkosti Assmanov psychrometer v.č. 501/85 – kalibrácia centrom SMU 270

3.Špecifikácia metrologických vlastností národného etalónu akustického tlaku

Špecifikácia a metrologické vlastnosti NE akustického tlaku vyplývajú z metódy kalibrácie meracích kondenzátorových mikrofónov. Pre metódu reciprocitu v aktívnej tlakovej komôrke s piezoprstencom použitú v SMU potom vyplývajú následné parametre.

Základné metrologické parametre:

Nominálny priemer kalibrovaných mikrofónov	23,77 mm (24 mm)
Nominálna citlivosť etalónových mikrofónov	47 mV/Pa
Rozsah kalibrácie hladiny citlivosti (citlivosti) meracích kondenzátorových mikrofónov metódou reciprocitu	(-28,00 až -24,00) dB ref. 1 V/Pa, čo zodpovedá (40 až 65) mV/Pa
Frekvenčný rozsah kalibrácie mikrofónov	(63 až 2500) Hz

Kapacita meracieho kondenzátora	(58,18 ± 0,02) pF
Nominálny akustický tlak v komôrke	cca 1 Pa
Objem meracej komôrky	(3030,4 ± 0,2) mm ³
Hodnoty objemov zátok 24 mm mikrofónových náhrad	(642,8 ± 0,2) mm ³ (666,8 ± 0,2) mm ³ (693,8 ± 0,2) mm ³ (737,3 ± 0,2) mm ³
Polarizačné napätie	(200,00 ± 0,02) V
Štandardná neistota typu A u_A	0,002 dB
Štandardná neistota typu B u_B	0,02 dB
Rozšírená neistota kalibrácie hladiny citlivosti mikrofónu U ($k=2$)	0,04 dB

3.1 Etalónové kondenzátorové mikrofóny B&K 4160

Špecifikácia výrobcu

Typ B&K 4160	1248073	1144841
Hladina citlivosti naprázdno pri referenčných podmienkach	-27,2 dB	-27,2 dB
Citlivosť naprázdno pri referenčných podmienkach	43,7 mV/Pa	43,7 mV/Pa
Korekčný faktor	+1,2 dB	+1,2 dB
Kapacita mikrofónovej vložky	56,0 pF	55,8 pF
Ekvivalentný objem	0,15 cm ³	0,14 cm ³
Rezonančná frekvencia	8,5 kHz	8,5 kHz
Tlakový koeficient	-0,016 dB/kPa	-0,016 dB/kPa
Teplotný koeficient	-0,003 dB/°C	-0,003 dB/°C
Koeficient relatívnej vlhkosti	0,000025 dB/%	0,000025 dB/%
Polarizačné napätie	200 V	200 V
Časová stálosť citlivosti	< 0,001 dB/rok	< 0,001 dB/rok

Namerané hodnoty použité v databáze z medzinárodného porovnávacieho merania COOMET

Typ B&K 4160	1248073	1144841
Hladina citlivosti naprázdno pri referenčných podmienkach	-27,242 dB	-27,147 dB
Citlivosť naprázdno pri referenčných podmienkach	43,44 mV/Pa	43,92 mV/Pa
Kapacita mikrofónovej vložky pri 250 Hz	55,96 pF	55,73 pF
Kapacita mikrofónovej vložky pri 100 kHz	49,87 pF	49,65 pF
Rezonančná frekvencia	8,1 kHz	8,23 kHz
Stratový činiteľ membrány pri rezonančnej frekvencii	0,0985	0,0983
Efektívny objem	0,662 cm ³	0,662 cm ³
Polarizačné napätie	200 V	200 V

Výsledok kalibrácie etalónových mikrofónov SMU typ B&K 4160 z porovnávacieho merania č. 226/DE/01 v rámci COOMETu s PTB Braunschweig (CCAUV.COOMET.AUV.A-K1):

Namerané hodnoty hladiny tlakovej citlivosti mikrofónov sú korigované na referenčné podmienky okolia: statický tlak 101325 Pa a teplota 23 °C.

Frekvenčná charakteristika:

Frekvencia (Hz)	Mikrofón B&K 4160 1248073		Mikrofón B&K 4160 1144841	
	Hladina tlakovej citlivosti L_M voči 1 V/Pa (dB)	Rozšírená neistota kalibrácie U (dB)	Hladina tlakovej citlivosti L_M voči 1 V/Pa (dB)	Rozšírená neistota kalibrácie U (dB)
63	-27,149	0,04	-27,065	0,04
80	-27,172	0,04	-27,084	0,04
100	-27,190	0,04	-27,103	0,04
125	-27,203	0,04	-27,115	0,04
160	-27,217	0,04	-27,128	0,04
200	-27,225	0,04	-27,139	0,04
250	-27,232	0,04	-27,141	0,04
315	-27,238	0,04	-27,146	0,04

400	-27,241	0,04	-27,148	0,04
500	-27,241	0,04	-27,149	0,04
630	-27,246	0,04	-27,149	0,04
800	-27,230	0,04	-27,15	0,04
1000	-27,227	0,04	-27,127	0,04
1250	-27,192	0,04	-27,102	0,04
1600	-27,144	0,04	-27,061	0,04
2000	-27,086	0,04	-27,005	0,04
2500	-26,994	0,05	-26,914	0,05

Akustické impedančné parametre meracích mikrofónov typ B&K 4160 sú:

	Mikrofón B&K 4160 1248073		Mikrofón B&K 4160 1144841	
Predmembránový objem	$5,41 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$	$U_{Veqrel} = 2 \%$	$5,38 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$	$U_{Veqrel} = 2 \%$
Ekvivalentný objem	$1,23 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$	$U_{Veqrel} = 8 \%$	$1,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$	$U_{Veqrel} = 8 \%$
Akustická poddajnosť	$8,65 \cdot 10^{-13} \text{ m}^4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2$	$U_{crel} = 3 \%$	$8,78 \cdot 10^{-13} \text{ m}^4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2$	$U_{crel} = 3 \%$
Akustická hmotnosť	$446 \text{ m}^{-4} \text{ kg}$	$U_{mrel} = 8 \%$	$426 \text{ m}^{-4} \text{ kg}$	$U_{mrel} = 8 \%$
Akustický odpor	$2,51 \cdot 10^6 \text{ m}^{-4} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$	$U_{rrel} = 12 \%$	$2,45 \cdot 10^6 \text{ m}^{-4} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$	$U_{rrel} = 12 \%$
Rezonančná frekvencia	8,1 kHz	$U_{frel} = 1,5 \%$	8,23 kHz	$U_{frel} = 1,5 \%$
Stratový činiteľ membrány	0,0985 (-)	$U_{tgrrel} = 13 \%$	0,0983 (-)	$U_{tgrrel} = 13 \%$

3.2 Kapacita etalónov kapacity

Etalón kapacity 47 pF Keithley Instruments Model 5900 v.č. 771779, teplotný koeficient $k_t=1,5 \text{ e-4/K}$ ($0,014\%/\pm^\circ\text{C}$)

Frekvencia (Hz)	Kapacita (pF)	Činiteľ strát (-)	Test. napätie (V)
250	$47,830 \pm 0,024$	$0,0003 \pm 0,0005$	1
1000	$47,79745 \pm 0,0010$	$0,000358 \pm 0,000050$	15
1000	$47,80594 \pm 0,0010$	-	1,5
10000	$47,790 \pm 0,014$	$0,0004 \pm 0,0005$	1
100000	$47,764 \pm 0,014$	$0,0003 \pm 0,0005$	1

Etalón kapacity 10 pF General Radio GR1404-C v.č. 2379, teplotný koeficient $k_t=5 \text{ e-6/K}$

Frekvencia (Hz)	Kapacita (pF)	Činiteľ strát (-)	Test. napätie (V)
250	$10,002 \pm 0,005$	$0,000 \pm 0,005$	1
1000	$10,000166 \pm 0,000050$	$0,0000024 \pm 0,000003$	15
1000	$10,000168 \pm 0,000050$	-	1,5
10000	$9,9992 \pm 0,0030$	$0,00002 \pm 0,0005$	1
100000	$9,9988 \pm 0,0030$	$0,0003 \pm 0,0005$	1
250000	$9,9976 \pm 0,0030$	$0,0006 \pm 0,005$	1
400000	$10,0005 \pm 0,0030$	$0,000 \pm 0,005$	1

3.3 Bilancia neistôt

Štandardná neistota typu A kalibrácie hladiny tlakovej citlivosti mikrofónu je 0,002 dB.

Zhrnutie jednotlivých čiastkových neistôt typu B stanovenia citlivosti mikrofónov meraných metódou reciprocity do bilančnej tabuľky:

Veličina	Odhad	Rozdelenie	Neistota zdroja určenia príslušnej veličiny u_j	Prevodový koeficient $A_{x,zj}$ (mV.Pa ⁻¹ /rozmerveličiny)	Príspevok neistoty určenia citlivosti príslušnou veličinou $u_{M,zj}$ (mV/Pa)
Elektrické napätie U(mV) $\{u_{M,U}\}$	50	rovnomerné	0,20 mV	0,5 Pa ⁻¹	0,0036
Kapacita meracieho kondenzátora C_{mer} (pF) $\{u_{M,Cmer}\}$	58	normálne	0,006 pF	-0,43 mV.Pa ¹ .pF ⁻¹	0,0026
Hustota vzduchu ρ (kg/m ³) $\{u_{M,\rho}\}$	1,171	rovnomerné	0,002 kg/m ³	-21,35mV.m ³ .Pa ⁻¹ .kg ⁻¹	0,033
Rýchlosť šírenia sa zvuku c (m/s) $\{u_{M,c0}\}$	346,18	rovnomerné	0,28 m/s	-0,073 mV.s.m ⁻¹ .Pa ⁻¹	0,0203
Prierez komôrky S (mm ²) $\{u_{M,S}\}$	271,72	rovnomerné	0,16 mm ²	0,092mV.mm ⁻² .Pa ⁻¹	0,015
Ekvivalentná dĺžka komôrky l_e (mm) $\{u_{M,l_e}\}$	15,825	rovnomerné	0,052 mm	-1,6 mV.mm ⁻¹ .Pa ⁻¹	0,083
Meracia frekvencia f (Hz) $\{u_{M,f}\}$	2500	normálne	0,000125 Hz	-0,0201 mV.Hz ⁻¹ .Pa ⁻¹	0,000025
Korekcia na tlak $\{u_{M,kp}\}$	1,0018	normálne	-0,000018 1/Pa	1000 mV	0,0184
Korekcia na teplotu $\{u_{M,kt}\}$	1,00035	normálne	-0,0000035 1/°C	1000 mV.°C.Pa ⁻¹	0,0035
Polarizačné napätie U_p (V) $\{u_{M,U_p}\}$	200	rovnomerné	0,029 mV	0,013 mV/Pa/V	0,00035
Tepelná vodivosť v dutine komôrky k_{HCG} $\{u_{M,kHCG}\}$	1,0176	rovnomerné	0,0000032	50 mV.Pa ⁻¹	0,00016
Zlúčená neistota typu B (mV/Pa) $\{u_{B,M}\}$					0,10
Zlúčená neistota typu B v (dB)					0,018

3.4 Prenos veličiny

NE akustického tlaku slúži na nadviazanie ostatných etalónov a pracovných meradiel akustického tlaku podľa schémy nadväznosti TPM 5400 - 96.

Prehľad odovzdávania hodnoty príslušnej jednotky (stupnice) na ostatné meradlá:

Veličina	Meradlo	Minimálna ÷ maximálna hodnota	Parameter	Špecifikácia parametra	Rozšírená neistota (k=2) (dB)	Metóda
hladina tlakovej citlivosti	mikrofóny LS1	(-28 – -24) dB re 1V/Pa	frekvencia	(63 – 2500) Hz	0,04	reciprocitná v aktívnej kom.
hladina tlakovej citlivosti	mikrofóny LS1	(-28 – -24) dB re 1V/Pa	frekvencia	(63 – 2500) Hz	0,06	porovnávací v aktívnej kom.
hladina relatívnej tlakovej citlivosti	mikrofóny LS1	(-28 – -24) dB re 1V/Pa	frekvencia	(20 – 20000) Hz	0,15	elektrostatická

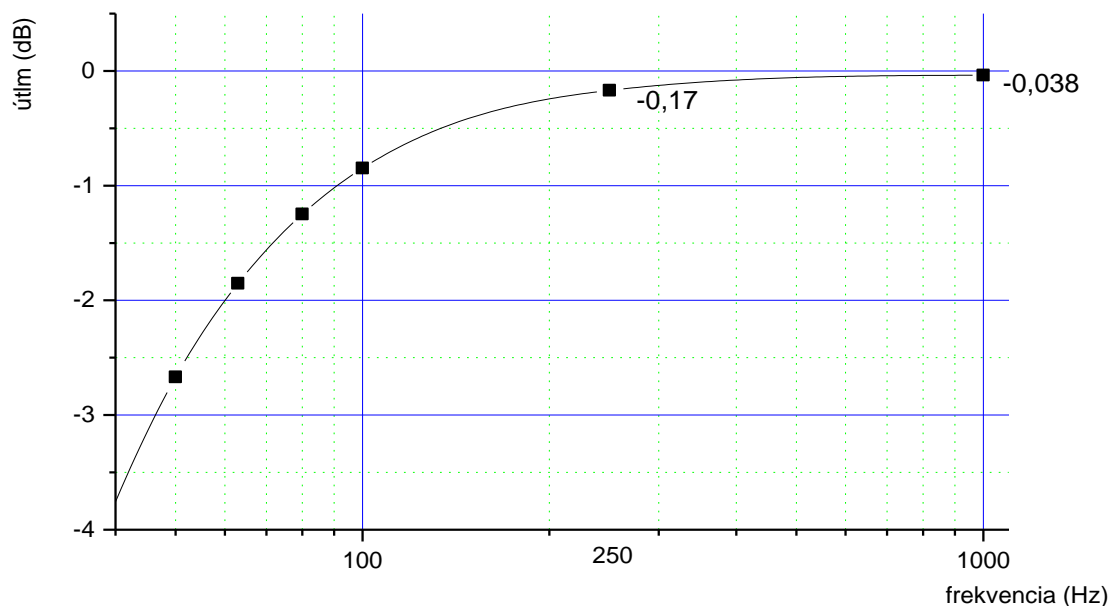
hladina tlakovej citlivosti	mikrofóny LS2	(-40 – -34) dB re 1V/Pa	frekvencia	(63 – 2500) Hz	0,1	porovnávacia v aktívnej kom.
hladina relatívnej tlakovej citlivosti	mikrofóny LS2	(-40 – -34) dB re 1V/Pa	frekvencia	(20 – 20000) Hz	0,1– 0,5	elektrostatická
hladina akustického tlaku v dutine pistonfónu	pistonfóny	(90 – 125) dB re 20 μ Pa	frekvencia	250 Hz	0,09	priame meranie v komôrke
hladina akustického tlaku v dutine kalibrátora	akustické kalibrátory	94; 114; 124dB re 20 μ Pa	frekvencia	1 kHz	0,2	priame meranie v komôrke
hladina elektrického napätia zodpovedajúca hladine akustického tlaku	zvukomery	(10 – 130) dB re 20 μ Pa	frekvencia	(20 – 20000) Hz	0,3 pri 1 kHz	elektrická
hladina akustického tlaku	umelé ucho, ak. spojka	94 dB re 20 μ Pa	frekvencia	(125 – 8000) Hz	0,3 – 0,4	porovnanie s ref. uchom
hladina akustického tlaku v umelom uchu	audiometre	(-10 – 120) dB re 20 μ Pa	frekvencia	(125 – 8000) Hz	0,7 – 1,5	umelé ucho, akustic. spojka

V prípade použitia NE akustického tlaku na kalibráciu akustických kalibrátorov a pistonfónov priamym meraním hladiny akustického tlaku v dutine týchto akustických generátorov je potrebné buď hardvérovou prepojiť HP filter v meracom reťazci kanála B alebo vziať v úvahu frekvenčnú charakteristiku tohto filtra, ktorý je potrebný na elimináciu rušení v oblasti infrazvuku pochádzajúcich zo zdrojov v laboratóriu alebo vonkajších zdrojov.

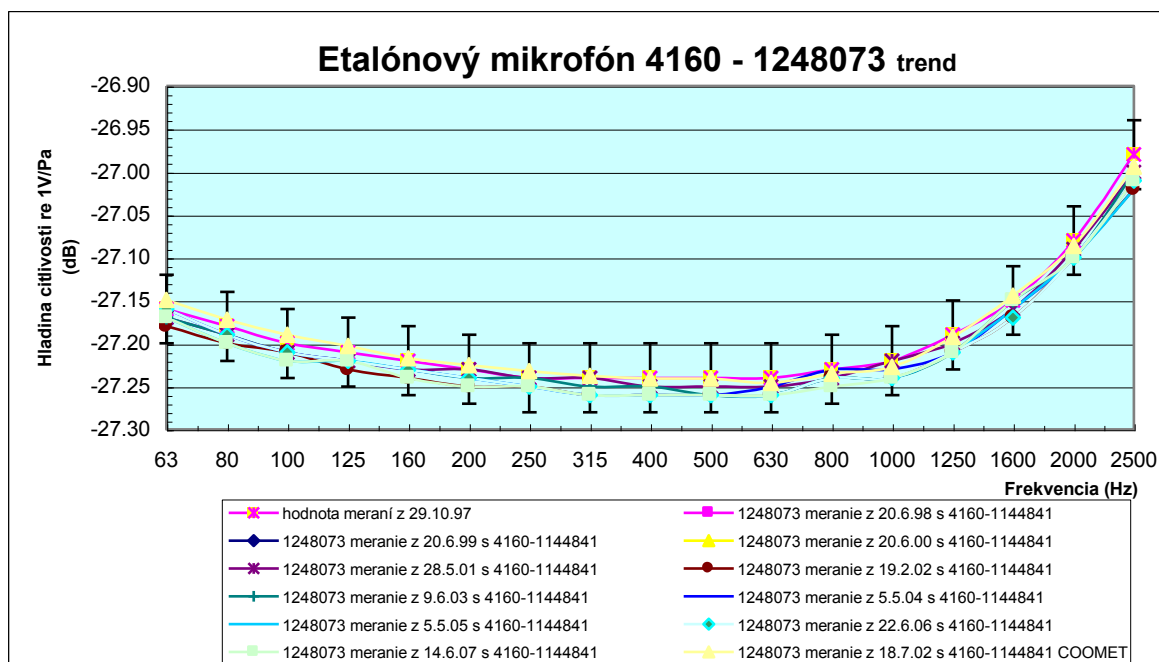
Grafický priebeh frekvenčnej charakteristiky 100 Hz hornofrekvenčnej priepuste jedného z filtrov vloženého do meracieho reťazca zostavy NE akustického tlaku pri kalibrácii hladiny akustického tlaku v dutine akustického kalibrátora, prípadne pistonfónu.

Frekvencia (Hz)	50	63	80	100	250	1000
Útlm (dB)	-2,669	-1,852	-1,249	-0,848	-0,170	-0,038

Frekvenčná charakteristika HP filtra použitého v meracom reťazci NE akustického tlaku pri meraní hladiny akustického tlaku v dutine akustického kalibrátora



Trend tlakovej citlivosti mikrofónu B&K 4160 v.č. 1248073 v priebehu rokov 1997-2007 vo frekvenčnom rozsahu od 63 Hz do 2500 Hz znázorňuje graf.



4. Prehľad výsledkov výskumu a vývoja a medzinárodných porovnaní.

4.1 Prehľad vývoja etalónu akustického tlaku

Práce na príprave budovania primárneho etalónu akustického tlaku sa začali ešte v rokoch, keď sa hodnotili možnosti aké boli v bývalom ČSMÚ v oblasti merania mikrofónov. V roku 1973 sa v ČSMÚ merali mikrofóny s neistotou 0,2 dB. Preto sa v roku 1974 sa v úlohe (6.1.2) riešilo zmenšenie neistoty kalibrácie mikrofónov metódou reciprocity použitím induktívnych deličov na 0,15 dB pri 400 Hz s opakovateľnosťou lepšou ako 0,05 dB. Bolo použité kalibračné zariadenie Brüel & Kjær typ 4142. Meranie a vyhodnocovanie bolo mimoriadne zdĺhavé a neoperatívne (trvalo niekoľko dní).

V rokoch 1975 až 1978 sa vybuďoval primárny etalón akustického tlaku metódou pistonfónu s diferenciálnym piestom (6.1.3). Metóda umožnila v danom období merať mikrofóny efektívnejšie a presnejšie. Dosahovaná neistota kalibrácie mikrofónov bola 0,1 dB pri frekvencii 250 Hz s opakovateľnosťou merania lepšou ako 0,03 dB. Avšak táto metóda nebola perspektívna na to, aby takto realizovaný etalón bol vyhlásený za štátny. Naviac etalón bol závislý na štátnom etalóne priamočiareho mechanického kmitania. Etalón akustického tlaku nemal totiž autonómny spôsob merania výchyľky piestu. Preto v rokoch 1983 až 1985 bol primárny etalón akustického tlaku, realizovaný metódou pistonfónu, nahradený pôvodnou automatizovanou metódou reciprocity využitím aktívnej meracej komôrky (6.1.4, 6.1.5).

V roku 1988 sa zaviedlo meranie akustickej impedancie mikrofónov v ČSMÚ (6.1.7), čím sa zabezpečilo zvýšenie presnosti kalibrácie mikrofónov metódou reciprocity v rozsahu frekvencií od 63 Hz do 2500 Hz. Bola uskutočnená séria porovnávacích meraní ČSMÚ s NPL a PTB (6.4.1, 6.4.3), ktoré potvrdili, že dosiahnutá neistota kalibrácie mikrofónov v ČSMÚ je lepšia ako 0,05 dB (svetová úroveň dosahovaných neistôt je 0,03 dB do frekvencie 1 kHz a 0,1 dB do frekvencie 10 kHz). Automatizácia meracieho procesu metódou reciprocity umožnila tento merací proces časovo neobvykle skrátiť, napriek zmnohonásobeniu vlastného počtu meraní, čím sa značne zmenšil vplyv zmien parametrov okolia a zredukoval sa tiež vplyv rušivého infrazvuku na meranie a vyhodnocovanie výsledkov merania. To priaznivo

ovplyvnilo celkovú výslednú neistotu určenia citlivosti mikrofónov. Na dosiahnutú presnosť priaznivo pôsobí aj to, že použitá modifikácia metódy reciprocity s dvomi mikrofónmi a pomocným zdrojom zvuku (aktívna komôrka) vnáša do vyhodnocovania menej zdrojov chýb. Vo vyhodnocovanom vzťahu vystupuje oproti vzťahu pre tri mikrofóny menej členov, ktoré sú zdrojom chýb.

V roku 1990 sa úspešnou oponentúrou ukončil v SMÚ výskum v oblasti kalibrácie meracích kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm metódou reciprocity a etalón bol pripravený pre vyhlásenie ako Česko-Slovenský štátny etalón akustického tlaku (6.1.8).

Nasledovala séria vlastných meraní so sledovaním časovej stability a reprodukovateľnosti výsledkov merania ako aj meraní v rámci prenosu a odovzdávania hodnôt veličiny na sekundárne etalóny, ktorá vyvrcholila v roku 1997 a 1998, keď sa uskutočnili dve významné medzinárodné porovnávacie merania opäť s PTB Nemecko a s DPLA (Danish Primary Laboratory of Acoustics). Výsledky týchto meraní boli použité na vyhlásenie národného etalónu akustického tlaku v roku 1999. Medzitým etalón prešiel niekoľkonásobnou softwareovou a hardwareovou upgradáciou. Bola odskúšaná metóda merania rezonančnej frekvencie meraním fázového posunu medzi akustickým tlakom pôsobiacim na membránu a výstupným napätím z mikrofónu naprázdno. Membrána bola budená elektrostatickým aktuátorom umiestneným v štvrt'vlnovom uzavretom vlnovode, ktorý akusticky zakončoval meraný mikrofón. Taktiež sa zisťovali vplyvy vlastných módov aktívnej komôrky použitím komôrky inej ekvivalentnej dĺžky. Množstvo výskumných prác prebehlo meraním a určením tlakovej citlivosti použitím termodynamických empirických vzťahov na tepelnú vodivosť v aktívnej uzavretej komôrke podľa Rietyho. Výsledky medzinárodných porovnávacích meraní však určovali použitie vhodnejších korekčných súčiniteľov na tepelnú vodivosť podľa Gerbera.

Výsledky medzinárodných meraní z rokov 1997 a 1998 postúpili na spracovanie v rámci Eurometu do centrálného laboratória v NPL, ktoré ich zapracovalo do kľúčového porovnávacieho merania v rámci Projektu P 399 EUROMET.A-K1. Spracovanie výsledkov prebiehalo temer osem rokov a v roku 2005 bol k dispozícii výsledok, ktorý zabezpečil prepojenie výsledkov merania NE akustického tlaku SMU č. 019/99 na výsledky ostatných svetových laboratórií. Tým získala metóda reciprocity s dvoma mikrofónmi a aktívnou komôrkou zadosťučinenie. Na frekvencii 250 Hz je hodnota odchýlky od referenčnej hodnoty kľúčového porovnávacieho merania iba 0,003 dB a vo frekvenčnom rozsahu od 125 Hz do 2000 Hz je 0,022 dB. Prostredníctvom hodnôt KCRV (key comparison reference value) dovoľujú výsledky meraní prepojenie laboratória akustiky SMU na databázu meraní BIPM v Sevres.

Výsledky projektu P 399 boli získané na základe merania striedavého napätia na etalóne akustického tlaku pomocou digitálnych voltmetrosov RFT typ G-1212.010 z roku 1978. Tieto voltmetre boli v priebehu roku 1998 nahradené presnejšími voltmetrami HP 3458 A. Tento prístrojový upgrade inicioval vykonanie nových sérií meraní, ktoré vrcholili zapojením sa laboratória akustiky do medzinárodného porovnávacieho merania č. 226/DE/01 v rámci COOMETu. Merania boli uskutočnené v roku 2002, pričom oficiálne výsledky neboli doposiaľ zverejnené. Predbežné výsledky vo forme draftu A výslednej správy boli poskytnuté. Na ich základe prebehlo vlastné vyhodnotenie merania 2 ks mikrofónov typu B&K 4160 z PTB Braunschweig a následné zhodnotenie hodnôt tlakovej citlivosti etalónových mikrofónov SMU zo zostavy národného etalónu. Výsledky meraní so zatiaľ nezverejnenými laboratóriami boli publikované na 10. medzinárodnom akustickom seminári v roku 2005 v Kočovciach (**Príloha 5**). Na publikáciu výsledkov pilotným laboratóriom v databáze BIPM sa zatiaľ čaká. Výsledok porovnaní je pre NE etalón č.019 mimoriadne priaznivý, napriek tomu, že sa už pri tomto meraní začal prejavovať mierny drift (0,01 dB)

jedného z mikrofónov voči hodnotám z meraní v rokoch 1997- 1998. Odchýlka hodnôt hladiny tlakovej citlivosti vo frekvenčnom rozsahu od 80 Hz do 2500 Hz od referenčnej hodnoty získanej aritmetickým priemerom hodnôt laboratórií vstupujúcich do porovnania je menšia ako 0,01 dB. Pri frekvenciách (200, 315, 400 a 500) Hz sa hodnoty dokonca zhodujú s referenčnou hodnotou.

V priebehu posledných rokov sa laboratórium zameriavalo na sledovanie driftu jedného z mikrofónov, ktorý sa voči hodnote z merania v rámci Projektu P 399 zväčšil na 0,03 dB. Tento drift je spôsobený zmenou prvkov impedančných parametrov so sústredenými parametrami mikrofónovej kapsuly najmä poddajnosti a akustickej hmotnosti. Istý rozptyl hodnôt badateľný pri sledovaní trendu mikrofónov je spôsobený nárastom prechodových odporov v systéme prepínacej jednotky. Preto je nutné meranie týchto mikrofónov ako aj celú zostavu etalónu neustále sledovať a vyhodnocovať. Uchovávanie hodnôt výsledných parametrov je trvalou úlohou metrologického pracoviska. V ďalšom je preto potrebná implementácia tretieho mikrofónu typu LS 1 nominálneho priemeru 24 mm a rozšírenie zostavy NE akustického tlaku s následným meraním impedančných parametrov s cieľom poistného zabezpečenia uchovávania hodnoty hladiny tlakovej citlivosti. Nemalý vplyv na výsledky merania má sťahovanie sa laboratória na meranie impedančných parametrov do iných laboratórnych priestorov. V priebehu posledných rokov sa toto laboratórium sťahovalo tri razy.

Meranie, zjemnenie merania a spresnenie impedančných parametrov bolo ďalšou z úloh posledných rokov. Boli vypracované metódy spracovania a vyhodnotenia merania efektívnych a ekvivalentných mikrofónov. Tieto sú popísané v dielčích výskumných správach za jednotlivé roky 2004-2006. Taktiež bol premeraný objem aktívnej komôrky nepriamou metódou. Zabezpečila sa unifikácia merania elektrických impedančných parametrov mikrofónov pri určovaní akustickej impedancie nepriamou metódou. V priebehu posledných desiatich rokov boli do zostavy etalónu včlenené nové zariadenia na meranie parametrov prostredia a presný LCR most na meranie elektrických impedančných parametrov mikrofónov. Neskôr v roku 1999 bol etalón doplnený zánovným digitálnym voltmetrom Solartron, v roku 2000 novým meracím zosilňovačom, filtrom, generátorom s ultranízkym skreslením a etalónmi kapacity.

Medzi posledné medzinárodné porovnania, ktoré boli uskutočnené na národnom etalóne akustického tlaku patrí neoficiálne bilaterálne porovnanie mikrofónov s nominálnym priemerom 12 mm. Posledné merania boli uskutočnené v roku 2007 na dvoch meracích etalónových mikrofónoch SMU typu B&K 4180, pričom výsledky meraní až na frekvenciu 63 Hz sú v rozsahu neistoty merania, ktorá v tomto meraní predstavovala hodnotu 0,1 dB. Meranie na etalóne bolo vykonané porovnávacou metódou pričom sa porovnávali aj zložky akustickej impedancie so sústredenými parametrami.

4.2 Medzinárodné porovnania

Porovnávacie meranie etalónových kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm v NPL Veľká Británia 1986, PTB Nemecko 1987, ASMW 1988, OMH 1988, VNIIFTRI Rusko 1990 boli uvedené v správe o Česko-slovenskom štátnom etalóne akustického tlaku. Porovnávacie merania s PTB Nemecko 1997, DPLA Dánsko 1998 okrem ČMI Česko 1997 boli uvedené pri vyhlásení Slovenského národného etalónu akustického tlaku. V nižšie uvedenej tabuľke je prehľadný zoznam medzinárodných porovnávacích meraní z ostatných rokov v časovej návaznosti na referenčné merania spomenuté vyššie.

Medzinárodné porovnávacie merania a projekty z rokov 1997-2010

Projekt	Porovnanie etalónov
EUROMET Project P 399 (EU.AUV.A-K1)	An intercomparison of sound pressure standard - Porovnávacie meranie etalónových kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm (1997 PTB SRN)
DUNAMET Project D6	Porovnávacie meranie etalónových kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm (1997 ČMI Česko)
CEN Project No. QI 11, PRAQ III (EU.AUV.A-K1)	Porovnávacie meranie etalónových kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm (1998 DPLA Dánsko)
EA Interlaboratory Comparison Ac1 (EA-European Cooperation for Accreditation)	Measurement of Sound Calibrators (Správa Knud Rasmussen, DANAK/DPLA december 1999)
EUROMET Project P 394	Porovnávacie meranie overovania zvukomerov podľa normy IEC 61762
EUROMET Project 576	Comparison of measurement uncertainty budgets for calibration of sound calibrators (2001)
226/DE/01- CCAUV.COOMET.AUV.A-K1	Porovnávacie meranie etalónových kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm (2002)
Bilaterálne neoficiálne porovnanie	Bilaterálne porovnávacie meranie akustickej impedancie a tlakovej citlivosti etalónových kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 12 mm (2005-2007 PTB SRN)
COOMET 434/BY/2008	Doplňujúce porovnávacie meranie etalónu akustického tlaku vo vzdušnom prostredí kalibráciou pracovných mikrofónov typu WS 1 a WS 2 elektrostatickou metódou aktuátorom (2008-)

V nižšie uvedenej tabuľke je stručný prehľad metrologických parametrov v rámci porovnávacích medzinárodných meraní. Neistoty merania sú uvedené tie, s akou merala spolupracujúca krajina.

Prehľad niektorých vykonaných porovnávacích meraní s najvyššou prioritou:

Zahraničný metrologický ústav, laboratórium	Rok konania merania	Vzájomná odchýlka	Neistota merania	Použitý mikrofón	Poznámka
NPL, Veľká Británia	1987	<0,04 dB	0,02 dB	1248073	IEC TC 29
PTB, SRN	1987	<0,04 dB	0,03 dB	1248073	IEC TC 29
VNIIFTRI, Rusko	1990	<0,05 dB	0,03 dB	1248073	RVHP
OMH, Maďarsko	1990	<0,05 dB	0,06 dB	1144841	RVHP
PTB, SRN	1997	<0,02 dB	0,03 dB	1248073 1144841	EUROMET
DPLA, Dánsko	1998	<0,02 dB	0,02 dB	1248073 1144841	Bilaterálna dohoda
NPL Veľká Británia (link to KCRV)	2005 (vyhodnotenie)	0,02 dB	0,04 dB	1248073 1144841	EUROMET
PTB, SRN	2002	-	0,04 dB	1248073 1144841	COOMET

Medzinárodné porovnávacie merania etalónových mikrofónov medzi NPL Veľká Británia, PTB Nemecko, DPLA Dánsko, VNIIFTRI Rusko a SMÚ Slovensko potvrdzujú vzájomné odchýlky kalibrácie etalónových mikrofónov menšie ako 0,05 dB vo frekvenčnom rozsahu (63-2500) Hz. Neistota merania laboratória akustiky SMU je 0,04 dB, čo je prezentované aj v CMC tabuľkách **Príloha 1**.

Okrem týchto meraní bolo vykonané v roku 1990 porovnávacie meranie s NMC Sofia s mikrofónom B&K 4160 v.č 1248073 na troch frekvenciách (250, 400, 1000) Hz a s ASMW Berlín s mikrofónom B&K 4160 v.č 1144841 vo frekvenčnom rozsahu od 63 Hz do 2500 Hz s neistotou 0,03 dB.

Meranie s VNIIFTRI Moskva bolo s mikrofónom B&K 4160 v.č. 1248073, pričom odchýlky 0,05 dB boli vo frekvenčnom rozsahu od 80 do 2000 Hz. V ostatnom pásme v celkovom rozsahu od 63 Hz do 2500 Hz boli odchýlky 0,1 dB.

Meranie s OMH Budapešť bolo s mikrofónom B&K 4160 v.č. 1144841, pričom odchýlky 0,05 dB boli vo frekvenčnom rozsahu od 160 do 630 Hz. V ostatnom pásme v celkovom rozsahu od 63 Hz do 2000 Hz bola odchýlka 0,1 dB.

V roku 1997 bolo v rámci projektu Dunamet bilaterálne porovnávacie meranie s ČMI Praha s mikrofónmi B&K 4160 v.č 1248073 a B&K 4160 v.č 1144841 vo frekvenčnom rozsahu od 200 Hz do 1000 Hz s odchýlkou 0,05 dB a s neistotou merania 0,06 dB.

4.2.1 Výsledky kľúčových medzinárodných porovnávacích meraní s PTB a DPLA z rokov 1997- 1998 - EUROMET.AUV.A-K1

Kalibračné certifikáty PTB č. 1342/97, 1341/97

Kalibračné certifikáty DPLA č. M1.00-0158-3.2, M1.00-0158-2.1

Kalibračné certifikáty SMÚ č. 9/233/98, 10/233/98

Výsledok porovnania tlakovej citlivosti a impedančných parametrov etalónového kondenzátorového mikrofónu **B&K 4160 v. č. 1248073**, ktorý je súčasťou národného etalónu SNE akustického tlaku č.019/99 pri referenčných podmienkach - statickom tlaku 101325 Pa, teplote 23 °C , polarizačnom napätí 200 V a frekvencii 250 Hz.

Meranie vykonané v SMÚ Bratislava v roku 1998: $-27,24 \text{ dB} \pm 0,04 \text{ dB}$ (hladina akustického tlaku a rozšírená štandardná neistota, podľa certifikátu č. 9/ 233/98). Parametre akustickej impedancie: predmembránový objem $536 \text{ mm}^3 \pm 5 \text{ mm}^3$, ekvivalentný objem $131 \text{ mm}^3 \pm 5 \text{ mm}^3$, akustická poddajnosť $9,2 \cdot 10^{-13} \text{ m}^5/\text{N}$, akustická hmotnosť $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-4}$ a akustický odpor $2,2 \cdot 10^7 \text{ Nsm}^{-5}$ všetky s relatívnou rozšírenou neistotou 5 %.

Merania vykonané v DPLA Dánsko v roku 1998: $-27,23 \text{ dB} \pm 0,03 \text{ dB}$ (certifikát č.M1.00-0158-3.2). Parametre akustickej impedancie: predmembránový objem 537 mm^3 , ekvivalentný objem 129 mm^3 .

Meranie vykonané v PTB SRN v roku 1997: $-27,22 \text{ dB} \pm 0,04 \text{ dB}$ (certifikát č.1.41-17365/97). Parametre akustickej impedancie: predmembránový objem 661 mm^3 , ekvivalentný objem 124 mm^3 , akustická poddajnosť $8,75 \cdot 10^{-13} \text{ m}^3/\text{Pa}$, akustická hmotnosť $406 \text{ Pa} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ a akustický odpor $2,4 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$.

Výsledok porovnania tlakovej citlivosti a impedančných parametrov etalónového kondenzátorového mikrofónu **B&K 4160 v. č. 1144841**, ktorý je súčasťou národného etalónu SNE akustického tlaku č.019/99 pri referenčných podmienkach - statickom tlaku 101325 Pa, teplote 23 °C , polarizačnom napätí 200 V a frekvencii 250 Hz.

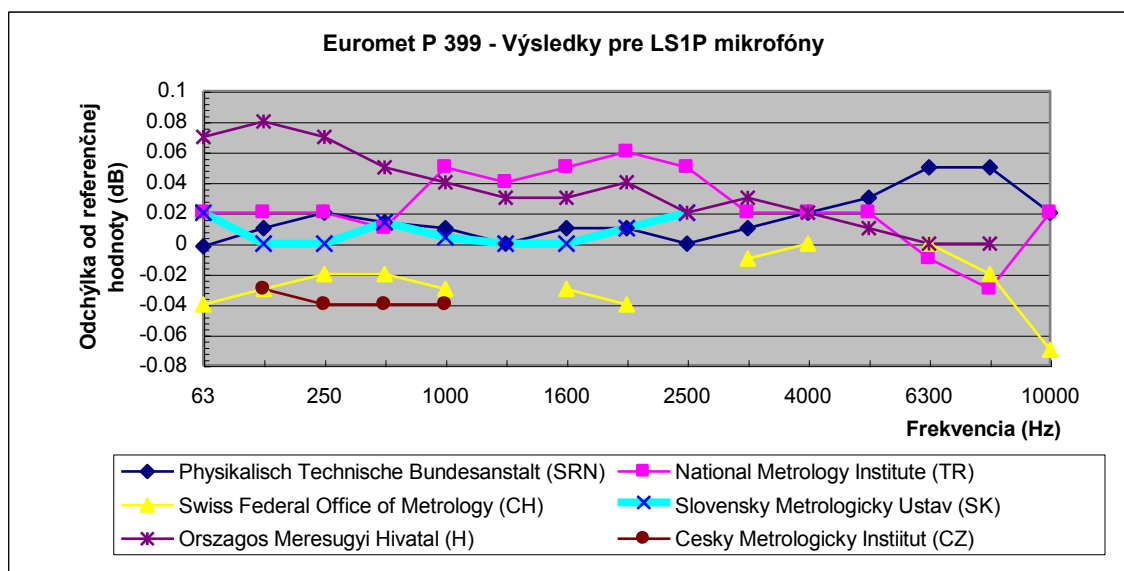
Meranie vykonané v SMÚ Bratislava v roku 1998: $-27,17 \text{ dB} \pm 0,04 \text{ dB}$ (hladina akustického tlaku a rozšírená štandardná neistota, podľa certifikátu č. 10/233/98). Parametre akustickej impedancie: predmembránový objem $530 \text{ mm}^3 \pm 5 \text{ mm}^3$, ekvivalentný objem $132 \text{ mm}^3 \pm 5 \text{ mm}^3$, akustická poddajnosť $9,3 \cdot 10^{-13} \text{ m}^5/\text{N}$, akustická hmotnosť $377 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-4}$ a akustický odpor $2,2 \cdot 10^7 \text{ Nsm}^{-5}$ všetky s relatívnou rozšírenou neistotou 5 %.

Merania vykonané v DPLA Dánsko v roku 1998: $-27,16 \text{ dB} \pm 0,03 \text{ dB}$ (certifikát č.M1.00-0158-3.2). Parametre akustickej impedancie: predmembránový objem 536 mm^3 , ekvivalentný objem 130 mm^3 .

Meranie vykonané v PTB SRN v roku 1997: $-27,16 \text{ dB} \pm 0,04 \text{ dB}$ (certifikát č.1.41-17364/97). Parametre akustickej impedancie: predmembránový objem 659 mm^3 , ekvivalentný

objem 127 mm^3 , akustická poddajnosť $8,93 \cdot 10^{-13} \text{ m}^3/\text{Pa}$, akustická hmotnosť $382 \text{ Pa} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ a akustický odpor $2,32 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$.

Hodnoty z týchto meraní boli v celom frekvenčnom rozsahu porovnané s KCRV hodnotou, výsledok tohto spracovania laboratóriom NPL (VB) je na grafe. Hodnoty z laboratória SMU Bratislava sú označené hrubšie (modrou). Pilotným laboratóriom pre toto zoskupenie laboratórií bolo laboratórium PTB Braunschweig. Podrobnejšie hodnotenie výsledkov tohto projektu je v **Prílohe 4.2** a v **Prílohe 5.2** tejto revíznej správy.



4.2.2 Výsledky porovnávania kalibrácie akustických kalibrátorov EA ILC Ac1 (European Cooperation for Accreditation interlaboratory comparison)

37 laboratórií zo 16 krajín sa zapojilo v čase od februára 1998 do februára 1999 do medzilaboratórneho porovnávacieho merania pistonfónu typu B&K 4228 a akustického kalibrátora typu B&K 4130 s cieľom verifikácie spôsobilosti kalibrácie vrátane publikovaných neistôt.

Kalibračný certifikát SMÚ 49/233/98
Kalibračný certifikát SMÚ 48/233/98

Hodnoty referenčného laboratória DPLA:

	Hladina akustického tlaku dB voči $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$	Rozšírená neistota $U, k=2$	Frekvencia	Rozšírená neistota $U, k=2$
Pistonfón B&K 4228 No.2034919	124,03 dB	0,05 dB	251,15 Hz	0,05 Hz
Akustický kalibrátor B&K 4230 No.2061481	93,94 dB	0,07 dB	999,84 Hz	0,2 Hz

Hodnoty namerané v SMÚ Bratislava

	Hladina akustického tlaku dB voči $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$	Rozšírená neistota $U, k=2$	Frekvencia	Rozšírená neistota $U, k=2$
Pistonfón B&K 4228 No.2034919	124,07 dB	0,09 dB	251,15 Hz	0,05 Hz

Akustický kalibrátor B&K 4230 No.2061481	93,96 dB	0,15 dB	999,84 Hz	0,05 Hz
---	----------	---------	-----------	---------

Normalizovaná chyba E_N podľa MSA 0116-98 (EA- P7)

Pistonfón B&K 4228 v.č. 2034919:

$$E_N = 0,39$$

Akustický kalibrátor B&K 4230 v.č. 2061481:

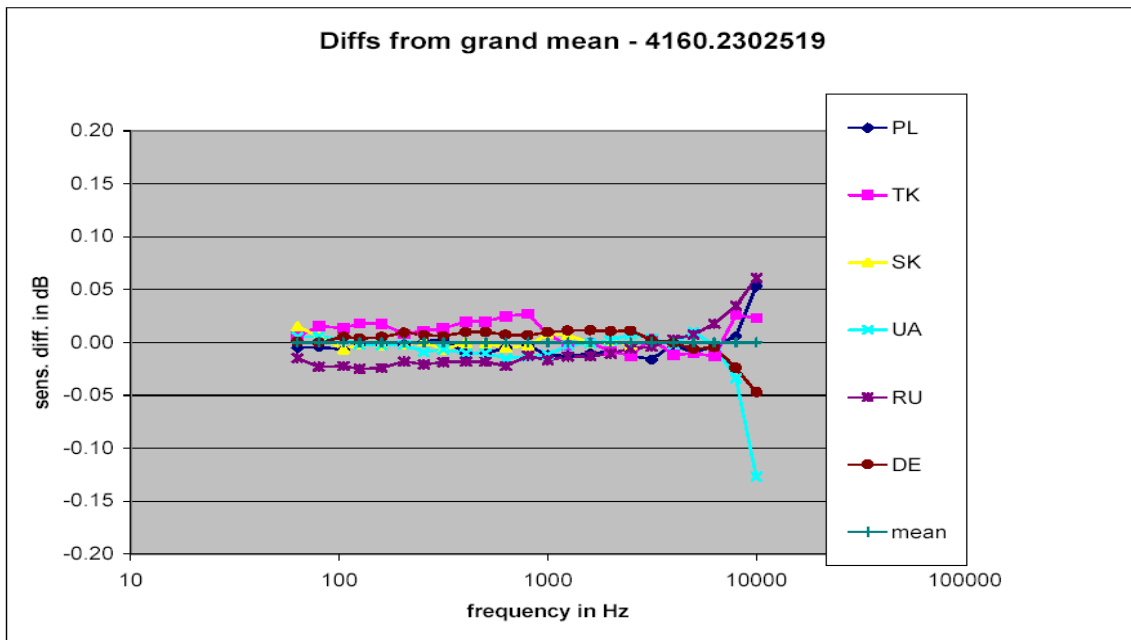
$$E_N = 0,12$$

4.2.3 Výsledky medzinárodného porovnávacieho merania CCAUV.COOMET.AUV.A-K1

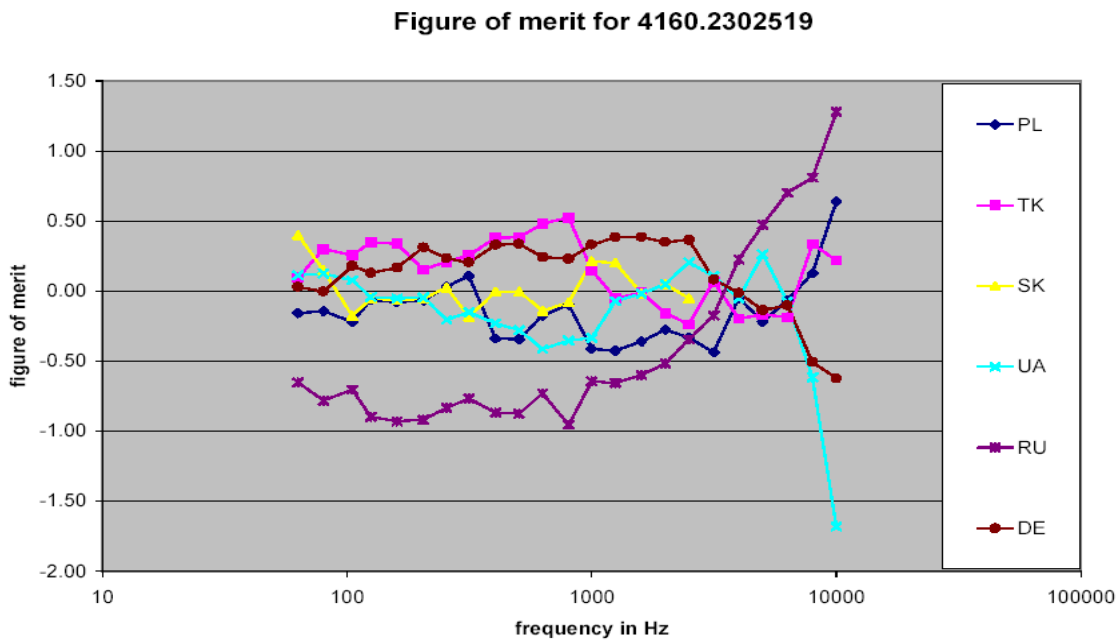
Porovnávacie meranie sa uskutočnilo v roku 2002 s dvomi meracími mikrofónmi nominálneho priemeru 24 mm typ B&K 4160 v.č. 2302519, a v.č. 2302520 z PTB Braunschweig. Dlhú dobu boli k dispozícii len predbežné výsledky záverečnej správy draft A **Príloha 4.2** (Tabuľka a graf), na základe ktorých bol spracovaný článok v **Prílohe 5.2**. Konečné oficiálne uverejnenie výsledkov pilotným laboratóriom **Príloha 4.4** bolo až v roku 2008 a dané k dispozícii v roku 2009.

Tabuľka: Hladina tlakovej citlivosti v dB re 1V/Pa nameraná pre mikrofón B&K 4160 v.č. 2302519

Frekvencia (Hz)	DE	PL	TR	SK	UA	RU
63	-26,88	-26,90	-26,89	-26,88	-26,89	-26,93
80	-26,89	-26,91	-26,89	-26,90	-26,90	-26,94
105	-26,91	-26,93	-26,91	-26,93	-26,92	-26,95
125	-26,91	-26,93	-26,91	-26,93	-26,93	-26,96
160	-26,92	-26,94	-26,92	-26,94	-26,94	-26,97
205	-26,93	-26,95	-26,94	-26,95	-26,95	-26,98
255	-26,933	-26,95	-26,94	-26,95	-26,96	-26,98
315	-26,94	-26,95	-26,94	-26,96	-26,96	-26,98
405	-26,94	-26,97	-26,94	-26,96	-26,97	-26,99
505	-26,94	-26,97	-26,94	-26,96	-26,97	-26,99
630	-26,94	-26,96	-26,93	-26,96	-26,97	-26,98
805	-26,93	-26,95	-26,92	-26,95	-26,96	-26,98
1000	-26,92	-26,95	-26,93	-26,93	-26,95	-26,96
1250	-26,90	-26,93	-26,92	-26,91	-26,92	-26,94
1600	-26,86	-26,89	-26,88	-26,88	-26,88	-26,90
2000	-26,80	-26,83	-26,83	-26,82	-26,82	-26,84
2500	-26,72	-26,75	-26,75	-26,74	-26,73	-26,75
3150	-26,59	-26,62	-26,60		-26,60	-26,61
4000	-26,43	-26,44	-26,45		-26,44	-26,43
5000	-26,30	-26,31	-26,31		-26,29	-26,28
6300	-26,42	-26,41	-26,42		-26,41	-26,37
8000	-27,43	-27,39	-27,37		-27,43	-27,34
10000	-30,01	-29,91	-29,94		-30,09	-29,82



Graf Odchýlka od strednej hodnoty pre mikrofón B&K 4160 v.č. 2302519

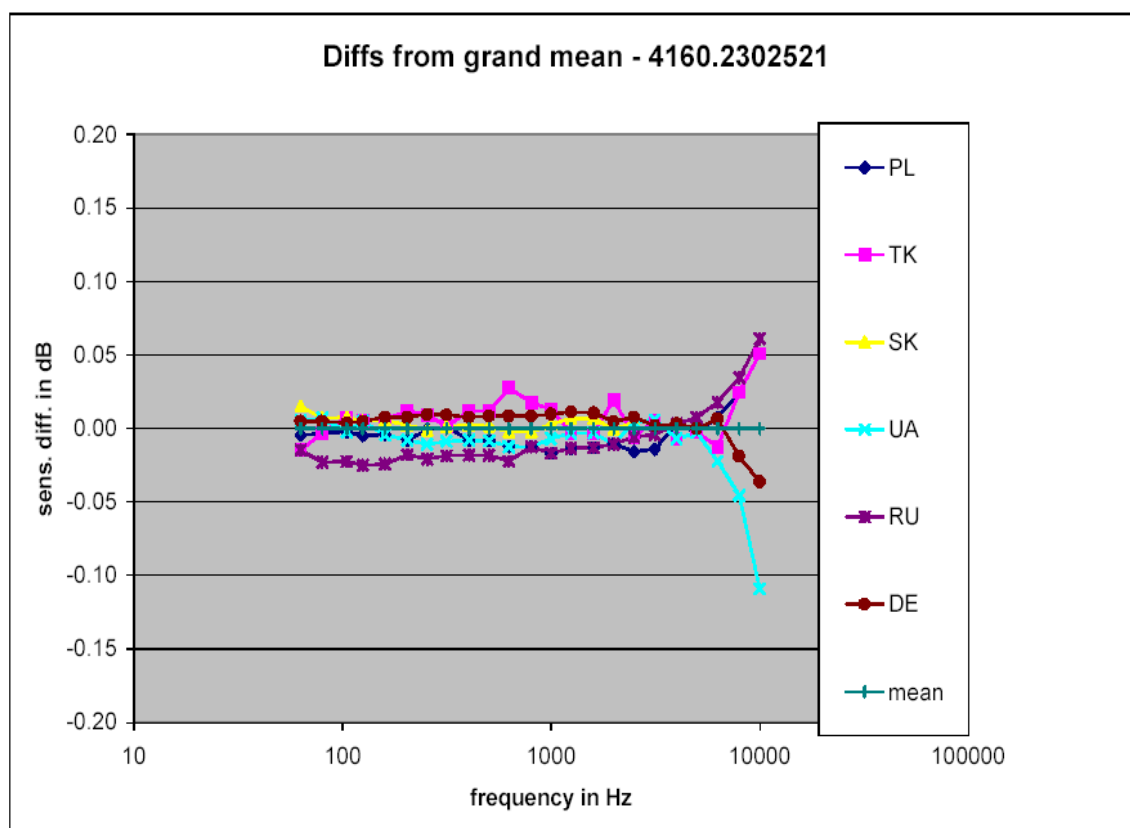


Graf Konzistencia meraní pre mikrofón B&K 4160 v.č. 2302519

Tabuľka: Hladina tlakovej citlivosti dB re 1V/Pa nameraná pre mikrofón B&K 4160 v.č. 2302521

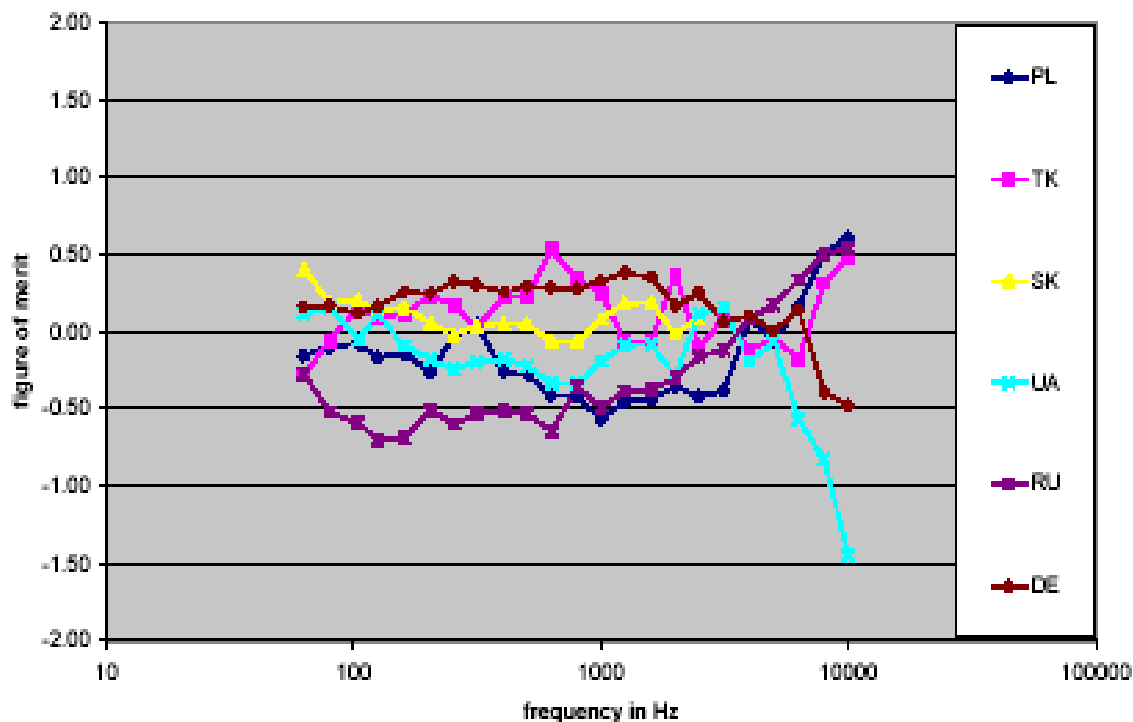
Frekvencia (Hz)	DE	PL	TR	SK	UA	RU
63	-26,88	-26,89	-26,90	-26,87	-26,88	-26,90
80	-26,89	-26,90	-26,90	-26,89	-26,89	-26,92
105	-26,90	-26,91	-26,90	-26,90	-26,91	-26,93
125	-26,91	-26,92	-26,91	-26,91	-26,91	-26,94

160	-26,91	-26,93	-26,92	-26,92	-26,93	-26,95
205	-26,92	-26,94	-26,92	-26,93	-26,94	-26,95
255	-26,92	-26,94	-26,93	-26,94	-26,95	-26,96
315	-26,93	-26,94	-26,94	-26,94	-26,95	-26,96
405	-26,93	-26,95	-26,93	-26,94	-26,95	-26,96
505	-26,93	-26,95	-26,93	-26,94	-26,95	-26,96
630	-26,92	-26,95	-26,91	-26,94	-26,95	-26,96
805	-26,91	-26,94	-26,91	-26,93	-26,94	-26,94
1000	-26,90	-26,93	-26,90	-26,91	-26,92	-26,93
1250	-26,87	-26,90	-26,89	-26,88	-26,89	-26,90
1600	-26,82	-26,85	-26,84	-26,83	-26,84	-26,85
2000	-26,75	-26,77	-26,74	-26,76	-26,77	-26,77
2500	-26,64	-26,67	-26,66	-26,65	-26,65	-26,66
3150	-26,48	-26,50	-26,48		-26,48	-26,49
4000	-26,26	-26,26	-26,27		-26,27	-26,26
5000	-26,05	-26,05	-26,05		-26,05	-26,04
6300	-26,07	-26,07	-26,09		-26,10	-26,06
8000	-27,15	-27,11	-27,11		-27,18	-27,10
10000	-30,01	-29,94	-29,94		-30,10	-29,93



Graf Odchýlka od strednej hodnoty pre mikrofón B&K 4160 v.č. 2302521

Figure of merit for 4160.2302521



Graf Konzistencia meraní pre mikrofón B&K 4160 v.č. 2302521

5. Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za NE akustického tlaku

5.1 Umiestnenie NE akustického tlaku

Slovenský metrologický ústav Bratislava, Centrum 210, laboratórium akustiky, objekt H, lab. č. 144a a č. 363.

5.2 Osoby zodpovedné za NE akustického tlaku

Garant etalónu: RNDr. Ján Šebok – zodpovedá za uchovávanie, udržiavanie a rozvoj NE akustického tlaku, za jeho technický stav, zabezpečuje a realizuje rozvoj prístrojového vybavenia NE akustického tlaku, realizuje nadviazanie na etalóny nižšieho rádu - na referenčné etalóny a pracovné meradlá a kontroluje metrologické parametre meradiel v zostave NE.

Určuje pracovníkov oprávnených pracovať s etalónom a je povinný kontrolovať, či sa dodržia všetky podmienky stanovené v prílohe 3 „Pravidlá používania a uchovávanía Slovenského národného etalónu akustického tlaku“.

Riadi a technicky vedie odborné práce na udržiavaní a zdokonaľovaní vlastností etalónu. Je povinný v rámci svojich kompetencií odstrániť všetky nedostatky, ktoré by mohli ohroziť funkčnosť etalónu. Ak nastanú okolnosti, ktoré by mohli viesť k znefunkčneniu prípadne k poškodeniu etalónu, ako celku alebo jeho časti, a nie je možné, aby tieto okolnosti v rámci svojich kompetencií odstránil, je povinný ich okamžite nahlásiť vedeniu Slovenského metrologického ústavu. Vykonáva pravidelné merania etalónových mikrofónov, zodpovedá za pravidelné spracovanie a vyhodnotenie výsledkov, a vykonáva meranie mikrofónov, ktoré sa nadväzujú na etalón. Zabezpečuje recalibráciu príslušných prístrojových častí etalónu v súlade s plánom recalibrácie, medzinárodné porovnávacie merania ako aj preventívnu údržbu na etalóne.

Ďalšia osoba pracujúca s národným etalónom Jaromír Kupčok - zodpovedá za prenos jednotky akustického tlaku na etalóny a meradlá nižšieho rádu, vykonáva kalibráciu akustických kalibrátorov v rámci ich nadväzovania na etalón, spracúva a vyhodnocuje výsledky meraní a podieľa sa na údržbe etalónu.

6. Zoznam publikácií o NE akustického tlaku v odbornej literatúre

6.1 Výskumné správy

1. Richter Karol, Ing.: Návrh metód absolútneho overovania meracích mikrofónov a stanovenie parametrov pre realizáciu etalónu akustického tlaku, ČSMU Bratislava, nov.1973, č. výsk.pl. R367-34
2. Richter Karol, Ing., Nehnevaj Dezider Ing.: Návrh aplikácie metódy reciprocity na overovanie meracích mikrofónov, ČSMÚ Bratislava, nov. 1974, Záverečná správa č. 2011 Úloha technického rozvoja R 406-34
3. Richter Karol, Ing.: P 01 Realizovanie primárneho etalónu akustického tlaku pre absolútne kalibrovanie kondenzátorových meracích mikrofónov, P 02 Absolútne kalibrovanie kondenzátorových meracích mikrofónov v rozšírenom frekvenčnom rozsahu, ČSMÚ Bratislava 1978, č. ú. V 116-34/76/80
4. Richter Karol, Ing., CSc.: E 02 Skúmanie metód absolútneho kalibrovania meracích mikrofónov založených na princípe reciprocity na úrovni primárnej etalonáže akustického tlaku a rozbor ich metrologických charakteristík, ČSMÚ Bratislava, nov.1983, Správa pre priebežnú oponentúru č. 1136 vedeckovýskumnej úlohy č. III-7-4/06 E02
5. Richter Karol, Ing., CSc.: Skúmanie metód absolútneho kalibrovania meracích mikrofónov, založených na princípe reciprocity, v podmienkach automatizácie meracích procesov, ČSMÚ Bratislava nov.1985, Správa pre záverečnú oponentúru č. 1159 vedeckovýskumnej úlohy č. III-7-4/06
6. Šebok Ján, RNDr., Richter Karol, Ing., CSc. a kol.: Etalonážne zariadenie pre porovnávacie meranie mikrofónov, ČSMÚ Bratislava, feb.1988, Správa pre záverečnú oponentúru č. 2087 úlohy rezortného plánu štandardizácie č. R 2/45-86 vedeckovýskumnej úlohy č. III-7-4/06
7. Richter Karol, Ing., CSc. a kol.: Výskum etalonáže akustickej impedancie meracích mikrofónov, ČSMÚ Bratislava, jún1988, Správa pre záverečnú oponentúru č. 1173 úlohy rezortného plánu štandardizácie č. R 2/44-86 vedeckovýskumnej úlohy č. III-7-4/06
8. Richter Karol, Ing., CSc.: Česko- slovenský štátny etalón akustického tlaku, ČSMU Bratislava, nov.1990, Správa č.3084/90 pre záverečnú oponentúru úlohy štátnej štandardizácie č. 2.1/361-90
9. Richter Karol, Ing., CSc.: Primárny etalón akustického tlaku, SMÚ Bratislava, jan.1996
10. Richter Karol, Ing., CSc.: Primárny etalón akustického tlaku ,SMÚ Bratislava, dec. 1997, č. u. 200016
11. Richter Karol, Ing., CSc.: Slovenský národný etalón akustického tlaku, SMÚ Bratislava, nov. 1998
12. Richter Karol, Ing., CSc.: Primárny etalón akustického tlaku, SMÚ Bratislava, dec. 1998
13. Šebok Ján, RNDr.: Národný etalón akustického tlaku, Záverečná správa úlohy 200 160. Bratislava: SMU, december 1999. 16 s.
14. Šebok Ján, RNDr.: Primárny etalón akustického tlaku na kalibráciu meracích mikrofónov, SMÚ Bratislava, december 2000, č. ú. 200160, 19 s. 8 príloh
15. Šebok Ján, RNDr.: Uchovávanie a zdokonaľovanie primárneho etalónu akustického tlaku na kalibráciu meracích mikrofónov, Záverečná správa k úlohe 200 161, SMU Bratislava, január 2002. 16 s. 8 príloh.
16. Šebok Ján, RNDr.: Uchovávanie a zdokonaľovanie etalónov akustiky a ultrazvuku, Záverečná správa úlohy 250 160, SMU Bratislava, január 2003, 15 s., 8 príloh
17. Šebok Ján, RNDr.: Uchovávanie národného etalónu akustického tlaku, SMÚ Bratislava, Záverečná správa úlohy 250 160, SMU Bratislava, december 2003, 16 s., 10 príloh
18. Šebok Ján, RNDr.: Národný etalón akustického tlaku. Záverečná správa úlohy 210 160, SMU Bratislava, január 2005, 23 s., 6 príloh
19. Šebok Ján, RNDr.: Národný etalón akustického tlaku na báze metódy reciprocity. Záverečná správa úlohy č. 210 160. SMU Bratislava, december 2005, 25 s., 4 prílohy

20. Šebok Ján, RNDr.: Národný etalón akustického tlaku na báze metódy reciprocity. Záverečná správa úlohy č. 210 160. SMU Bratislava, január 2007, 21 s., 11 príloh
21. Šebok Ján, RNDr.: Národný etalón akustického tlaku v procese revízie. Záverečná správa úlohy č. 210 160. SMU Bratislava, január 2008, 21 s., 58 príloh
22. Šebok Ján, RNDr.: Národný etalón akustického tlaku v procese revízie. Záverečná správa úlohy č. 21 160-0. SMU Bratislava, január 2009, 23 s., 47 príloh
23. Šebok Ján, RNDr.: Národný etalón akustického tlaku na báze modifikovanej metódy reciprocity. Záverečná správa úlohy č. 21 160-0. SMU Bratislava, január 2010, 31 s., 60 príloh

6.2 Ostatné súvisiace výskumné správy

1. Ing. Dezider Nehnevaj, Konceptia rozvoja metrologie, ČSMU Bratislava, nov.1969, Č. ú. K10-35/68
2. Ing. Dezider Nehnevaj, Ing. Karol Richter, Príprava metrologických výkonov u zvukomerov a audiometrov v CSSR, ČSMU Bratislava, nov.1973, Záverečná správa č. výsk. pl. R368-34
3. Ing. Karol Richter, Zhodnotenie vlastností pistonfónu Tesla VÚST z hľadiska požiadaviek pre primárnu etalonáž akustického tlaku, ČSMÚ Bratislava, nov. 1976, Záverečná správa č. 2075 Úloha technického rozvoja R 445-34
4. Ing. Karol Richter, Výskum v oblasti etalonáže akustického tlaku, ČSMÚ Bratislava, dec. 1978, Správa pre priebežnú oponentúru vedeckovýskumnej úlohy V 116-34/76-80
5. Ing. Karol Richter, CSc., Primárny etalón priamočiareho mechanického kmitania kombinovaný s etalónovým pistonfónom, SMÚ Bratislava, dec.1996, Č. ú. 200 010 Technická správa

6.3 Publikované články o etalóne

1. Richter K.: Stanovenie neistôt kalibrácie meracieho mikrofónu, Seminár "Stanovenie neistôt pri meraní a v etalonáži elektrických veličín, Bratislava 1994, 11-1 až 11-12
2. Richter K.: Primary standard of sound pressure at Slovak institute of metrology. Elektrotechnický čas., 45 (1994), No.3, 108 – 112
3. Šebok, J.: Meranie efektívneho objemu etalónových kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm. In: Hluk a kmitanie v praxi : VIII. medzinárodný akustický seminár, 2.-3. 6. 2003, Kočovce, Bratislava : STU, SAV, SAS, 2003, s. 75-78.
4. Šebok, J.: Primárny etalón akustického tlaku SMÚ v systéme národných etalónov Európy. In: Noise an Vibration in Practice - Hluk a kmitanie v praxi : Proceedings of the 9th International Acoustics Conference, 1. a 2. júna 2004, Kočovce, Bratislava: Strojnícka fakulta STU, 2004, s. 97-102.
5. Šebok, J.: Metóda reciprocity s aktívnou komôrkou v SMU v konfrontácii s metódami akustických laboratórií euroregiónu. In: Hluk a kmitanie v praxi: Zborník referátov z X. medzinárodného akustického seminára, 6.-8. júna 2005, Kočovce, s. 73-78.
6. Šebok, J.: Spolupráca metrologických inštitúcií vo svete. 1. medzinárodné sympóziu Material - Acoustics - Place 2005, september 2005, Zvolen, Drevárska fakulta TU
7. Šebok, J.:Cooperation possibilities in the field of the acoustics quantities metrology in EUROMET.Proceeding of the 2nd International Symposium Material - Acoustics - Place 2006, september 2006, Zvolen, Drevárska fakulta TU, s.121-127.
8. Šebok, J.: Uncertainty budget of the SMU type LS 1 standard microphone measurement. In: Hluk a kmitanie v praxi, Zborník referátov z XII. medzinárodného akustického seminára, 4.-5. júna 2007, Kočovce, s.79-84.
9. Šebok, J.: Zabezpečenie unifikácie merania elektrických parametrov meracích kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm pri určovaní akustickej impedancie nepriamou metódou. In: XIII. medzinárodný akustický seminár, 2. - 3. júna 2008, Kočovce. Bratislava : STU, SAV, SAS, 2008, s. 101-106
10. Šebok, J.: Zistenie ekvivalentného objemu meracích etalónových kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm. In: XIV. medzinárodný akustický seminár, 1. - 2. júna 2009, Kočovce. Bratislava : STU, SAV, SAS, 2009, s. 81-86

11. Šebok J.: Postavenie NE akustického tlaku SMU Bratislava z hľadiska medzinárodných porovnávacích meraní. In: XV. medzinárodný akustický seminár, 31. máj. - 1. jún 2010, Kočovce. Bratislava : STU, SAV, SAS, 2010, s. 129-134
12. Šebok, J.: NE akustického tlaku SMU Bratislava z hľadiska kľúčových medzinárodných porovnávacích meraní. Proceeding of the 5th International Symposium Material - Acoustics - Place 2010, september 2010, Zvolen, Drevárska fakulta TU, s.115-120.

6.4 Výsledky medzinárodných porovnávacích meraní zachytených v správach

1. Rasmussen, K.: Measurement of Sound Calibrators , EA Interlaboratory Comparison Ac 1, Final report, Danish Primary Laboratory on Acoustics, DANAK/DPLA, December 1999
2. Hanes, P.: Comparison of measurement uncertainty budgets for calibration of sound calibrators. Euromet project 576. NPL Report CMAM 73 , October 2001
3. Barham, R.: Report on key comparison CCAUV.A-K1. NPL Report CAIR 02, August 2003, ISSN 1740-0953, s. 51
4. Fedtke, T.: Report on key comparison COOMET.AUV.A-K1. Draft A, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig, December 2003
5. Barham, R.: An international comparison of sound pressure standards. Euromet Project 399. NPL Report DQL-AC-005, March 2005, s. 22
6. Fedtke, T.: Final report on key comparison COOMET.AUV.A-K1. Metrologia: 46 (2009), Tech.Suppl., 09004 [Online only], 30 S., (coomet.auv.a-k1_final_report.pdf)
7. The BIPM key comparison database, July 2009 (http://kcdb.bipm.org/AppendixB/appresults/ccauv.a-k1_july09.pdf)
8. ОТЧЁТ по дополнительным сличениям КОOMET № 434/BY/08 «Сличение национальных эталонов единицы звукового давления, Па, в воздушной среде в части калибровок рабочих эталонных микрофонов» (COOMET.AUV.A-S1) ПРОЕКТ А, Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь (Госстандарт), Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ), Минск, 2010 г.

6.5 Podklady k porovnávaciemu meraniu

1. Šebok , J.: Comparison of measurement uncertainty budgets for calibration of sound calibrators. Euromet project 576. SMU Bratislava, January 2001. 9s.
2. Šebok , J.: Overview of the uncertainty budget – short explanation within the framework : COOMET.AUV. A-K1 Key comparison calibration of the LS1 standard microphone with reciprocity method, SMU Bratislava, March 2007, 11 s.
3. Šebok, J.: Comparison measurement within task COOMET No 434/BY/08, SMU Bratislava, March 2010 14 s.

6.6 Ostatné súvisiace publikované články

1. Šebok, J.: Meranie útlmu antivibračného stola. In: Hluk a kmitanie v praxi : Zborník referátov z XI. medzinárodného akustického seminára, 1.-2. júna 2006, Kočovce, s.129-134

6.6.1 Štúdie

1. Šebok, J.: Metrologické zabezpečenie meradiel v oblasti akustiky : Štúdia z oblasti Etalonáž akustických veličín. Kód úlohy 250 160., SMU Bratislava, december 2003, 68 s., 8 príloh

6.6.2 Normotvorba

1. Šebok, J.: STN EN 61094-4 Meracie mikrofóny. Časť 4: Technické požiadavky na pracovné etalónové mikrofóny. Vyd. november 2002. 20 s.
2. Šebok , J.: STN 99 5322 Tónové audiometre. Metódy skúšania pri overovaní a kalibrácii. Vyd. máj 2003. 28 s.

6.7 Ostatná súvisiaca literatúra

1. Gerber H.: Acoustic Properties of Fluid-Filled Chambers at Infrasonic Frequencies in the Absence of Convection, J.Acoust. Soc. Amer. 36, 1427-1434, (1964).
2. Riety P., Lecollinet M.: Le dispositif d'étalonnage primaire des microphones de laboratoire de l'Institut National de Métrologie. Metrologia 10,17-34, (1974).
3. Salava, T.: Measurements of the Acoustic Impedance of Standard Laboratory Microphones, The Acoustics Laboratory Technical University of Denmark, Report no. 18, 1976
4. Gibbings, D.L.H., Gibson, A.V.: Contributions to the Reciprocity Calibration of Microphones, CSIRO Division of Applied Physics, Sydney, Australia, Metrologia 17, no. 1, 7-15, 1981
5. Brinkmann K., Obermayr K., Lager G.: Die Bestimmung des Druck-Lehrlauf- Übertragungsmaßes von 1-Zoll-Kondensatormikrofonen in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. PTB Bericht, März 1984.
6. Torr G.R., Jarvis D.R.: A Comparison of National Standards of Sound Pressure. Metrologia 26, 253-256, (1989)
7. Ballagh, K.O., Corney A.C.: Some Developments in Automated Microphone Reciprocity Calibration, Physics and Engineering Laboratory, Lower Hutt, New Zealand, Acustica, Vol.71, 1990
8. Brüel & Kjaer Instruction Manual. Condenser Microphones One-Inch Type 4160.
9. Condenser Microphones and Microphone Preamplifiers for acoustic measurements Data
10. Handbook Brüel & Kjaer, Rev. Sept.1982
11. Inštrukčné príručky meracích prístrojov - návody na použitie

7 Zoznam dokumentov súvisiacich s NE akustického tlaku

7.1 Dokumentácia o NE akustického tlaku

Túto dokumentáciu tvoria pracovné zošity a zakladače - šanony používané hlavne pri práci s určenými meradlami meracími mikrofónmi a akustickými kalibrátormi a pistonfónmi a sú nasledovné:

Pracovný zošit (oranžový) Vývoj primárneho etalónu akustického tlaku

Názov	Identifikácia	Obsah	Nositeľ procesu	Činnosť
Pracovný denník etalónu akustického tlaku	(tmavomodrý zošit)	popisuje činnosť na etalóne v H-144	pracovníci laboratória akustiky	akreditovaná činnosť
Zošit údržby, porúch a opráv zariadení a prístrojov	(tenký zelený zošit)	pre prístroje a zariadenia v laboratóriu H-144	pracovníci laboratória akustiky	akreditovaná činnosť
Kalibrácia vlastných zariadení	(fialový šanon 1. kópia)	certifikáty prístrojov a zariadení H-144	Ján Šebok	akreditovaná činnosť
Kalibrácia vlastných zariadení	(červený šanon)	staré certifikáty prístrojov a zariadení - dokumentovanie nadväznosti, H-144	pracovníci laboratória akustiky	akreditovaná činnosť

Meracie mikrofóny				
Názov	Identifikácia	Obsah	Nositeľ procesu	Činnosť
Medzinárodné porovnávacie merania mikrofóny	(3 žlté šanony)	protokoly porovnávacích meraní s východným a západným blokom, H-144	Ján Šebok	akreditovaná činnosť

COOMET AUV.A-K1, Project 226/DE/01	(2 žlté šanony)	záznamy z meraní a vyhodnotení posledného porovnávacieho merania, H-144	Ján Šebok	akreditovaná činnosť
Merania mikrofónov	(biely šanon)	metrologické služby pre zahraničie, H-144	Ján Šebok	akreditovaná činnosť
Merania našich mikrofónov	(3 žlté šanony)	záznamy z meraní našich mikrofónov pre roky 1987-1992,1993-1999, 2000-200x , H- 144	Ján Šebok	akreditovaná činnosť
Akustické kalibrátory, pistonfóny, meracie mikrofóny				
Pracovný zošit Meranie na primárnom etalóne akustického tlaku	(červený zošit –starý)	záznamy vývoja etalónu a zabezpečenia metrologických služieb, H-144	Ján Šebok	akreditovaná činnosť
Pracovný zošit Výskum a vývoj primárneho etalónu akustického tlaku	(červený zošit -starý)	záznamy vývoja etalónu, H-144	Ján Šebok	akreditovaná činnosť
Mikrofóny meranie	(žltý zošit)	záznam meraní na etalóne, kalibrácia a overovanie mikrofónov, H-144	Ján Šebok	akreditovaná aj neakreditovaná činnosť
Pracovný zošit Meranie efektívnych objemov mikrofónov	(červený zošit)	záznamy merania efektívnych objemov mikrofónov, H-144	Ján Šebok	akreditovaná aj neakreditovaná činnosť
Meranie efektívnych objemov mikrofónov	(sivý šanon)	PC záznamy merania efektívnych objemov mikrofónov, H-144	Ján Šebok	akreditovaná aj neakreditovaná činnosť
Pracovný zošit Meranie špeciálnych metrologických výkonov, z druhej strany Štruktúra programov	tmavomodrý zošit	záznamy nešpecifických meraní, H-144	Ján Šebok	akreditovaná aj neakreditovaná činnosť
Pracovný zošit Meranie ekvivalentných objemov mikrofónov, z druhej strany – opačne Meranie LCR mostom	(okrový zošit)	záznamy meraní s kapacitným mostom, H-363	Ján Šebok	akreditovaná činnosť
Záznamy meraní impedančných parametrov	(šanon)	PC záznamy meraní a vyhodnotení s kapacitným mostom, H-363	Ján Šebok	akreditovaná činnosť
Porovnanie s PTB	(šanon)	PC záznamy meraní a vyhodnotení s kapacitným mostom, H-363	Ján Šebok	neakreditovaná činnosť
Zošit údržby, porúch a opráv zariadení a prístrojov	(tenký zelený)	pre prístroje a zariadenia na meranie akustickej impedancie v laboratóriu H-363	Ján Šebok	akreditovaná aj neakreditovaná činnosť
Akustické kalibrátory				
Porovnávacie merania akustických kalibrátorov, pistonfónov	(oranžový šanon)	porovnávanie merania akustických kalibrátorov a pistonfónov, H –144	Ján Šebok	akreditovaná činnosť
Akustické kalibrátory, Pistonfón, opačne Záznamy o meraní SMU	(oranžový zošit)	záznamy meraní akustického tlaku akustických kalibrátorov a pistonfónov v H-144	Jaromír Kupčok	akreditovaná činnosť
Akustické kalibrátory, Pistonfóny Záznamy meraní	(oranžový šanon)	PC záznamy meraní akustického tlaku akustických kalibrátorov a pistonfónov v H-144	Jaromír Kupčok	akreditovaná činnosť
Záznamy o meraní Mikrofóny, opačne	(mramorová ný zošit)	záznamy meraní mikrofónov aktuátorom a skreslenia	Jaromír Kupčok	akreditovaná činnosť

Záznamy o meraní Akustické kalibrátory, Pistonfóny		a frekvencie akustických kalibrátorov a pistonfónov v H-363		
--	--	---	--	--

7.2 Pracovné postupy

PP 019/250/02 PP na kalibráciu meracích mikrofónov
 PP 08/250/02 PP na kalibráciu akustických kalibrátorov
 (PP 21/250/02 PP na overovanie a kalibráciu zvukomerov a filtrov
 PP 020/250/02 PP na kalibráciu tónových audiometrov)

7.3 Zoznam programov

Záznamy o validácii softvéru – 6 záznamov

Kapa – výpočet hodnôt koeficientu adiabetickej expanzie κ metódou viriálových koeficientov

Lambda- výpočet nastavenia mikrometrickej skrutky Mitutoyo v $\lambda/4$ vlnovode

Proxima – výpočet rezonančnej frekvencie mikrofónov

[Lic. No # 003] – určenie efektívnych objemov mikrofónov

[Lic. No # HP 58 + S7081] Version 1.0 (Ef Vol S7081) - určenie efektívnych objemov mikrofónov digitálnym voltmetrom Schlumberger Solartron 7081

[Lic. No # HP 58] - hlavný merací, riadiaci a výpočtový program etalónu akustického tlaku zložený z hlavných zdrojových programov Metro a Core

[Lic. No # HP 58 + S7081] Version 1.0 (Rec, Com for Excel) – program na snímanie a záznam hodnôt napätí mikrofónov pri metóde reciprocity a porovnávacej metóde

Vzor Recom 1 Vypocet.xls – spracovanie údajov merania a výpočet na verifikáciu údajov

Vzor Ekvol1 Vypocet.xls – programový produkt Excel obsahujúci výpočet nastavenia mikrometrickej skrutky Mitutoyo v $\lambda/4$ vlnovode a výpočet rezonančnej frekvencie a stratového činiteľa mikrofónov

Ďalšie verzie: VzorEkvol x Vypocet.xls (verzie x-1, 12, 2, 24)

VzorEkvol 24 Vypocet x.xls (verzie x- 1, 06, 08)

Vzor1Ekvol 12 Vypocet x.xls (verzie x- 05, 06, 07)

Vzor1 VypImpPar 24mmMikNeist etal.xls – výpočet akustickej poddajnosti, hmotnosti a odporu a ekvivalentného objemu mikrofónu

Ďalšie verzie: VzorVypImpPar12mmMik.xls

VzorVypNeistMikaImpPar1.xls

Vzor1 VypImpPar24mmMikNeist.xls

Vzor1 VypImpPar12mmMikNeist.xls

Vzor VypNeist Mik1.xls - programový produkt Excel na výpočet neistôt kalibrácie mikrofónov

Ďalšie verzie: VzorVypNeistMik1.xls

VzorVypNeistMikaImpar.xls

VzorVypNeistMikaImpar x.xls (verzie x- 1, 2)

VypNeistMik1sRFT.xls

VypNeistMik1sHP.xls

VypNeistMik1sHP1 pri 63 Hz.xls

VypNeistMik1sHP1 pri 250 Hz.xls

VypNeistMik1sHP1 pri 2500 Hz.xls

Vzor1 MerMicAktuátorom.xls - programový produkt Excel na spracovanie protokolu z merania mikrofónov pomocou aktuátora

Ďalšie verzie: Vzor x MerMicAktuátorom.xls (verzie x- 1, 2, 3, 3a, 4, 41, 5)

Vzor1 MerMikVyhodnot.xls - programový produkt Excel na spracovanie protokolu z merania mikrofónov metódou reciprocity a porovnávacou metódou

Ďalšie verzie: Vzor x MerMikProtokol.xls (verzie x- 1, 11, 2, 21)

Vzor x MerMicProtokol.xls (verzie x- 3, 4, 41, 411, 5, 5a)

VzorAKalibrátoryPr1.xls Programový produkt na kalibráciu akustických kalibrátorov

Ďalšie verzie: VzorAKalibrátoryPr1Ver x.xls (verzie x- 2, 3, 3Prkoef, 4, 41, 4a, 4aa)

7.3.1 Zoznam záznamov validácie programov

Kalibrácia meracích mikrofónov:

Validácia1AP1OS062002.doc - Výpočet nastavenia mikrometrickej skrutky Mitutoyo v $\lambda/4$ vlnovode Lambda

Validácia1AP3OS062002.doc- Meranie efektívneho objemu mikrofónu programom [Lic.No # HP 58 + S7081] Version 1.0 (EfVol S7081)

Validácia1AP4OS062002.doc- Meranie citlivosti mikrofónov metódou reciprocity Metro 58 [Lic.No#003]

Validácia1AP5OS062002.doc- Meranie citlivosti mikrofónov porovnávacou metódou Metro 58 [Lic.No#003]

Kalibrácia akustických kalibrátorov a pistonfónov:

Validácia1AP61OS062002.doc- - Meranie hladiny akustického tlaku akustických kalibrátorov a pistonfónov s mikrofónmi nominálneho priemeru 24mm s programami met60bez, met60smr, met44bez, met44smr

7.4 Normalizácia v oblasti akustických veličín

Normalizačná činnosť je v akustike značne rozvinutá. Nasledujúce normy a odporúčané dokumenty sú vybrané len z oblasti, ktoré majú priame použitie na určené meradlá v súčinnosti so schémou nadväznosti meradiel akustického tlaku vo vzdušnom prostredí (TPM 5400-95) na NE akustického tlaku SMÚ Bratislava.

7.4.1 Normy na meracie mikrofóny

1. STN EN 61094-1 Meracie mikrofóny. Časť 1.: Technické požiadavky na laboratórne etalónové mikrofóny. (Measurement microphones – Part 1: Specifications for laboratory standard microphones) 1.12.2001
2. STN EN 61094-2 Meracie mikrofóny. Časť 2.: Primárna metóda na tlakovú kalibráciu laboratórných etalónových mikrofónov metódou reciprocity. (Measurement microphones – Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique) august 2003
3. STN EN 61094-4 Meracie mikrofóny. Časť 4.: Technické požiadavky na pracovné etalónové mikrofóny (Measurement microphones – Part 4: Specifications for working standard microphones) november 2002
4. STN EN 61094-5 Meracie mikrofóny. Časť 5.: Postup pri tlakovej kalibrácii používaných štandardných mikrofónov porovnávacou metódou. (Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison. Metóda tlakovej kalibrácie pracovných etalónových mikrofónov porovnávaním.) 1.10.2002
5. STN EN IEC 61094-6 Meracie mikrofóny. Časť 6.: Elektrostatické aktuátory pre určenie frekvenčnej odozvy (závislosti) (Electrostatic actuators for determination of frequency response)
6. PNÚ 1802.1 Meracie mikrofóny. Sekundárne etalóny 1. a 2. rádu a prevádzkové meradlá. Technické požiadavky.
7. PNÚ 1802.2 Meracie mikrofóny. Sekundárne etalóny 1. a 2. rádu a prevádzkové meradlá. Metódy skúšania pre úradné overenie- tlaková metóda.

7.4.2 Normy na akustické kalibrátory

1. STN EN 60942 Elektroakustika. Zvukové kalibrátory. (Electroacoustics – Sound calibrators) 1.12.2003
2. PNÚ 1803.1 Tlakové akustické kalibrátory. Sekundárne etalóny 1. A 2. Rádu a prevádzkové meradlá. Technické požiadavky

3. PNÚ 1803.1 Tlakové akustické kalibrátory. Sekundárne etalóny 1. A 2. Rádu a prevádzkové meradlá. Metódy skúšania pre úradné overovanie
4. OIML R 102 Akustické kalibrátory (Sound calibrators)

7.4.3 Normy na zvukomery, integračné zvukomery, pásmové filtre a osobné zvukové expozimetre

1. STN EN 61672-1 Elektroakustika. Zvukomery. Časť 1: Technické požiadavky (Electroacoustics. Sound level meters Part 1: Specifications) január 2005
2. STN EN 61672-2 Elektroakustika. Zvukomery. Časť 2: Typové skúšky (Electroacoustics. Sound level meters Part 2: Pattern evaluation tests) január 2005
3. STN EN 60 651 Zvukomery (Sound level meters) 1.12.2001 (staré)
4. STN EN 60 651/A1 Zvukomery. Zmena A1 (IEC 60651 Amd.1 Amendment No. 1) 1.12.2001 (staré)
5. STN EN 60 651/A2 Zvukomery. Zmena A2 (Amendment) 1.7.2002 (staré)
6. STN IEC 60651/Z1 Zvukomery. Zmena 1 (Amendment) január 2005 (staré)
7. STN 356872 Metrológia. Zvukomery. Metódy skúšania pre úradné overovanie a potrebné pomôcky
8. STN EN 60 804 Integrujúce - priemerujúce zvukomery (Integrating-averaging sound level meters) október 2002 (staré)
9. STN EN 60 804/Z1 Integrujúce - priemerujúce zvukomery Zmena 1 (Integrating-averaging sound level meters) január 2005 (použitie do 1.6.2006) IEC 60804 Amd.1 Amendment No. 1 (staré)
10. PNÚ 1801.2 Zvukomery. Sekundárne etalóny a prevádzkové meradlá. Metódy skúšania pre úradné overovanie
11. OIML R 58 Zvukomery
12. OIML R 88 Integračné a priemerujúce zvukomery
13. STN EN 61260: 1998 Elektroakustika. Oktávové a zlomkovo-oktávové filtre (Electroacoustics. Octave-band and fractional-octave-band filters) október 1998
14. STN EN 61260/A1: 2003 Elektroakustika. Oktávové a zlomkovo-oktávové filtre. Zmena A1 (Electroacoustics. Octave-band and fractional-octave-band filters. Amendment) máj 2003
15. STN 356871 Elektronické oktávové a tretinooktávové filtre
16. STN 995461 Elektronické oktávové a tretinooktávové filtre. Metódy skúšania pre úradné overovanie
17. STN EN 61012 Filtre na meranie počuteľného zvuku v prítomnosti ultrazvuku. Apríl 2002
18. STN EN 61252 Elektroakustika. Špecifikácie požiadaviek na osobné zvukové expozimetre (Electroacoustics. Specifications for personal sound exposure meters) október 1998
19. STN EN 61252/A1 Elektroakustika. Špecifikácie požiadaviek na osobné zvukové expozimetre. Zmena A1 (Electroacoustics. Specifications for personal sound exposure meters) máj 2003

7.4.4 Normy na tónové audiometre

1. STN EN 60645-1 Elektroakustika. Audiometre. Časť 1: Audiometre na čistý zvuk (Tónové audiometre) (Audiometers. Part 1: Pure-tone audiometers) 1.12.2002
2. STN EN 60645-4 Audiometre. Časť 4: Prístroje na audiometriu čistými tónmi v rozsahu vysokých frekvencií (Audiometers. Part 4: Equipment for extended high-frequency audiometry)
3. STN 99 5322 Tónové audiometre. Metódy skúšania pri overovaní a kalibrácii. Máj 2003
4. STN EN 60318-1 Elektroakustika. Časť 1: Simulátor ľudskej hlavy a ucha. Simulátor ucha na kalibráciu sluchových protéz (Simulators of human head and ear. Part 1: Ear simulator for the calibration of supra-aural earphones)
5. STN EN 60318-2 Elektroakustika. Časť 2: Prechodný akustický väzbový člen na kalibráciu audiometrických sluchových protéz pre rozšírený frekvenčný rozsah (Simulators of human head and ear. Part 2: An interim acoustic coupler for the calibration of audiometric earphones in the extended high-frequency range)
6. STN EN 60318-3 Elektroakustika. Časť 3: Akustický väzbový člen na kalibráciu sluchových protéz používaných v audiometrii (Simulators of human head and ear. Part 3: Acoustic coupler for the calibration of supra-aural earphones used in audiometry)
7. IEC 60373 Mechanical coupler for measurements on bone vibrators
8. TPM 5410 – 92 Provizórna referenčná spojka IEC na kalibráciu slúchadiel používaných v audiometrii
9. TPM 5411 – 92 Umelé ucho IEC širokopásmového typu na kalibráciu slúchadiel používaných v audiometrii

10. TPM 5413 – 92 Mechanická spojka na merania na kostných vibrátoroch
11. STN ISO 389 Akustika. Štandardná referenčná nulová hladina pre kalibráciu tónových audiometrov s vedením vzduchom
12. STN ISO 389 Zmena 1 Akustika. Štandardná referenčná nulová hladina pre kalibráciu tónových audiometrov s vedením vzduchom (Acoustics reference zero for calibration of pure-tone air conduction audiometers) október 1997
13. STN EN ISO 389-1 Akustika. Referenčná nula na kalibrovanie audiometrického zariadenia. Časť 1: Referenčné ekvivalentné prahové hladiny akustického tlaku pre čisté tóny a suprapočuteľné slúchadlá (Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 1: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and supra-aural earphones) 1.10.2001
14. STN EN ISO 389-3 Akustika. Referenčná nula na kalibrovanie audiometrického zariadenia. Časť 3: Referenčné ekvivalentné prahové hladiny sily pre čisté tóny a kostné vibratory (Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 3: Reference equivalent threshold force levels for pure tones and bone vibrators) február 2001
15. STN EN ISO 389-4 Akustika. Referenčná nula na kalibrovanie audiometrického zariadenia. Časť 4: Referenčné hladiny sily pre úzkopásmový maskovací šum (Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 4: Reference levels for narrow-band masking noise) február 2001
16. STN EN ISO/TR 389-5:2006 Akustika. Referenčná nula na kalibrovanie audiometrického zariadenia. Časť 5: Referenčné ekvivalentné prahové hladiny akustického tlaku pre čisté tóny vo frekvenčnom rozsahu od 8 kHz do 16 kHz (Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 5: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones in the frequency range 8 kHz to 16 kHz)
17. ISO 389-8:2004 Acoustics-Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 8: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and circumaural earphones, máj 2004
18. STN EN 26189 Akustika. Audiometria prahu počutia čistým tónom na zachovanie sluchu vzdušným vedením (Acoustics. Pure tone conduction threshold audiometry for hearing conservation purposes) február 2001
19. STN EN ISO 8253-1 Akustika. Audiometrické skúšobné metódy. Časť 1: Základná prahová audiometria čistými tónmi so vzdušným a kostným vedením, december 2000

7.4.5 Normy všeobecné

1. STN 01 0115 Terminológia v metrológii.
2. STN ISO 31-0: Jednotky a veličiny. 0. časť: Všeobecné zásady
3. STN ISO 31-2: Jednotky a veličiny. 2. časť: Periodické a príbuzné javy
4. STN ISO 31-3: Jednotky a veličiny. 3. časť : Mechanika
5. STN ISO 31-7: Jednotky a veličiny. 7. časť : Akustika (zrušená 1.6.2007)
6. ISO 80000-8:2007 Quantities and units-Part 8: Acoustics
7. ISO/TR 25417:2007 Acoustics-Definitions of basic quantities and terms
8. STN ISO 31-11: Jednotky a veličiny. 11. časť: Matematické značky používané vo fyzikálnych vedách a v technike
9. STN EN ISO 266 Akustika. Normalizované frekvencie (Acoustics. Preferred frequencies) máj 2000
10. ISO 226:2003 Acoustics. Normal equal- loudness- level contours
11. STN EN 21683 Akustika. Vybrané referenčné veličiny pre hladiny v akustike
12. ISO: 1993 Príručka na vyjadrovanie neistôt pri meraní.
13. TPM 5400 – 97 Schéma nadväznosti meradiel akustického tlaku vo vzdušnom prostredí
14. TPM 0050-92 Etalóny. Vyjadrovanie chýb a neistôt.
15. TPM 051-93 Stanovenie neistôt pri meraniach 1. a 2. diel
16. MSA 0104-97 Vyjadrovanie neistôt merania pri kalibrácii.
17. MSA 0111-98 Validácia skúšobných metód – Všeobecné zásady a pojmy.
18. MSA 0106-98 Požiadavky kladené na certifikáty vydávané akreditovanými kalibračnými laboratóriami

7.4.6 Normy ostatné

1. IEC 61094-3 Ed.1.0B. Meracie mikrofóny. Časť 3: Primárna metóda na kalibráciu etalónových mikrofónov metódou reciprocity vo voľnom poli (Measurement microphones. Part 3: Primary method for free-field calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique)
2. IEC 60655 Values for the difference between free-field and pressure sensitivity levels for one-inch standard condenser microphones
3. IEC 61183 - Random-incidence and diffuse-field calibration of sound level meters

4. ISO 7196:1995 Acoustics. Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements
5. STN EN 26189 Akustika. Audiometria prahu počutia čistým tónom na zachovanie sluchu so vzdušným vedením
6. STN EN ISO 8253-1 Akustika. Audiometrické skúšobné metódy. Časť 1: Základná prahová audiometria čistými tónmi so vzdušným a kostným vedením
7. STN EN ISO 8253-2 Akustika. Audiometrické skúšobné metódy. Časť 2: Audiometria vo zvukovom poli čistými tónmi a úzkopásmovými skúšobnými signálmi
8. STN EN ISO 8253-3 Akustika. Audiometrické skúšobné metódy. Časť 3: Audiometria rečou
9. STN EN 60645-2 Audiometers. Part 2: Equipment for speech audiometry (Audiometre. Časť 2: Prístroje na rečovú audiometriu)
10. STN EN 60645-3 Audiometers. Part 3: Auditory test signals of short duration for audiometric and neurological purposes (Audiometre. Časť 3: Signály s krátkym trvaním na vyšetovanie sluchu na audiometrické a neurootologické ciele)
11. IEC 60711 Occluded-ear simulator for the measurement of earphones coupled to the ear by ear inserts
12. STN EN ISO 389-2:1994 Akustika. Referenčná nula na kalibrovanie audiometrického zariadenia. Časť 2: Referenčné ekvivalentné prahové hladiny akustického tlaku pre čisté tóny a vkladacie slúchadlá (Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 2: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and insert earphones)
13. STN EN ISO 389-7:1996 Akustika. Referenčná nula na kalibrovanie audiometrického zariadenia. Časť 7: Referenčná prahová hladina počutia v podmienkach voľného a difúzneho poľa (Acoustics. Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions)
14. STN EN ISO 10534-1:1996 Akustika. Určovanie koeficienta zvukovej pohltivosti a akustickej impedancie v impedančných trubiciach. Časť 1: Metóda použitia stojatej vlny (Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 1: Method using standing wave ratio)
15. STN EN ISO 10534-2:1998 Akustika. Určovanie koeficienta zvukovej pohltivosti a akustickej impedancie v impedančných trubiciach. Časť 2: Metóda transformačnej funkcie (Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method)
16. STN 73 0501 Akustika. Meranie činiteľa zvukovej pohltivosti a akustickej impedancie v interferometri

7.5 Európske smernice a z nich vyplývajúce zákony a nariadenia

Smernice ES, legislatívne dokumenty SR v oblasti ochrany človeka a životného prostredia pred fyzikálnymi poliami (kmitanie, hluk), ako aj bezpečnej prevádzky strojov, strojových zariadení a technologických procesov s ohľadom na človeka a životné prostredie, ktorých implementácia v legislatíve SR a aplikačný výstup je závislý na existencii NE akustického tlaku SMU.

Smernice ES podporujúce oblasť ochrany životného prostredia a ochrany zdravia sú tieto:

1. Smernica 86/594/EHS o hluku prenášanom vzduchom, ktorý emitujú spotrebiče pre domácnosť (Úradný vestník EÚ-L344, 6. 12. 1986);
2. Smernica 88/378/EEC o bezpečnosti hračiek, zmenená smernicou 93/68/EHS
3. Smernica 89/106/EHS o aproximácii zákonov členských štátov týkajúcich sa stavebných výrobkov, zmenená smernicou 93/68/EHS a rozhodnutím komisie 95/467/EHS;
4. Smernica 89/392/EHS o zblížovaní právnych predpisov členských štátov týkajúcich sa strojových zariadení;
5. Smernica 89/655/EHS o minimálnych predpisoch pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri používaní ochranných pracovných prostriedkov zamestnancov pri práci (samostatná smernica v zmysle článku 16 (1) smernice 89/391/EHS);
6. Smernica 89/686/EHS o osobných ochranných pomôckach, zmenená smernicou 93/68/EHS, 93/95/EHS a 96/58/ES
7. Smernica 90/385/EHS o aktívnych lekárskech implantátoch, zmenená smernicou 93/68/EHS
8. Smernica 93/42/EHS o zdravotníckych pomôckach, zmenená smernicami 2000/70/ES, 2001/104/ES a 2003/32/ES
9. Smernica 98/37/ES o aproximácii zákonov členských štátov týkajúcich sa strojových zariadení (Úradný vestník EÚ-L207, 23. 7. 1998);
10. Smernica 2000/14/ES o aproximácii zákonov členských štátov týkajúcich sa emisie hluku zariadení používaných vo vonkajšom priestore (Úradný vestník EÚ-L162, 3. 7. 2000);

11. Smernica 2002/49/ES o posudzovaní a sledovaní environmentálneho hluku (Úradný vestník EÚ-L189, 18. 7. 2002);
12. Smernica 2003/10/ES o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách vyplývajúcich z vystavenia pracovníkov rizikám vzniknutým pôsobením fyzikálnych faktorov (hluk) (Úradný vestník EÚ-L42, 15. 2. 2003);

Súvisiace zákony NR SR a nariadenia vlády SR sú tieto:

1. Zákon č. 142/2000 Z.z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení zákona č. 431/2004 Z.z. z 23. júna 2004, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 142/2000 Z.z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov;
2. Zákon NR SR č. 264/1999 Z. z. o technických požiadavkách na výrobky a o posudzovaní zhody a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení zákona č. 436/2001 Z.z. a zákona č. 254/2003 Z.z.;
3. Zákon NR SR č. 2/2005 Z.z. o posudzovaní a kontrole hluku vo vonkajšom prostredí a o zmene zákona NR SR č. 272/1994 Z.z. o ochrane zdravia ľudí v znení neskorších predpisov v znení zákona č. 461/2008 Z.z. a o zmene zákona č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov, v zmysle zákona 170/2009 Z.z.;
4. Zákon NR SR č.124/2006 Z.z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov;
5. Zákon NR SR č. 355/2007 Z. z. o ochrane podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov, v zmysle zákona 132/2010 Z.z.; (Nahrádza od 1.9.2007 doterajší zákon NR SR 126/2006 Z.z o verejnom zdravotníctve a o zmene a doplnení niektorých zákonov);
6. Zákon NR SR č. 367/2001 Z. z. ako úplné znenie zákona NR SR č. 330/1996 Z. z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci;
7. Zákon NR SR č. 90/1998 Z. z. o stavebných výrobkoch v znení neskorších predpisov;
8. Nariadenie vlády SR č. 40/2002 Z. z. o ochrane zdravia pred hlukom a vibráciami v znení NV SR č. 145/2006 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa NV SR č. 40/2002 Z. z. (platnosť do septembra 2007);
9. Nariadenie vlády SR č. 177/2002 Z. z., ktorým sa ustanovujú podrobnosti o označovaní hluku na spotrebičoch pre domácnosť;
10. Nariadenie vlády SR č. 222/2002 Z. z., ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách a postupoch posudzovania zhody emisií hluku zariadení používaných vo vonkajšom priestore v znení NV 26/2006, ktorým sa mení NV SR č. 222/2002 Z. z.;
11. Nariadenie vlády SR č. 274/2004 o opatreniach na ochranu životného prostredia pred hlukom z lietadiel;
12. Nariadenie vlády SR č. 302/2004 Z. z., ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách na hračky;
13. Nariadenie vlády SR č. 310/2004 Z. z., ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách a postupoch posudzovania zhody na strojové zariadenia; nahrádza nariadenie vlády SR č. 391/1999 Z. z. v znení neskorších predpisov;
14. Nariadenie vlády SR č. 43/2005 Z. z., ktorým sa ustanovujú podrobnosti o strategických hlukových mapách a akčných plánoch ochrany pred hlukom;
15. Nariadenie vlády SR č. 401/2005 Z. z. o hladine hluku vnímanej vodičom poľnohospodárskych kolesových traktorov alebo lesných kolesových traktorov;
16. Nariadenie vlády SR č. 115/2006 Z.z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku, v znení NV SR č. 555/2006 Z.z.;
17. Nariadenie vlády SR č. 309/2006 o technických požiadavkách na výfukové systémy a o prípustnej hladine hluku motorových vozidiel;
18. Nariadenie vlády SR č. 367/2006 o technických požiadavkách na zníženie emisií zo zážihových motorov a vznetových motorov motorových vozidiel
19. Nariadenie vlády SR č. 339/2006 Z.z., ktorým sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií; (platnosť do septembra 2007);
20. Vyhláška ÚNM SR č. 210/2000 Z.z. o meradlách a metrologickej kontrole;

21. Vyhláška č. 9/2001 Z.z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška ÚUNM SR č. 210/2000 Z.z o meradlách a metrologickej kontrole, Príloha č. 42 (Meradlá akustického tlaku- Zvukomery a integrujúce zvukomery, Pásmové filtre, Osobné zvukové expozimetre);
22. Vyhláška č. 48/2001 Z.z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška ÚNM SR č. 210/2000 Z.z o meradlách a metrologickej kontrole, Príloha č. 44, č. 45 a č. 49 (Tónové audiometre, Akustické kalibrátory, Meracie mikrofóny);
23. Vyhláška č. 669/2004 Z.z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška ÚNM SR č. 210/2000 Z.z o meradlách a metrologickej kontrole v znení neskorších predpisov, [Vyhláška č. 48/2001 Z.z., Príloha č. 44 (Tónové audiometre)];
24. Vyhláška č. 171/2008 Z.z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška ÚNM SR č. 210/2000 Z.z o meradlách a metrologickej kontrole v znení neskorších predpisov, [Vyhláška č. 9/2001 Z.z., Príloha č. 42 (Meradlá akustického tlaku- Zvukomery a integrujúce zvukomery, Pásmové filtre, Osobné zvukové expozimetre)];
25. Vyhláška 195/2005 o podrobnostiach o požadovaných údajoch poskytovaných k strategickým hlukovým mapám;
26. Vyhláška MZ SR č. 549/2007, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií v životnom prostredí (nahrádza NV 339/2006 Z.z.), v znení vyhlášky 237/2009 Z.z.;
27. Vyhláška MZ SR č. 448/2007 Z.z. o podrobnostiach o faktoroch práce a pracovného prostredia vo vzťahu ku kategorizácii prác z hľadiska zdravotných rizík a o náležitostiach návrhu na zaradenie prác do kategórií (posudky o riziku z expozície hluku)

Príloha 1
CMC tabuľka

Acoustics, Ultrasound and Vibration, Slovak Republic, SMU

Calibration or Measurement Service			Measurand Level or Range			Measurement		Expanded Uncertainty				
Quantity	Instrument or Artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	Units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?
Pressure sensitivity level	Measurement microphone type LS1	IEC 61094-2:1992	-28	-24	dB (reference: 1 V/Pa)	Frequency	63 Hz to 2.5 kHz	0.04	dB	2	95%	No
Pressure sensitivity level	Measurement microphone type LS1	Comparison in an active coupler	-28	-24	dB (reference: 1 V/Pa)	Frequency	63 Hz to 2.5 kHz	0.06	dB	2	95%	No
Pressure sensitivity level	Measurement microphone type LS2	Comparison in an active coupler	-40	-34	dB (reference: 1 V/Pa)	Frequency	63 Hz to 2.5 kHz	0.1	dB	2	95%	No
Sound pressure level	Pistonphone, single frequency 250 Hz	Direct measurement of sound pressure	90	125	dB (reference: 20 µPa)	Microphone type	LS1P	0.09	dB	2	95%	No
Sound pressure level	Sound calibrator, single frequency, 1 kHz	Direct measurement of sound pressure	94	94	dB (reference: 20 µPa)	Microphone type	LS2P	0.2	dB	2	95%	No
Sound pressure response level	Sound level meter	IEC 60651			dB (reference: 20 µPa)	Frequency	1 kHz	0.3	dB	2	95%	No



CERTIFIKÁT NÁRODNÉHO ETALÓNU

č. 019/07 Revízia 1

Slovenský metrologický ústav v súlade s ustanovením § 6 a § 32 ods. 2 písm. d) zákona č. 142/2000 Z. z. o metrologii a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len zákon) na základe vydaného osvedčenia o národnom etalóne pod číslom 019/99 zo dňa 15.06.1999 potvrdzuje, že všetky podmienky ustanovené v § 1 ods. 1 vyhlášky Úradu pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky č. 210/2000 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole v znení neskorších predpisov (ďalej len „vyhláška“) na schválenie etalónu za národný etalón boli splnené.

Názov etalónu: ETALÓN AKUSTICKÉHO TLAKU NA KALIBROVANIE MERACÍCH KONDENZÁTOROVÝCH MIKROFÓNOV NOMINÁLNEHO RIEMERU 24 mm V ROZSAHU (40 až 65) mV/Pa VO FREKVENČNOM ROZSAHU (63 až 2500) Hz

Veličina a hodnota (stupnica hodnôt) veličiny reprodukovanej etalónom:

citlivosť meracích kondenzátorových mikrofónov M (40 - 60) mV/Pa,
hladina citlivosti meracích kondenzátorových mikrofónov L (-28 až -24)dB ref. 1V/Pa

Názov a sídlo vlastníka etalónu: Slovenský metrologický ústav
Bratislava, Karloveská 63

Osoba zodpovedná za etalón: RNDr. Ján Šebok

Dátum schválenia návrhu: 21. 04. 1999

Základné údaje o etalóne a podmienkach používania a uchovávaní etalónu podľa § 1 ods. 2 vyhlášky sú uvedené v revíznej správe o národnom etalóne „Slovenský národný etalón akustického tlaku“, SMU Bratislava, december 2007 a v pravidlách o uchovávaní a používaní etalónu „Pravidlá uchovávaní a používania slovenského národného etalónu akustického tlaku“ SMU Bratislava, december 2007.

Osoba zodpovedná za etalón (vlastník etalónu) má povinnosť oznámiť Slovenskému metrologickému ústavu všetky úpravy, doplnenia a zmeny etalónu, ktoré môžu mať vplyv na jeho technické charakteristiky, metrologické charakteristiky alebo môžu ovplyvniť ustanovené podmienky uchovávaní a používania etalónu.

V Bratislave, 30. 11. 2010

Prof. Ing. Durný Rudolf, DrSc
generálny riaditeľ

Nadväznosť:

Určovanie citlivosti meracieho mikrofónu kalibráciou na národnom etalóne akustického tlaku je nepriamym meraním jednej veličiny, kedy hodnota citlivosti je funkciou meraných napätí a ďalších parametrov

$$M = F(U_1, U_2, U_M, U_g, U_p, f, f_{rez}, c_0, l_e, C_{mer}, C, \rho, p_s, \kappa, V_E, \varphi, t, k_{HCG}, tg \delta)$$

kde U_1 je napätie z mikrofónu 1, U_2 je napätie z mikrofónu 2, U_M je napätie z mikrofónu ak pracuje ako prijímač pri meraní prenosovej impedancie, U_g je napätie generátora, ktorým sa napája mikrofón – vysielateľ pri meraní prenosovej impedancie, U_p je polarizačné napätie na mikrofóne, f je frekvencia, c_0 je rýchlosť šírenia sa zvuku, l_e je ekvivalentná dĺžka komôrky, C_{mer} je kapacita meracieho kondenzátora, C kapacita mikrofónu, ρ je hustota vzduchu, p_s je statický tlak, κ je koeficient adiabatickej expanzie, V_E je celkový efektívny objem komôrky, φ je relatívna vlhkosť vzduchu, t je teplota, k_{HCG} tepelná vodivosť v dutine komôrky a $tg \delta$ stratový činiteľ membrány pri rezonančnej frekvencii mikrofónu f_{rez} .

Nadväznosť na základné a odvodené jednotky SI je zabezpečená nasledovne :

rozmerové veličiny na národný etalón dĺžky 002/97 SMU Bratislava

frekvencia na etalón času a frekvencie 004/97 SMU Bratislava

statický tlak na národný etalón tlaku 006/97 SMU Bratislava

teplota na národný etalón teploty 020/A/99 SMU Bratislava

relatívna vlhkosť na etalón vlhkosti vzduchu SMU Bratislava

jednosmerné napätie na národný etalón stupnice jednosmerného napätia 011/98 SMU Bratislava

striedavé napätie na národný etalón stupnice jednosmerného napätia 011/98 SMU Bratislava

kapacita a stratový činiteľ na etalón kapacity ČMI Brno

Základné metrologické charakteristiky etalónu:

Nominálny priemer kalibrovaných mikrofónov	24 mm
Rozsah kalibrácie hladiny citlivosti (citlivosti) meracích kondenzátorových mikrofónov metódou reciprocity:	(-28,00 až -24,00) dB ref. 1 V/Pa, čo zodpovedá (40 až 65) mV/Pa
Frekvenčný rozsah kalibrácie mikrofónov	(63 až 2500) Hz
Kapacita meracieho kondenzátora	(58,18±0,02) pF
Objem meracej komôrky	(3030,4 ± 0,2) mm ³
Hodnoty objemov zátok 24 mm mikrofónových náhrad	(642,8 ± 0,2) mm ³ (666,8 ± 0,2) mm ³ (693,8 ± 0,2) mm ³ (737,3 ± 0,2) mm ³
Polarizačné napätie	200,00 V ± 0,02 V
Štandardná neistota typu A u_A	0,002 dB
Štandardná neistota typu B u_B	0,02 dB
Rozšírená neistota kalibrácie hladiny citlivosti mikrofónu U ($k=2$)	0,04 dB

Zostava etalónu:

Etalónové zariadenie na meranie citlivosti mikrofónov metódou reciprocity tvoria nasledovné prístroje:

- Aktívna meracia komôrka (priemer 18,6 mm; nominálny objem 3 cm³; vlastné vyhotovenie) – vlastná kalibrácia
- Kondenzátorové mikrofóny Brüel & Kjær Typ 4160, v.č.1248073, 1144841 (tlaková hladina citlivosti naprázdno -27,2 dB pri 250 Hz; záložné v.č. 1560028, 1560029, na prenos veličiny Typ B&K 4144 v.č. 2118521) – vlastná kalibrácia + medzinárodné porovnávacie meranie
- Mikrofónové predzosilňovače (napäťový prenos zo zdroja napätia s vnútornou impedanciou kapacitného charakteru od 40 pF do 60 pF min. 0,998; vlastné vyhotovenie) so zabudovaným meracím kondenzátorom C kapacity 58,18 pF ± 0,02 pF – vlastná kalibrácia

- d) Hornopriepustné HP filtre (od 100 Hz vyššie, útlm - 0,17 dB pri 250 Hz; - 0,038 dB pri 1 kHz; vlastné vyhotovenie) – vlastná kalibrácia
- e) Prepínacia jednotka (vlastné vyhotovenie)
- f) Programovateľný generátor sínusového napätia TESLA BM 536, v.č.115798 (frekvenčný rozsah od 50 Hz do 10 000 Hz, amplitúdová stabilita 0,01 mV/10 min., frekvenčná stabilita 10^{-8} /deň) – vlastná kalibrácia
- g) Číslkové voltmetre AC Hewlett- Packard HP 3458A, v.č. 2823A 18862, 2823A 18868 (rozsah 10 mV až 10 V, neistota merania 0,05 %) – kalibrácia centrom SMU 240
- h) Číslkový voltmeter DC Metra MIT 330, v.č.6295480 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) (doplňkový voltmeter Solartron 7081, neistota 0,003 V) – kalibrácia centrom SMU 240
- i) Osciloskop TESLA BM 566A v.č. 801575
- j) Číslkový barometer DRUCK typ DPI-141 v.č. 624/98-09 (rozsah od 80 kPa do 110 kPa s neistotou merania 15 Pa) (doplňkový tlakomer METRA v.č.89271) – kalibrácia centrom SMU 220
- k) Dvojkanálový teplomer Testo 650 v.č. 00129179 so snímačom vlhkosti a teploty v.č. 0636.9741 (merací rozsah od 0 % do 100 %, rozšírená neistota 1,2 %) a so snímačom teploty Pt 100 v.č. 0628.0019 (rozšírená neistota 0,02 °C) – kalibrácia centrom SMU 270
- l) Počítač PC v.č.0431112 + monitor v.č.10000334 + tlačiareň v.č. OERE 031369

Zostava zariadenia pre určenie akustickej impedancie mikrofónov pozostáva zo zariadení:

- A) zariadenie na meranie efektívneho objemu mikrofónov (efektívny objem je daný súčtom predmembránového a ekvivalentného objemu),
- B) zariadenie na meranie elektrickej impedancie mikrofónov pri skratovanom akustickom vstupe mikrofónu

Add. A Zariadenie na meranie efektívneho objemu mikrofónov tvorí:

- a) Prípravok so zdrojovou časťou a držiakom mikrofónu (uchytenie mikrofónu s tienením podľa normy STN EN 61094-1, vlastné vyhotovenie)
- b) Sada etalónových zaslepovacích zátek s definovaným objemom (642 až 740) mm³ (vlastné vyhotovenie) – kalibrácia Kontroltech s.r.o.
- c) Merací mikrofón Brüel & Kjær typ 4160 v.č.1248072 ako zdroj zvuku
- d) Merací zosilňovač Brüel & Kjær typ 2610, v.č. 2002708 (polarizačné napätie 200,00 V ± 0,01 V) – vlastná kalibrácia
- e) Pásmový priepust Brüel & Kjær typ 1617 v.č.246893
- f) Mikrofónová sonda s priemerom 2 mm s tlakovým mikrofónom nominálneho priemeru 12 mm Brüel & Kjær typ 4134, v.č. 49842 + predzosilňovač B&K 2645T v.č.1648615
- g) Generátor sínusového napätia s ultra nízkym skreslením Stanford Research System Model DS 360 v.č.33666 (skreslenie THD –100 dB, frekvenčná stabilita 0,0025) – vlastná kalibrácia
- h) Digitálny voltmeter Schlumberger Solartron 7081, v.č. 001502, (neistota merania 0,00001 V) - kalibrácia centrom SMU 240
- i) Číslkový voltmeter DC Metra MIT 330, v.č.6441407 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) – kalibrácia centrom SMU 240
- j) Čítač frekvencie Tesla BM 641, v.č. 803989 – kalibrácia centrom SMU 210

Add. B Zariadenie na meranie elektrickej impedancie mikrofónov pri skratovanom akustickom vstupe mikrofónu tvorí:

- Prípravok so zdrojovou časťou a držiakom mikrofónu (uchytenie mikrofónu s tienením podľa normy STN EN 61094-1, vlastné vyhotovenie)
- Vlnovod $\lambda/4$ (priemer 18,6 mm, dĺžka min. 80 mm, vlastné vyhotovenie) s mikrometrickou skrutkou Mitutoyo v.č. 44595 – vlastná kalibrácia (delenie stupnice – Kontroltech s.r.o.)
- Posuvné meradlo Somet v.č. 3000422 (rozšírená neistota 0,02 mm)- kalibrácia SLM, n.o.
- Kapacitný most- presný LCR merač Quad Tech 7400- CE, v.č.7305302 (frekvenčný rozsah od 5 Hz do 500 kHz, neistota merania 0,1 %) – kalibrácia centrom SMU 240
- Etalón kapacity 47 pF Keithley Instruments Model 5905 diel 5900-301-5 v.č. 771 779 (neistota kapacity 0,05 %, neistota stratového činiteľa 0,0005) (10 pF GR 1404-C v.č. 2379 - etalón centra SMU 240) – kalibrácia ČMI Brno
- Číslicový voltmeter DC Metra MIT 330, v.č.6441407 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) – kalibrácia centrom SMU 240
- Čítač frekvencie Tesla BM 641, v.č. 803949 – kalibrácia centrom SMU 210
- Dvojkanálový teplomer Testo 950 v.č. 00129629 so snímačom teploty Pt 100 v.č. 0628.0016 (10015143) (merací rozsah od -100 °C do +300 °C, rozšírená neistota 0,02 °C) – kalibrácia centrom SMU 270
- Merač vlhkosti Assmanov psychrometer v.č. 501/85 – kalibrácia centrom SMU 270

Prehľad odovzdávania hodnoty príslušnej jednotky (stupnice) na ostatné meradlá:

veľičina	meradlo	minimálna ÷ maximálna hodnota	parameter	špecifikácia parametra	rozšírená neistota ($k=2$) (dB)	metóda
hladina tlakovej citlivosti	mikrofóny LS1	(-28 – -24) dB re 1V/Pa	frekvencia	(63 – 2500) Hz	0,04	reciprocitná v aktívnej kom.
hladina tlakovej citlivosti	mikrofóny LS1	(-28 – -24) dB re 1V/Pa	frekvencia	(63 – 2500) Hz	0,06	porovnávacia v aktívnej kom.
hladina relatívnej tlakovej citlivosti	mikrofóny LS1	(-28 – -24) dB re 1V/Pa	frekvencia	(20 – 20000) Hz	0,15	elektrostatická
hladina tlakovej citlivosti	mikrofóny LS2	(-40 – -34) dB re 1V/Pa	frekvencia	(63 – 2500) Hz	0,1	porovnávacia v aktívnej kom.
hladina relatívnej tlakovej citlivosti	mikrofóny LS2	(-40 – -34) dB re 1V/Pa	frekvencia	(20 – 20000) Hz	0,1– 0,5	elektrostatická
hladina akustického tlaku v dutine pistonfónu	pistonfóny	(90 – 125) dB re 20 μ Pa	frekvencia	250 Hz	0,09	priame meranie v komôrke
hladina akustického tlaku v dutine kalibrátora	akustické kalibrátory	94; 114; 124dB re 20 μ Pa	frekvencia	1 kHz	0,2	priame meranie v komôrke
hladina elektric. napätia zodpovedajúca hladine akustického tlaku	zvukomery	(10 – 130) dB re 20 μ Pa	frekvencia	(20 – 20000) Hz	0,3 pri 1 kHz	elektrická
hladina akustického tlaku	umelé ucho, ak. spojka	94 dB re 20 μ Pa	frekvencia	(125 – 8000) Hz	0,3 – 0,4	porovnanie s ref. uchom
hladina akustického tlaku v umelom uchu	audiometre	(-10 – 120) dB re 20 μ Pa	frekvencia	(125 – 8000) Hz	0,7 – 1,5	umelé ucho, akustic. spojka

Prehľad kľúčových porovnávacích meraní:

EUROMET.AUV.A-K1
CCAUV.COOMET.AUV.A-K1

Porovnávacie meranie etalónových kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm v NPL Veľká Británia 1986, PTB Nemecko 1987, ASMW 1988, OMH 1988, VNIIFTRI Rusko 1990, PTB Nemecko 1997, ČMI Česko 1997, DPLA Dánsko 1998, PTB Nemecko 2002.

Výsledky medzinárodných porovnávacích meraní:

Kalibračné certifikáty PTB č. 1341/97, 1342/97,
Kalibračné certifikáty DTU č. M1.00-0158-3.2, M1.00-0158-2.1
Kalibračné certifikáty SMÚ č. 9/233/98, 10/233/98
Kalibračné certifikáty SMÚ č.48/233/98, 49/233/98
Kalibračné certifikáty SMÚ č. 187/250/18/03, 188/250/18/03

Miesto uchovávanía a používania etalónu:

Slovenský metrologický ústav
Karloveská 63
Bratislava
Laboratórium akustiky
centra dĺžky, času a akustiky
suterén pavilónu "H" a 2. poschodie pavilónu "H",
miestnosti č. 144a a č. 363

.....
RNDr. Ján Šebok
osoba zodpovedná za etalón

.....
Ing. Pavol Doršic
riaditeľ centra dĺžky, času a akustiky

*Tento certifikát môže byť rozmnožovaný len celý a nezmenený.
Rozmnožovať jeho časti možno len s písomným súhlasom Slovenského metrologického ústavu.*

**Pravidlá používania a uchovávania
Národného etalónu akustického tlaku**

a, Názov etalónu a jeho identifikácia:

Národný etalón akustického tlaku č. NE 019/99 na kalibrovanie meracích kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm v rozsahu (40 až 65) mV/Pa vo frekvenčnom rozsahu (63 až 2500) Hz vyhlásený predsedom ÚNMS SR dňa 15. júna 1999

Zostava Národného etalónu (NE) akustického tlaku:

Etalónové zariadenie na meranie citlivosti mikrofónov metódou reciprocity, ktoré tvoria nasledovné prístroje:

1. Aktívna meracia komôrka (priemer 18,6 mm; nominálny objem 3 cm³; vlastné vyhotovenie) – vlastná kalibrácia
2. Kondenzátorové mikrofóny Brüel & Kjær Typ 4160, v.č.1248073, 1144841 (tlaková hladina citlivosti naprázdno -27,2 dB pri 250 Hz; záložné v.č. 1560028, 1560029, na prenos veličiny Typ B&K 4144 v.č. 2118521) – vlastná kalibrácia + medzinárodné porovnávacie meranie
3. Mikrofónové predzosilňovače (napätový prenos zo zdroja napätia s vnútornou impedanciou kapacitného charakteru od 40 pF do 60 pF min. 0,998; vlastné vyhotovenie) so zabudovaným meracím kondenzátorom *C* kapacity 58,18 pF ± 0,02 pF – vlastná kalibrácia
4. Hornopriepustné HP filtre (od 100 Hz vyššie, útlm - 0,17 dB pri 250 Hz; - 0,038 dB pri 1 kHz; vlastné vyhotovenie) – vlastná kalibrácia
5. Prepínacia jednotka (vlastné vyhotovenie)
6. Programovateľný generátor sínusového napätia TESLA BM 536, v.č.115798 (frekvenčný rozsah od 50 Hz do 10 000 Hz, amplitúdová stabilita 0,01 mV/10 min., frekvenčná stabilita 10⁻⁸/deň) – vlastná kalibrácia
7. Číslkové voltmetre AC Hewlett- Packard HP 3458A, v.č. 2823A 18862, 2823A 18868 (rozsah 10 mV až 10 V, neistota merania 0,05 %) – kalibrácia centrom SMU 240
8. Číslkový voltmeter DC Metra MIT 330, v.č.6295480 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) (doplňkový voltmeter Solartron 7081, neistota 0,003 V) – kalibrácia centrom SMU 240
9. Osciloskop TESLA BM 566A v.č. 801575
10. Počítač PC v.č.0431112 + monitor v.č.10000334 + tlačiareň v.č. OERE 031369
11. Číslkový barometer DRUCK typ DPI-141 v.č. 624/98-09 (rozsah od 80 kPa do 110 kPa s neistotou merania 15 Pa) (doplňkový tlakomer METRA v.č.89271) – kalibrácia centrom SMU 220
12. Dvojkanálový teplomer Testo 650 v.č. 00129179 so snímačom vlhkosti a teploty v.č. 0636.9741 (merací rozsah od 0 % do 100 %, rozšírená neistota 1,2 %) a so snímačom teploty Pt 100 v.č. 0628.0019 (rozšírená neistota 0,02 °C) – kalibrácia centrom SMU 270

Zostava zariadenia pre určenie akustickej impedancie mikrofónov pozostáva zo zariadení:

- A) zariadenie na meranie efektívneho objemu mikrofónov (efektívny objem je daný súčtom predmembránového a ekvivalentného objemu),
- B) zariadenie na meranie elektrickej impedancie mikrofónov pri skratovanom akustickom vstupe mikrofónu

Add. A Zariadenie na meranie efektívneho objemu mikrofónov tvorí:

1. Prípravok so zdrojovou časťou a držiakom mikrofónu (uchytenie mikrofónu s tienením podľa normy STN EN 61094-1, vlastné vyhotovenie)
2. Sada etalónových zaslepovacích zátoč obr. 7 s definovaným objemom (vlastné vyhotovenie) – kalibrácia Kontroltech s.r.o.
3. Merací mikrofón Brüel & Kjær typ 4160 v.č.1248072 ako zdroj zvuku
4. Mikrofónová sonda s priemerom 2 mm s tlakovým mikrofónom nominálneho priemeru 12 mm Brüel & Kjær typ 4134, v.č. 49842 + predzosilňovač B&K 2645T v.č.1648615
5. Merací zosilňovač Brüel & Kjær typ 2610, v.č. 2002708 (polarizačné napätie 200,00 V \pm 0,01 V) – vlastná kalibrácia
6. Pásmový priepust Brüel & Kjær typ 1617 v.č. 246893
7. Generátor sínusového napätia s ultra nízkym skreslením Stanford Research System Model DS 360 v.č.33666 (skreslenie THD -100 dB, frekvenčná stabilita 0,0025 – vlastná kalibrácia)
8. Digitálny voltmeter Schlumberger Solartron 7081, v.č. 001502, (neistota merania 0,00001 V) - kalibrácia centrom SMU 240
9. Číslicový voltmeter DC Metra MIT 330, v.č. 6441407 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) – kalibrácia centrom SMU 240
10. Čítač frekvencie Tesla BM 641, v.č. 803989 – kalibrácia centrom SMU 210

Add. B Zariadenie na meranie elektrickej impedancie mikrofónov pri skratovanom akustickom vstupe mikrofónu tvorí:

1. Prípravok so zdrojovou časťou a držiakom mikrofónu obr. 8 (uchytenie mikrofónu s tienením podľa normy STN EN 61094-1, vlastné vyhotovenie)
2. Vlnovod $\lambda/4$ obr. 8 (priemer 18,6 mm, dĺžka min. 80 mm, vlastné vyhotovenie) s mikrometrickou skrutkou Mitutoyo v.č. 44595 – vlastná kalibrácia (delenie stupnice – Kontroltech s.r.o.)
3. Posuvné meradlo Somet v.č. 3o00422 (rozšírená neistota 0,02 mm)- kalibrácia SLM, n.o.
4. Kapacitný most- presný LCR merač Quad Tech 7400- CE, v.č.7305302 (frekvenčný rozsah od 5 Hz do 500 kHz, neistota merania 0,1 %) – kalibrácia centrom SMU 240
5. Etalón kapacity 47 pF Keithley Instruments Model 5905 diel 5900-301-5 v.č. 771 779 (neistota kapacity 0,05 %, neistota stratového činiteľa 0,0005) (10 pF GR 1404-C v.č. 2379 - etalón centra SMU 240) – kalibrácia ČMI Brno

6. Číslcový voltmeter DC Metra MIT 330, v.č. 6441407 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) – kalibrácia centrom SMU 240
7. Čítač frekvencie Tesla BM 641, v.č. 803949 – kalibrácia centrom SMU 210
8. Dvojkanálový teplomer Testo 950 v.č. 00129629 so snímačom teploty Pt 100 v.č. 0628.0016 (10015143) (merací rozsah od -100 °C do +300 °C, rozšírená neistota 0,02 °C) – kalibrácia centrom SMU 270
9. Merač vlhkosti Assmanov psychrometer v.č. 501/85 – kalibrácia centrom SMU 270

b, Požiadavky na prostredie etalónu :

Všetky výsledky merania citlivosti mikrofónov vykonávané za aktuálnych podmienok okolia sú z dôvodov porovnateľnosti výsledkov prepočítané na referenčné podmienky:

Referenčné podmienky okolia:

Teplota vzduchu	23 °C
Relatívna vlhkosť	50 %
Barometrický tlak	101,325 kPa

Dovolený rozsah aktuálnych podmienok okolia počas kalibrácie je:

Rozsah aktuálnych parametrov prostredia:

Teplota	(23 ± 1,5)°C
Relatívna vlhkosť	(20 až 70)%
Barometrický tlak	(97,322 až 103,322) kPa

Ostatné podmienky okolia počas merania:

Hladina hluku „lin“ pozadia počas merania nad frekvenciou 20 Hz vyššie	< 35 dB
Hladina hluku „lin“ v oblasti infrazvuku v pásme (2 až 20) Hz	< 65 dB
Hladina vibrácií nad 20 Hz	< 5 mms ⁻²
Polarizačné napätie	(200,00±0,02) V
Osvetlenie	nedefinované
Prípustné elektromagnetické poruchy	nedefinované
Dovolená hladina radiácie	nedefinované
Prípustné variácie striedavého napájacieho napätia zdrojov	± 10 V
Čistota ovzdušia	neprašný náter stien

Pravidlá a opatrenia, ktoré majú zabrániť poškodeniu etalónu v priebehu jeho používania a uchovávaní

Mikrofóny - membrána	zákaz dotyku rukami
Polarizačné napätie v priebehu výmeny mikrofónovej kapsuly	odpojiť
Tesniaca vazelína	zvážiť použitie, opatrné nanosenie, čistota
Vyberanie mikrofónov z komôrky	opatrne a pomaly
V prípade použitia mikrofónu s nominálnym priemerom 12 mm	nasadiť redukciu
Výmena zaslepovacích zátok	opatrne a pomaly
Nasadzovanie $\lambda/4$ vlnovodu	opatrne a pomaly

Iné opatrenia, zabezpečujúce podmienky bezchybnej funkcie etalónu

Uvedenie prístrojov do prevádzky pred vlastným meraním	min. 2 h
Temperovanie kalibrovaného etalónového meracieho mikrofónu v meracom priestore pred meraním	min. 1 deň
Zachovanie predpísaných aktuálnych podmienok okolia počas merania	podľa predchádzajúcej tabuľky

Popis meracieho laboratória H- 144 a

Pôdorysná plocha	25,3 m ²
Klimatizácia (tepl., vlhk., filter)	teplota, filtrovanie vzduchu
Stredná teplota	22,8°C
Minimum, maximum teploty	20,5 až 25,1 °C
Max zmeny teploty za 8 hodín	2 °C
Stredná vlhkosť	neregulované
Minimum, maximum vlhkosti	15 % - 90 %
Okná	Bez okien
Uskladnenie meracích mikrofónov	Prachotesná skriňa

Popis meracieho laboratória H- 363

Pôdorysná plocha	47 m ²
Klimatizácia (tepl., vlhk., filter)	teplota, filtrovanie vzduchu
Stredná teplota	22,8°C
Minimum, maximum teploty	20 až 26 °C
Max zmeny teploty za 8 hodín	3 °C
Stredná vlhkosť	neregulované
Minimum, maximum vlhkosti	15 % - 90 %
Okná	Bez okien
Uskladnenie prenosných etalónov	Šuflík pracovného stola

c, Požiadavky na obslužný personál etalónu

Počet zamestnancov a ďalšie personálne požiadavky

Pod laboratórium akustiky centra dĺžky, času a akustiky v súčasnosti patria 2 pracovníci [1 VVP-III - (VŠ); 1 VVP-I (SŠ)] jeden na 100 % a jeden na 50 % pracovnú kapacitu, ktorí zabezpečujú uchovávanie a rozšírenie primárneho etalónu akustického tlaku, prenos jednotky akustického tlaku z primárneho etalónu na sekundárne etalóny a pracovné meradlá a metrologické služby určených meradiel.

Samotné uchovávanie etalónu akustického tlaku, zahŕňajúce v sebe ďalšiu z veličín- akustickú impedanciu, je značne časovo pracné a vyžaduje ¾ ročnú kapacitu 1 VŠ pracovníka. Metrologické služby pri značnom počte rôznych druhov prístrojov pohltia kapacitu jednej osoby. Potreba zavedenia ďalších veličín, ako aj systém akreditácie a dodržiavania systému

kvality so zvýšenou potrebou administratívnej práce, zamestnajú ďalší potrebný personál v laboratóriu akustiky.

Perspektíva: vzhľadom na široký odborný záber laboratória, ako aj na potreby zabezpečenia ďalších akustických veličín a nadväznosti na ostatné veličiny a na zvýšenú administratívu pri zabezpečení systému kvality a rozsah metrologických služieb, je potreba minimálne ďalšej 1 osoby VŠ alebo SŠ s aprobáciou elektroakustika alebo elektrotechnika. Pri rozšírení metrologických služieb a ich vykonávaní vo väčšom rozsahu, napr. v audiometrií, by bola potrebná ďalšia osoba, prítomnosťou ktorej by už bolo potrebné laboratórium rozšíriť už aj o dané prístrojové vybavenie.

Pracovníci laboratória národného etalónu oprávnení vykonávať činnosť súvisiacu s medzinárodným porovnávaním, kalibráciou, uchovávaním, používaním a zdokonaľovaním národného etalónu akustického tlaku sú:

- garant etalónu;
- technický pracovník laboratória NE.

Kvalifikačné požiadavky pre pracovníkov laboratória NE sú nasledovné:

Garant etalónu:

- vzdelanie: VŠ (elektrotechnické alebo MFF UK);
- prax: 5 rokov; znalosť pracovných postupov z etalonáže akustických veličín SMÚ
znalosť návodov na použitie, ovládanie výpočtových programov používaných
v etalonáži akustických veličín;
- jazyk: ovládanie jedného svetového jazyka;
- školenia: odbornej metrologickej spôsobilosti;
- skúšky: odbornej metrologickej spôsobilosti;

Technický pracovník laboratória NE:

- vzdelanie: SŠ (elektrotechnické);
- prax: znalosť konštrukcie a spôsobu práce zariadení, meracích postupov a ich
vyhodnocovania
- školenia: základné metrologické minimum;
odbornej metrologickej spôsobilosti;
- skúšky: základné metrologické minimum;
odbornej metrologickej spôsobilosti;

NE akustického tlaku obsluhujú nasledovní pracovníci:

RNDr. Ján Šebok a Jaromír Kupčok

Garant etalónu: RNDr. Ján Šebok:

- vzdelanie: Matematicko-fyzikálna fakulta Univerzity Komenského Bratislava;
- prax: od roku 1981;
- jazyk: anglický, nemecký, ruský, maďarský;
- školenia: odbornej metrologickej spôsobilosti;
- skúšky: odbornej metrologickej spôsobilosti;

Technický pracovník laboratória NE:

Jaromír Kupčok;

- vzdelanie: Stredná elektrotechnická škola Bratislava;
- školenia: základné metrologické minimum;
odbornej metrologickej spôsobilosti;
- skúšky: základné metrologické minimum;
odbornej metrologickej spôsobilosti;

Popis pracovných funkcií a náplní uvedených pracovníkov je spracovaný v ich náplniach práce a uložený na odbore 210. Uvedení pracovníci majú splnené kvalifikačné predpoklady, kladené na pracovníkov v laboratóriu NE v súlade s ich zaradením.

Rozsah zodpovednosti pracovníkov laboratória NE akustického tlaku je nasledovný:

Garant etalónu zodpovedá za:

- technický stav a funkčnosť národného etalónu akustického tlaku, kontrolu technického stavu a podmienok uchovávania;
- medzinárodné porovnávanie etalónu;
- stanovenie programu kalibrácie a kontrol etalónu v súlade s pracovnými postupmi;
- stanovuje metódy merania a kontroluje vyhodnotenú a nameranú údaje
- prenos reprodukovateľných hodnôt na referenčné etalóny a meradlá;
- vykonáva kalibráciu etalónových meracích mikrofónov
- periodickú kontrolu a vyhodnocovanie metrologických parametrov etalónu;
- údržbu etalónu;
- kontrolu kvality práce pri všetkých kalibračných a skúšobných činnostiach;
- používanie etalónu prevažne na účely medzinárodného porovnávania, kalibrácie referenčných etalónov, kalibráciu a overovanie meradiel;
- používanie etalónu pri všetkých formách a účeloch z hľadiska zachovania jeho metrologických vlastností;
- komplexnosť a správnosť dokumentácie etalónu;
- aktualizáciu zásad a pracovných postupov pre metódy prenosu hodnôt na referenčné etalóny, meradlá a postupov pre uchovávanie etalónu;
- zabezpečenie systému kvality v laboratóriu NE súvisiac s národným etalónom akustického tlaku.

Technický pracovník laboratória NE zodpovedá za:

- činnosť v rozsahu kompetencií garanta etalónu v prípade jeho neprítomnosti;
- technický stav a funkčnosť časti národného etalónu akustického tlaku, kontrolu technického stavu a podmienok uchovávania;
- spolupracuje pri meraniach spojených s medzinárodným porovnávaním etalónu;
- vykonáva činnosť spojenú s periodickou kontrolou niektorých metrologických parametrov etalónu;
- vykonáva kalibráciu akustických kalibrátorov;
- prenos jednotky akustického tlaku na etalóny a meradlá nižšieho rádu;
- komplexnosť a správnosť časti dokumentácie etalónu;
- aktualizáciu zásad a pracovných postupov pre metódy prenosu hodnôt na referenčné etalóny, meradlá a postupov pre uchovávanie etalónu;
- spracúva a vyhodnocuje výsledky meraní;
- spolupracuje pri zabezpečení kvality práce pri všetkých kalibračných a skúšobných činnostiach v rámci systému kvality;
- spolupracuje pri údržbe etalónu a jeho častí.

Vymedzenie prístupu a povinností

Do miestností laboratórií, kde sa nachádzajú časti NE akustického tlaku vstupujú iba pracovníci tohto laboratória. Vedúci pracovníci ústavu a poprední špecialisti z metrologie akustických veličín zo zahraničných ústavov do týchto miestností vstupujú iba v sprievode pracovníkov obsluhujúcich NE akustického tlaku.

Oprávnené osoby musia mať potrebnú kvalifikáciu a sú na prácu s etalónom zaškolené.

d, Bezpečnostné opatrenia

- Uloženie (uschovávanie) NE akustického tlaku z hľadiska bezpečnosti a zachovania jeho metrologických vlastností

Etalónové meracie mikrofóny, v dobe keď sa nepoužívajú, sú uložené v ochrannom puzdre výrobcu (v drevených alebo plastových krabiciach), s nasadenou mriežkou, prikryté ochranou z plastu v miestnosti č. 144a a v miestnosti č. 365 laboratórneho objektu H, SMÚ Bratislava.

Etalónové zariadenie na meranie citlivosti mikrofónov metódou reciprocity sa spolu so zostavou zariadenia na meranie efektívneho objemu mikrofónov nachádzajú v laboratóriu č. H-144a. Zariadenie na meranie elektrickej impedancie mikrofónov pri skratovanom akustickom vstupe mikrofónu sa so zariadením elektrostatického aktuátora na rozšírenie merania frekvenčnej charakteristiky mikrofónov elektrostatickou metódou nachádza v laboratóriu č. H- 365.

Objekt H je zabezpečený proti vniknutiu cudzích osôb elektronicky. Dvere laboratórií sa počas neprítomnosti obsluhy uzamknávajú.

Počas používania sa etalóny podľa uváženia čistia čistou buničinovou vatou. V prípade väčších nečistôt je povolené použiť čistý lieh alebo éter. Membránu mikrofónu môže čistiť iba garant etalónu.

V prípade dlhodobého odstavenia etalónu, sa jednotlivé zariadenia odpoja od elektrickej siete. Snímače vyžadujúce zvýšenú mechanickú opatrnosť na znečistenie a mechanické otrasy, prípadne rázy, sa uložia do ochranných puzdier výrobcu a uložia v protiprachovej skrini, pokiaľ možno, za prítomnosti silikagelu absorbujúceho nadmernú vzdušnú vlhkosť.

- Prenášanie a premiestňovanie komponentov NE akustického tlaku

Etalóny sa z uvedených miestností vynášajú iba pre účely medzinárodných porovnávacích meraní, všetky práce s nimi sa vykonávajú v uvedených miestnostiach laboratória akustického tlaku. Podľa potreby sa etalónové mikrofóny a akustické kalibrátory - pistonfóny prenášajú medzi uvedenými miestnosťami.

Transport etalónových meracích mikrofónov v rámci medzinárodného porovnávacieho merania sa uskutočňuje len prostredníctvom osôb. Etalóny sú uložené do krabíc výrobcu, pričom sa ukladajú do ďalšieho plastového puzdra, kde sú zovreté penovými alebo špongiovými výplňami.

Etalónové zariadenie v celosti sa nepremiestňuje. Prenášanie jednotlivých zariadení na účely kalibrácie sa eviduje vykonaním záznamu do denníka etalónu.

Bez súhlasu garanta etalónu nesmú byť prístroje z akéhokoľvek dôvodu premiestňované.

e. Postupy na používanie etalónu

Národný etalón akustického tlaku možno používať:

konkrétne

- na absolútnu kalibráciu etalónových kondenzátorových mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm recipročnou metódou v tlakovej komôrke
- na meranie mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm a 12 mm porovnávacou metódou
- na meranie efektívneho objemu mikrofónov
- na kalibráciu akustických kalibrátorov a pistonfónov
- na meranie ekvivalentného objemu mikrofónov

vo všeobecnosti

- pri medzinárodných porovnávacích meraniach
- pri overovaní primárnych etalónových mikrofónov
- pri nadväzovaní sekundárnych etalónových mikrofónov
- pri výskumných a vývojových prácach, zameraných na zlepšovanie vlastností národného etalónu z hľadiska metrologických parametrov (zmenšovanie neistoty kalibrácie, rozšírenie frekvenčného rozsahu...), kontroly týchto parametrov alebo inovácie prístrojového vybavenia

- Používanie a intervaly recalibrácie

Etalónové meracie kondenzátorové mikrofóny sa používajú na kalibráciu sekundárnych etalónových tlakových mikrofónov porovnávacou metódou, prípadne metódou reciprocity, pričom kalibrácia sekundárnych etalónov sa vykonáva raz za rok. Merania vlastných meracích mikrofónov na voľné pole sa vykonávajú podľa potreby. Na kalibráciu metódou reciprocity sa používajú všetky zariadenia zo zostavy NE akustického tlaku. Pri kalibrácii porovnávacou metódou sa zostava zariadenia pre určenie akustickej impedancie mikrofónov nepoužíva. Zostava NE sa zároveň používa na kalibráciu akustických kalibrátorov a pistonfónov, ktoré sa kalibrujú raz ročne. V prípade pochybností o hodnote etalónov sa meranie uskutoční opätovne v skrátenom časovom intervale.

Ostatné meracie zariadenia zo zostavy NE majú rozdielny recalibračný interval. Ten je závislý podľa toho, či sa jedná o citlivý snímač alebo pevný mechanický diel. Takto sa recalibračný časový interval pohybuje od 1 roku pre číslicový barometer, cez 2 roky pre snímač vlhkosti a teploty, 3 roky pre väčšinu elektrických prístrojov –voltmetre, generátory až po 10 rokov pre sadu zaslepovacích zátok s definovaným objemom. Časové záznamy z recalibrácie sa evidujú v Evidenčnej karte každého meradla.

Meranie citlivosti etalónových mikrofónov sa uskutočňuje minimálne dva razy ročne. Meranie efektívneho objemu ako aj meranie ekvivalentného objemu mikrofónov sa uskutočňuje aspoň raz za dva roky. Výsledky merania sa porovnávajú s hodnotami medzinárodných porovnávacích meraní, ktoré sa považujú za vzťažné a voči ktorým sa potom vyhodnocuje posuv hladiny tlakovej citlivosti etalónových kondenzátorových meracích mikrofónov.

- Podmienky pri skúšaní

Laboratórium je počas procesu kalibrácie zatvorené. V prípade nevyhnutnej potreby prerušiť meranie je meranie možné pozastaviť klávesou Esc. Meranie sa samotné pozastaví, ak rušenie z vibrácií prekročí povolenú hodnotu. Taktiež sa meranie pozastaví, ak polarizačné napätie prekročí povolený interval $\pm 0,02$ V, prípadne voltmeter mikrofónu B odčíta prechod nulou pri prepnutí prepínacej jednotky z módu mikrofón prijímač na mikrofón vysielač.

Pri meraní efektívnych objemov sa vypnú číslicové voltmetre HP 3458A a meranie sa vykonáva digitálnym voltmetrom Schlumberger Solartron 7081, ktorého ventilátor je značne tichý, čím sa dosiahne lepší S/N pomer.

V závislosti od podmienok nastavenia klimatizácie počas daného ročného obdobia veľinom sa pristupuje pri presných meraniach, kde hluk z klimatizačných jednotiek je natoľko rušivý, že by mohol znehodnotiť, prípadne znemožniť meranie, ku krátkodobému odstaveniu klimatizačnej jednotky prostredníctvom telefonického kontaktu s veľinom. Takéto odstavenia sa uskutočňujú aj pri meraní ekvivalentných objemov mikrofónov, ako aj pri rozšírení frekvenčnej charakteristiky mikrofónu elektrostatickou metódou.

Teplota v miestnosti H - 144a musí byť stála a musí sa udržiavať v medziach $(23 \pm 1,5)^\circ\text{C}$. Teplota v miestnosti H - 365 sa musí udržiavať v medziach $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$. Vlhkosť v laboratóriu je sledovaná vlhkomerom Testo v povolenom tolerančnom rozsahu (20-70) %. Ak nastane zvýšenie teploty meranie sa prerušuje.

Výsledky meraní hladiny tlakovej citlivosti sú korigované na referenčné podmienky okolia- teplotu 23°C a statický tlak 101325 Pa.

- Zásady manipulácie s mikrofónmi

Mikrofónové kapsuly patria medzi najchúlostivejšie snímače a preto vyžadujú mimoriadnu opatrnosť pri manipulácii. Mriežka z mikrofónov sa sníma iba pri kontrole povrchu membrány a jej prípadnom čistení a pri meraní v tlakovej komôrke. Pri vkladaní opozitného mikrofónu, resp. akustického kalibrátora na teleso mikrofónu sa rýchlosť pohybu nasunutia musí rovnať desiatkam $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$. V inakšom prípade môže dôjsť k poškodeniu membrány mikrofónu. Polarizačné napätie mikrofónu musí byť pritom odpojené, aj z dôvodu bezpečnostnej ochrany operátora.

Naskrutkovanie mikrofónovej kapsuly na držiak mikrofónu je z dôvodov teplotnej kapacity užitočné vykonávať s nasadenými rukavicami. Pri vkladaní mikrofónu s nominálnym objemom 12 mm do aktívnej komôrky je nevyhnutné najprv na mikrofón nasadiť redukciu 12/24 mm. V inakšom prípade dôjde ku stretu mikrofónu na membránu etalónového mikrofónu a jeho zmene citlivosti až závažnému mechanickému poškodeniu membrány pretrhnutím. Pri ostatných meraciach mikrofónoch pri meraní bez mriežky je potrebné nasadiť opatrne namiesto mriežky príslušný redukčný prstenec. Redukčný prstenec musí byť pri ďalších meraniach ten istý z dôvodu zachovania približne rovnakého predmembránového objemu mikrofónu.

- Príprava mikrofónu

- pred meraním sa mikrofónové kapsuly vyberú z krabíc a opatrne naskrutkujú na držiaky mikrofónov, ktoré sú odpojené od prepínacej jednotky
- opatrne sa snímu ochranné mriežky mikrofónov
- v prípade potreby sa opatrne utrie okraj hrany mikrofónu jemnou vatou, prípadne sa použije rýchly prúd vzduchu v smere kolmom na os mikrofónu (túto operáciu môže vykonať iba garant etalónu)
- na mikrofón v držiaku B sa nasadí aktívna komôrka s piezoprstencom na úplný doraz
- druhý mikrofón sa opatrne naskrutkuje na mikrofónový držiak a nasadí sa do pozície A oproti mikrofónu B
- pružina pritláčacieho zariadenia sa natiahne a nasadí na mikrofónový držiak A
- až po tomto úkone sa pripojí polarizačné napätie na jednotlivé mikrofóny
- v prípade potreby odstránenia akustického skratu na nízkych frekvenciách sa použije vákuová vazelína v opatrne malom množstve
- po meraní sa postupuje opačným spôsobom t.j. najprv sa odpojí polarizačné napätie a až potom sa opatrne pomaly vytiahne mikrofónový držiak s mikrofónom z aktívnej tlakovej komôrky

- Príprava merania efektívneho objemu

- zaslepovacie zátky sa dôkladne očistia a dosadacie plochy sa jemne natrú vákuovou vazelínou
- pred nasadením zaslepovacej zátky nad mikrofón vysielateľ sa otvorí kapilára na vyrovnanie tlakov
- nasadí sa zaslepovacia zátka a uzavrie sa vyrovnávacia kapilára
- nasadí sa pružina pritláčacieho zariadenia a vykoná sa meranie
- pred zmenou zaslepovacej zátky je potrebné postupovať opačne t.j. otvoriť opätovne vyrovnávaciu kapiláru a zaslepovaciu zátku vytiahnuť

- Príprava merania ekvivalentného objemu

- mikrofón sa na zariadenie na meranie elektrickej impedancie mikrofónov nasadzuje pri vypnutom polarizačnom napätí
- $\lambda/4$ vlnovod sa nasadzuje opatrne, pričom kapilára na vyrovnanie tlakov je otvorená
- až po nastavení vypočítanej vzdialenosti skratovacieho piestu nad membránou mikrofónu sa vyrovnávacia kapilára uzavrie
- pri nastavení inej frekvencie sa mení táto vzdialenosť, preto je potrebné na ten čas vyrovnávaciu kapiláru uvoľniť
- pred sňatím mikrofónu z držiaku je potrebné polarizačné napätie odpojiť

- Príprava merania akustického kalibrátora

- mikrofón sa upevní na držiak mikrofón pripevnený na stojane pri vypnutom polarizačnom napätí
- akustický kalibrátor, resp. pistonfón sa nasadzuje veľmi opatrne na mikrofón
- pri snímaní je požiadavka rovnaká

Pri práci s NE akustického tlaku sa postupuje podľa nasledovných Pracovných postupov a návodov :

PP 019/250/02 PP na kalibráciu meracích mikrofónov
PP 08/250/02 PP na kalibráciu akustických kalibrátorov

Návod na obsluhu číslicového voltmetra AC Hewlett- Packard HP 3458A

Návod na obsluhu číslicového voltmetra DC Metra MIT 330

Návod na obsluhu programovateľného generátora sínusového napätia TESLA BM 536

Návod na obsluhu osciloskopu TESLA BM 566A

Návod na obsluhu číslicového barometra DRUCK typ DPI-141

Návod na obsluhu dvojkanálového teplomera a vlhkomera Testo 650

Návod na obsluhu dvojkanálového teplomera Testo 950

Návod na obsluhu merača vlhkosti Assmanovho psychrometra

Návod na obsluhu merací zosilňovača Brüel & Kjær typ 2610

Návod na obsluhu pásmovej priepuste Brüel & Kjær typ 1617

Návod na obsluhu generátora sínusového napätia s ultra nízkym skreslením Stanford Research System Model DS 360

Návod na obsluhu digitálny voltmetra Schlumberger Solartron 7081

Návod na obsluhu kapacitného mosta- presného LCR merača Quad Tech 7400

Návod na obsluhu komunikačnej jednotky IMS 2 RL TRANS Rela

Návod na obsluhu kalibračného aparátu B&K 4142

Návod na obsluhu generátora B&K 1022

Návod na obsluhu pistonfónu B&K 4228

Návod na obsluhu čítača frekvencie Tesla BM 641

- Prehliadky a údržba (čistenie, spôsob kontroly medzi termínmi rekaliibrácie)

Metrologické parametre etalónov akustického tlaku sa porovnávajú s hodnotami medzinárodných porovnávacích meraní, ktoré sa považujú za vzťažné, a voči ktorým sa potom vyhodnocuje posuv hladiny tlakovej citlivosti jednotlivých etalónových kondenzátorových meracích mikrofónov. Tým sa sleduje stabilita uchovania hodnoty jednotky veličiny akustického tlaku. V medzi období sa považuje posledne schválené vyhodnotenie výsledkov porovnávacieho merania za fundamentálne, až kým ho nenahradí ďalšie medzinárodné porovnávacie meranie s uznanými a teda správnymi výsledkami.

Sekundárne etalóny nadviazané na etalóny, ktoré boli kalibrované pri medzinárodných porovnávacích meraniach indikujú správnosť odovzdávania hodnoty príslušnej jednotky na ostatné meradlá a tým aj stabilitu hodnoty etalónov v rámci neistoty týchto meraní.

Etalóny sú uložené v klimatizovanom laboratóriu, do ktorého voľne vstupujú iba pracovníci laboratória akustických veličín. Metrologické parametre etalónových mikrofónov sa kontrolujú pri každom ich použití pri meraní mikrofónov - každé meranie s mikrofónmi dáva obraz o aktuálnych metrologických parametroch etalónu založeného na báze metódy reciprocity.

Pri práci a počas pobytu v laboratóriu je potrebné dodržiavať laboratórny poriadok, predpisy bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. V laboratóriu sa nesmú vykonávať žiadne mechanické práce vytvárajúce prach, kovové piliny, vibrácie.

Prístroje a zariadenia, tvoriace zostavu NE akustického tlaku musia byť udržiavané v prevádzkyschopnom stave tak, aby boli dodržané metrologické parametre. Správna a spoľahlivá funkcia NE akustického tlaku sa v čase medzi dvoma medzinárodnými porovnávacimi meraniami overuje premeraním etalónovými mikrofónmi, ktoré patria do zostavy NE akustického tlaku. Pred každým takýmto meraním sa kontroluje funkčná správnosť prístrojov patriacich do celkovej zostavy.

Všetky činnosti, ako sú merania, kontrola, údržba, oprava, výmena ktoréhokoľvek prístroja a podobne, týkajúca sa NE akustického tlaku sa eviduje v Denníku národného etalónu akustického tlaku, resp sú evidované v zošite údržby, porúch a opráv zariadení a prístrojov. Plán údržby prístrojov a zariadení je evidovaný aj v excelovskom súbore Evidenčné karty prístrojov. Prílohu denníka tvoria záznamy dát jednotlivých etalónových mikrofónov patriacich do zostavy. Výsledky meraní etalónových mikrofónov sa porovnávajú vyhodnotením trendov mikrofónov.

- Podmienky zachovania metrologických parametrov NE akustického tlaku

Metrologické parametre NE akustického tlaku sú určené metrologickými parametrami etalónových meracích mikrofónov nominálneho priemeru 24 mm, ako aj parametrami etalónových kondenzátorov a parametrov zariadení na ich meranie. Pokiaľ tieto etalóny, ale najmä tie vo funkcii snímačov, nevratne nezmenia svoje parametre, je NE akustického tlaku funkčný.

K súčasnej nevratnej zmene parametrov etalónových mikrofónov môže dôjsť len pri neodbornej manipulácii, pri náhodnej hrubej nehode (pád mikrofónov pri prenose), prerazenie napätím alebo mechanickým pôsobením vysokého tlaku. Únava materiálu membrány nie je taktiež vylúčená. Pri predpísanej manipulácii a pri bežnom používaní podľa predpisov by nemalo nastať poškodenie etalónov. Možné sú i havárie zariadenia prepínacej jednotky, ako aj zariadenia na určenie akustickej impedancie mikrofónov a zariadenia na meranie efektívneho objemu mikrofónov. Tieto je možné odstrániť vlastnými silami, pretože sú to zariadenia vyrobené v SMÚ. Ostatné prístroje sú komerčné a môžu byť vymenené za zariadenia rovnakých technických parametrov, bez ovplyvnenia metrologických parametrov NE akustického tlaku. Počas poruchy niektorého z týchto zariadení, kým nie je nahradené, NE neplní svoju funkciu v plnom rozsahu.

Etalonáž akustického tlaku - najmä nadväzovanie etalónov nižších rádov v priebehu roka však tým nie je úplne odstavená, nakoľko na túto činnosť sa zatiaľ použije pistonfón alebo multifunkčný akustický kalibrátor laboratória akustického tlaku SMÚ.

Nadväznosť

Nadväznosť zariadení NE akustického tlaku na základné a odvodené jednotky SI je zabezpečená nasledovne :

rozmerové veličiny na národný etalón dĺžky 002/97 SMU Bratislava

frekvencia na etalón času a frekvencie 004/97 SMU Bratislava

statický tlak na národný etalón tlaku 006/97 SMU Bratislava

teplota na národný etalón teploty 020/A/99 SMU Bratislava

relatívna vlhkosť na etalón vlhkosti vzduchu SMU Bratislava

jednosmerné napätie na národný etalón stupnice jednosmerného napätia 011/98 SMU Bratislava
striedavé napätie na národný etalón stupnice jednosmerného napätia 011/98 SMU Bratislava
kapacita a stratový činiteľ na etalón kapacity ČMI Brno

Etalóny akustických veličín sa nadväzujú na NE akustického tlaku SMÚ Bratislava a používajú v zmysle Schémy nadväznosti meradiel akustického tlaku vo vzdušnom prostredí - TPM 5400-97.

Bilancia neistôt

Každý výsledok merania je uvedený s neistotou merania. Neistoty sa vyjadrujú podľa ISO *Guide to the Expression of Uncertainty of Measurement* resp. podľa EA- 4/02 *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*- Vyjadrovanie neistôt merania pri kalibráciách.

Výsledná prehľadná bilancia neistôt je uvedená v kapitole 3.3 tejto správy, podrobnejší výpočet je uvedený v PP 019 Meracie mikrofóny. Zoznam programov, ktoré vo forme Excel vykonávajú výpočet neistôt je uvedený v kapitole 7.3 tejto správy, tlačaná forma je v jednotlivých žltých PVC zakladačoch. Publikovaný prehľad výpočtu je uvedený v článku *Unertainty budget of the SMU type LS 1 standard microphone measurement* v Prílohe 5.4 tejto správy.

EUROMET PROJECT 399

An international comparison of sound pressure standards

Richard Barham

March 2005

EUROMET PROJECT 399
AN INTERNATIONAL COMPARISON OF SOUND PRESSURE STANDARDS

R G Barham
Quality of Life Division
National Physical Laboratory
Teddington, Middlesex, TW11 0LW, UK

ABSTRACT

An international comparison of primary standards for sound pressure, by the calibration of laboratory standard microphones, has taken place between fourteen institutes within Euromet. A 'three-pilot' structure was adopted. These three laboratories first exchanged microphones between themselves and subsequently with three or four other laboratories each. A reference value has been defined which allows any two laboratories to compare results. Results for type LS1 microphones were within a range of ± 0.15 dB and for LS2a microphones were within a range of ± 0.06 dB, for all frequencies up to 10 kHz and 20 kHz respectively. This project now becomes a regional comparison alongside the worldwide CCAUV key comparisons that are underway or completed. Results for LS1P microphones from this comparison have been linked to CCAUV.A-K1.

CONTENTS

1. INTRODUCTION	1
2. THE PROTOCOL AND ORGANISATION OF THE COMPARISON.....	1
3. DETERMINATION OF A REFERENCE VALUE	2
4. RESULTS AND DISCUSSION	3
5. LINKING RESULTS TO THE KEY COMPARISON REFERENCE VALUE	8
6. CONCLUSIONS.....	11
7. ACKNOWLEDGEMENT.....	11
8. REFERENCES.....	11
ANNEX A. RESULTS AND DEGREES OF EQUIVALENCE	12
ANNEX B. REPORTED RESULTS FOR TELECOM ENGINEERING (FINLAND).....	17

1. INTRODUCTION

Direct realisation of the primary standards for sound pressure in air cannot provide the accuracy required to meet the needs for acoustical measurement. By international agreement therefore, pressure sensitivity of laboratory standard microphones determined by the reciprocity method, provide the basis for primary standards. The sensitivity is measured in units of volts per pascal, but usually quoted in decibels relative to 1V/Pa. IEC 61094-1 specifies the acoustical and geometrical properties of two types of laboratory standard microphone, referred to as type LS1 and type LS2a. These types of microphone have a similar construction and differ mainly in their size. LS1 microphones are nominally 25 mm in diameter and LS2 microphone are 12.6 mm in diameter. They used to be referred to as 'one-inch' and 'half-inch' microphones respectively, although the nomenclature introduced in IEC 61094-1¹ makes such historically based references unnecessary. The calibration principle, though not the methodology, is described in detail in IEC 61094-2².

An international comparison to compare results of microphone calibrations has been organised within Euromet. The project was agreed in September 1998 and the measurements took place over a eight month period ending May 1999. The results have been reported within Euromet, but until now, no widely available publication has been produced.

The main reason for this is that since this project was conceived, the CCAUV has been formed. The consultative committee has the remit for formalising comparisons between laboratories worldwide, using a systematic series of key, regional and supplementary comparisons. Although this project was completed just as CCAUV was being formed, it was decided to give it the status of a regional comparison and ultimately link its results to appropriate key comparisons. Consequently the project has become known as EUROMET.A-K1. Since the formation of CCAUV, a worldwide key comparison on the calibration of type LS1 has been completed³. A further key comparison on the calibration of type LS2a is in progress.

This report will therefore briefly describe the comparison, present the results and provide data for type LS1 microphones that has been linked to the key comparison reference value.

2. THE PROTOCOL AND ORGANISATION OF THE COMPARISON

Fifteen laboratories agreed to participate in the comparison as shown in Table 1. However LNE, France, were unable to provide any results before the completion of the measurement phase of the project and had to withdraw. Participants had the option of calibrating either type LS1 or type LS2a microphones, or one of each type. Given the large number of participants and the timescale proposed for the project, the traditional round-robin arrangement was not viable. Instead the comparison was built up from a coordinated series of bilateral comparisons, where two laboratories exchanged microphones and compared results.

NPL, DPLA and PTB formed a nucleus for the project, where DPLA and PTB each exchanged microphones with NPL. These three laboratories in turn exchanged microphones with four other laboratories independently. Each laboratory was asked to supply two microphones for the project. Those that chose to, contributed one type LS1 and one type LS2 microphone. Others chose to calibrate two examples of the same type of microphones.

Participant	Acronym	Country	Microphones exchanged	Exchanged with
National Physical Laboratory	NPL	UK		-
Physikalische-Technische Bundesanstalt	PTB	Germany	2 LS1, 2 LS2	NPL
Danish Primary Laboratory for Acoustics	DPLA	Denmark	2 LS1, 2 LS2	NPL
Czech Metrological Institute	CMI	Czech Rep.	2 LS1	NPL
Institute National de Metrology	INM	France	1 LS1, 1 LS2	NPL
Telecom Engineering	TE	Finland	1 LS1, 1 LS2	NPL
Central Office of Measures	GUM	Poland	2 LS2	NPL
Instituto Electrotecnico Nazionale	IEN	Italy	1 LS1, 1 LS2	PTB
Slovenky Metrologicky Ustav	SMU	Slovak Rep.	2 LS1	PTB
Orszagos Meresugyi Hivatal	OMH	Hungary	2 LS1	PTB
National Metrology Institute	UME	Turkey	2 LS1	PTB
Instituto de Acustica	IA	Spain	1 LS1, 1 LS2	DPLA
Swiss Federal Office of Metrology	OFMET	Switzerland	1 LS1, 1 LS2	DPLA
Swedish National Testing and Research Institute	SP	Sweden	1 LS1, 1 LS2	DPLA
Bundesamt für Eich-und Vermessungswesen	BEV	Austria	1 LS1, 1 LS2	DPLA

Table 1. Participants in the comparison

The protocol required the pressure sensitivity of the microphones to be determined according to IEC 61094-2, and the results and uncertainties to be reported by the issue of the participant's usual calibration certificate. A summary of their uncertainty calculation was also requested.

The advantages of this three-pilot approach were that measurements could be made by a number of participants in parallel, one laboratory was not over-burdened, and the stability of the microphones became less of an issue because it was only transferred between two laboratories. The disadvantage was that many different microphones were used, each having an arbitrary sensitivity. Some means of comparing any two laboratories, regardless of their position in the structure of the comparison, therefore needed to be developed.

3. DETERMINATION OF A REFERENCE VALUE

The results from the comparison need to be considered in two ways. First, it is necessary and interesting to consider the comparison as an exercise in its own right. Ultimately though, the results have much greater value by being linked to the key comparison reference value. However, in order to perform this linking, the results must first be referred to a reference value derived from this comparison alone. Initially then, the results for this regional comparison are considered in isolation.

The measurements that have been made result in values for the pressure sensitivities of the microphones used, but these absolute figures have no significance beyond characterising the particular microphone. What is important is that this data provides a means for comparing the performance of the two laboratories that calibrated the microphones. It is now necessary to find some way of removing the dependence on particular microphones and enabling results from any two laboratories to be compared, the complex structure of the comparison notwithstanding.

The process begins by defining an initial reference point for the three pilot laboratories. Both PTB and DPLA exchanged microphones with NPL, so in both cases a difference in the microphone

sensitivity at each frequency can be calculated. The initial reference value at each frequency was then taken to be one-third the sum of these differences. It is then the case that the mean deviation from this reference value at each frequency, across these three laboratories is zero.

For each of the other laboratories it is then possible to determine the difference in the sensitivities of the microphones exchanged with the relevant pilot laboratory and therefore relate their results to the initial reference point. With all participating laboratories related to the same reference point it is then possible to compare data from any two. However, the reference point is currently only defined in terms of the performance of the three core laboratories and should be re-determined so that the mean deviation across all laboratories is zero at each frequency. This is achieved by calculating the grand mean deviation from the initial reference point at each frequency, and adjusting the results of each participant by this amount, so that the resulting new grand mean deviation becomes zero at each frequency. These adjusted results then specify the performance of each participant relative to the defined reference point for the comparison, which by design has a value of zero. Notice that shifting the initial reference point as describe does not alter the results of one participant relative to another's.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Although the comparison started with 15 participants, INM (France) were unable to take part in the measurements and withdrew. In addition TE (Finland) completed their measurements but reported their results without associated uncertainties. These results have therefore been excluded, but are reproduced in Annex B for information.

Nevertheless this was a large-scale comparison involving 14 participants and 32 microphones, producing 1060 individual measurement results each with an associated uncertainty. This report does not therefore aim to overwhelm by presenting all of this data and the interim results of the data reduction process. Instead the main results, emerging from the process described in the previous section are presented.

Table 2 and Table 3 show the results of the comparison in terms of the deviation from the reference value that has been established. The results are also plotted in Figure 1 and Figure 2.

The results for type LS2a microphones shown in Figure 2, deserve comment. The calibration of type LS2a microphones is technically more demanding than type LS1 microphones, yet the relative level of agreement that has been obtained would suggest otherwise. However, only a subset of the participants opted to take part in the LS2a comparison. These laboratories might be regarded as the ones that have longer experience in reciprocity measurements and may have had earlier opportunities to compare their performance. It might therefore be expected that this smaller set of laboratories might reach closer agreement in their measurements.

Lab <i>i</i> Frequency (Hz)	NPL	IA	DPLA	BEV	SP	IEN	PTB	UME	OFMET	SMU	OMH	CMI
	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB	M_1 $2u_1$ dB
63	-0.01 0.03	0.02 0.05	-0.03 0.04	-0.02 0.06	0.00 0.05	-0.02 0.05	0.00 0.03	0.03 0.05	-0.04 0.03	0.02 0.04	0.03 0.07	- -
125	0.00 0.03	-0.02 0.04	-0.01 0.03	0.00 0.03	0.01 0.04	0.00 0.05	0.02 0.03	0.03 0.05	-0.02 0.03	0.01 0.04	0.04 0.07	-0.03 0.03
250	0.00 0.03	-0.03 0.04	-0.01 0.03	-0.01 0.03	0.01 0.04	-0.01 0.05	0.02 0.03	0.03 0.05	-0.01 0.03	0.01 0.04	0.04 0.07	-0.04 0.03
500	0.00 0.03	-0.01 0.04	-0.01 0.03	-0.01 0.03	0.00 0.04	0.00 0.05	0.02 0.03	0.02 0.05	-0.02 0.03	0.02 0.04	0.02 0.07	-0.03 0.03
1000	0.00 0.03	0.00 0.04	-0.01 0.03	-0.01 0.03	0.01 0.04	-0.02 0.05	0.01 0.03	0.05 0.05	-0.02 0.03	0.01 0.04	0.00 0.07	-0.04 0.03
1250	0.00 0.03	- -	-0.01 0.03	-0.02 0.03	0.01 0.04	-0.03 0.05	0.00 0.03	0.04 0.05	- -	0.00 0.04	-0.01 0.07	- -
1600	0.01 0.03	- -	0.00 0.03	-0.01 0.03	0.00 0.04	-0.03 0.05	0.01 0.03	0.06 0.05	-0.02 0.03	0.01 0.04	0.00 0.07	- -
2000	0.01 0.03	- -	-0.01 0.03	-0.02 0.03	0.00 0.04	-0.02 0.05	0.02 0.03	0.07 0.05	-0.04 0.03	0.02 0.04	0.00 0.07	- -
2500	0.00 0.04	- -	-0.01 0.03	-0.02 0.03	-0.01 0.04	-0.02 0.05	0.01 0.03	0.05 0.05	- -	0.02 0.04	-0.02 0.07	- -
3150	0.01 0.04	- -	0.00 0.03	-0.02 0.03	0.00 0.05	-0.02 0.05	0.02 0.03	0.02 0.05	0.00 0.03	- -	-0.01 0.07	- -
4000	0.01 0.04	- -	0.01 0.03	-0.02 0.03	0.00 0.05	-0.03 0.05	0.02 0.03	0.02 0.05	0.00 0.03	- -	-0.02 0.07	- -
5000	0.01 0.05	- -	0.02 0.04	-0.03 0.04	0.00 0.06	-0.03 0.05	0.03 0.06	0.03 0.10	- -	- -	-0.03 0.07	- -
6300	0.03 0.05	- -	0.02 0.05	-0.06 0.05	0.01 0.07	-0.03 0.05	0.05 0.06	-0.01 0.10	0.01 0.05	- -	-0.03 0.07	- -
8000	0.03 0.05	- -	0.00 0.06	-0.09 0.06	0.03 0.10	0.04 0.05	0.05 0.06	-0.03 0.10	-0.01 0.04	- -	-0.04 0.07	- -
10000	0.03 0.09	- -	-0.04 0.12	-0.06 0.12	0.12 0.20	-0.03 0.08	0.02 0.06	0.02 0.10	-0.06 0.04	- -	- -	- -

Table 2. Results for type LS1 microphones.

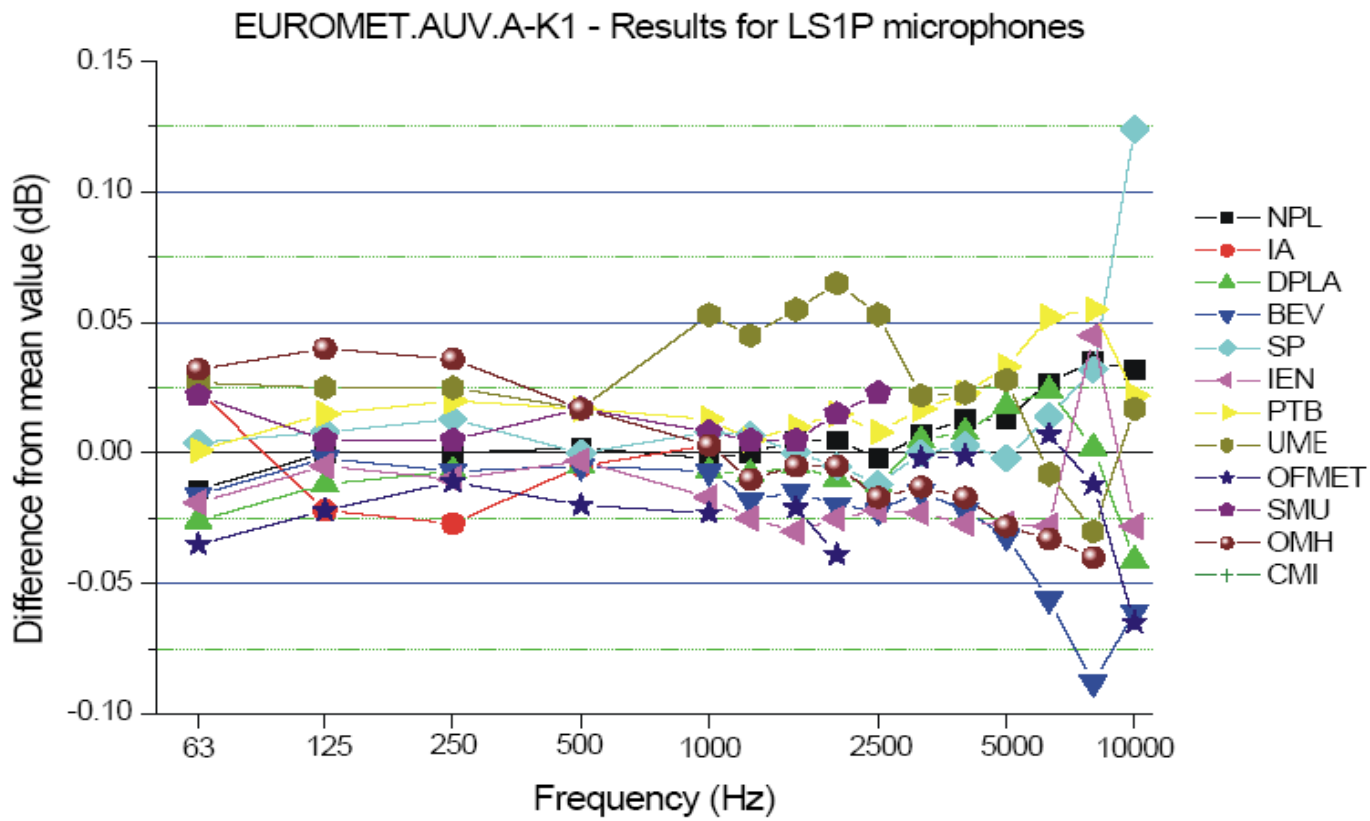


Figure 1. Graph of results for type LS1 microphones.

Lab <i>i</i> Frequency (Hz)	NPL		DPLA		BEV		SP		IEN		PTB		OFMET		GUM	
	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB
63	-0.01	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.08	0.01	0.05	0.01	0.06	-0.01	0.04	0.01	0.05
125	-0.02	0.05	0.00	0.04	-0.01	0.05	0.00	0.06	0.00	0.05	0.01	0.06	0.00	0.03	0.00	0.05
250	-0.02	0.05	0.00	0.04	-	-	-0.01	0.05	0.00	0.05	0.00	0.06	0.00	0.03	0.00	0.05
500	-0.01	0.05	0.01	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	0.01	0.05	0.00	0.06	0.00	0.03	0.01	0.05
1000	-0.02	0.05	0.00	0.04	-0.01	0.05	0.00	0.05	0.02	0.05	0.00	0.06	-0.01	0.03	0.01	0.05
2000	-0.01	0.05	0.01	0.04	-0.01	0.05	-0.01	0.05	0.01	0.05	-0.01	0.06	0.00	0.03	0.01	0.05
4000	-0.01	0.05	0.01	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.02	0.06	0.00	0.03	0.00	0.05
5000	-0.01	0.05	0.01	0.04	0.00	0.06	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.02	0.09	-	-	0.01	0.05
6300	-0.01	0.05	0.01	0.04	-0.01	0.06	0.00	0.06	-0.02	0.05	-0.01	0.09	0.01	0.04	0.02	0.05
8000	-0.01	0.06	0.02	0.04	0.00	0.07	0.01	0.06	-0.04	0.05	-0.01	0.09	0.01	0.04	0.01	0.06
10000	-0.01	0.07	0.02	0.06	0.00	0.09	0.01	0.08	-0.06	0.08	-0.01	0.09	0.02	0.04	0.02	0.07
12500	-0.01	0.08	0.01	0.06	-0.03	0.11	-0.01	0.10	-	-	-0.02	0.09	0.02	0.07	0.02	0.08
16000	-0.02	0.09	0.01	0.08	-0.03	0.14	-0.05	0.12	-	-	-0.01	0.09	-0.01	0.06	0.04	0.09
20000	-0.04	0.17	-0.01	0.12	-0.05	0.15	-0.03	0.20	-	-	-0.03	0.09	-0.03	0.05	0.04	0.17

Table 3. Results for type LS2a microphones

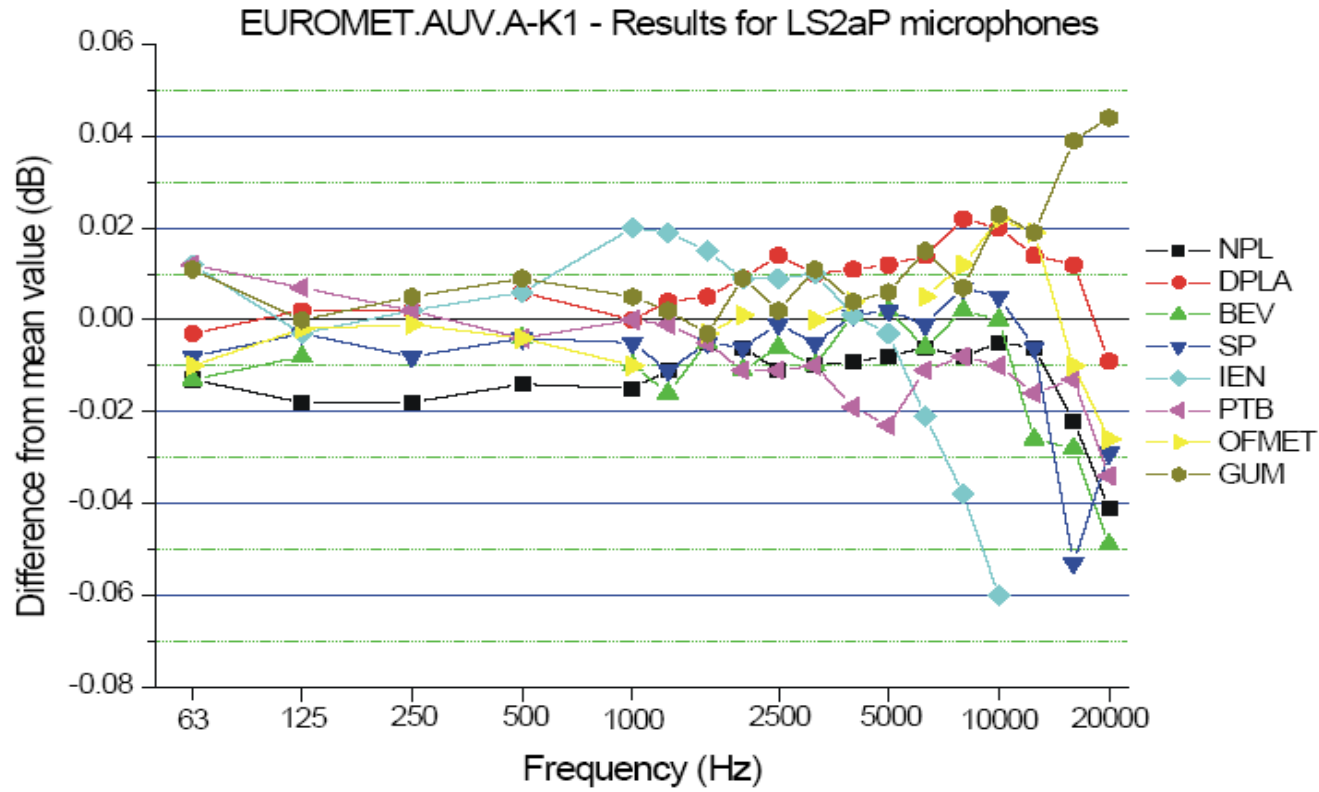


Figure 2. Graph of results for type LS2a microphones

5. LINKING RESULTS TO THE KEY COMPARISON REFERENCE VALUE

Key comparison CCAUV.A-K1 was concerned with the calibration of type LS1 microphones, and has established a key comparison reference value (KCRV) for these microphones³. Key comparison CCAUV.A-K3 is in progress and will do the same for type LS2a microphones in due course. Using the results of those laboratories that took part in both the key and regional comparisons, it is possible to link the results of all participants in the regional comparison to the KCRV.

NPL, DPLA and PTB are the laboratories that can now provide this link for type LS1 microphones. Once a KCRV is established for type LS2a microphones, these same laboratories and GUM will be used to provide the link for these microphones.

The process involves calculating the average result of the linking participants at each frequency, in each comparison. The difference between this average result from the key comparison and regional comparison then provides a 'linking factor' which is used to convert the results based on the regional comparison reference value so they become relative to the KCRV. The NPL/DPLA/PTB average results for the two comparisons and the 'linking factor' are shown on Table 3

Frequency (Hz)	Average value of results from NPL/DPLA/PTB in EUROMET.A-K1 (dB)	Average value of results from NPL/DPLA/PTB in CCAUV.A-K1 (dB)	Difference (CCAUV - EUROMET) (dB)
63	-0.013	0.008	0.021
125	0.001	0.005	0.004
250	0.005	0.004	-0.001
500	0.005	0.003	-0.001
1000	0.002	0.009	0.007
1250	-0.001	0.012	0.014
1600	0.003	0.013	0.009
2000	0.004	0.011	0.007
2500	-0.002	0.013	0.015
3150	0.010	0.012	0.002
4000	0.014	0.014	-0.001
5000	0.021	0.016	-0.005
6300	0.034	0.019	-0.015
8000	0.031	0.010	-0.021
10000	0.004	-0.006	-0.010

Table 4. Mean results of the 'linking' participants leading to the 'linking factor'

Annex A shows the results for type LS1 microphone relative to the KCRV. These have been obtained simply by adding the 'linking factor' to the data shown in Table 2[†]. The results for type LS2a microphones shown in Annex A is the same as that in Table 3.

[†] It is not sensible to show data in Table 1 and Table A1 with a precision any greater than 2 decimal places. However all calculations have been carried out with greater precision to maintain accuracy. This extends to the results from some participants, particularly the pilot laboratories whose data are produced from a statistical calculation. Because of this, there may be an apparent discrepancy of 0.01dB between data in Table 1 and the corrected data in Table A1. This is a result of the rounding process used to show the results in these tables.

Annex A also gives the degrees of equivalence with the KCRV for type LS1 microphones and with the regional comparison reference value for type LS2a microphones. Since the reference value in both cases is zero, the degrees of equivalence have the same value as the result. The difference is found in the uncertainty which includes a component for both the result and the reference value.

Finally Annex A gives the degrees of mutual equivalence between laboratories in the determination of the pressure sensitivity of each type of microphone at 250 Hz.

The linking process can be validated by comparing the performance of the linking laboratories in the two key comparisons against the KCRV in both cases. This is illustrated in Figure 3. Differences are seen to be typically less than 0.01 dB which is close to the resolution of many measurement systems and significantly lower than the measurement uncertainty. This is evidence that the linking process yields reliable results across EUROMET.A-K1 and CCAUV.A-K1 and that the performance of the linking laboratories is consistent and unchanging, especially given that the time interval between the two comparisons was as much as two years.

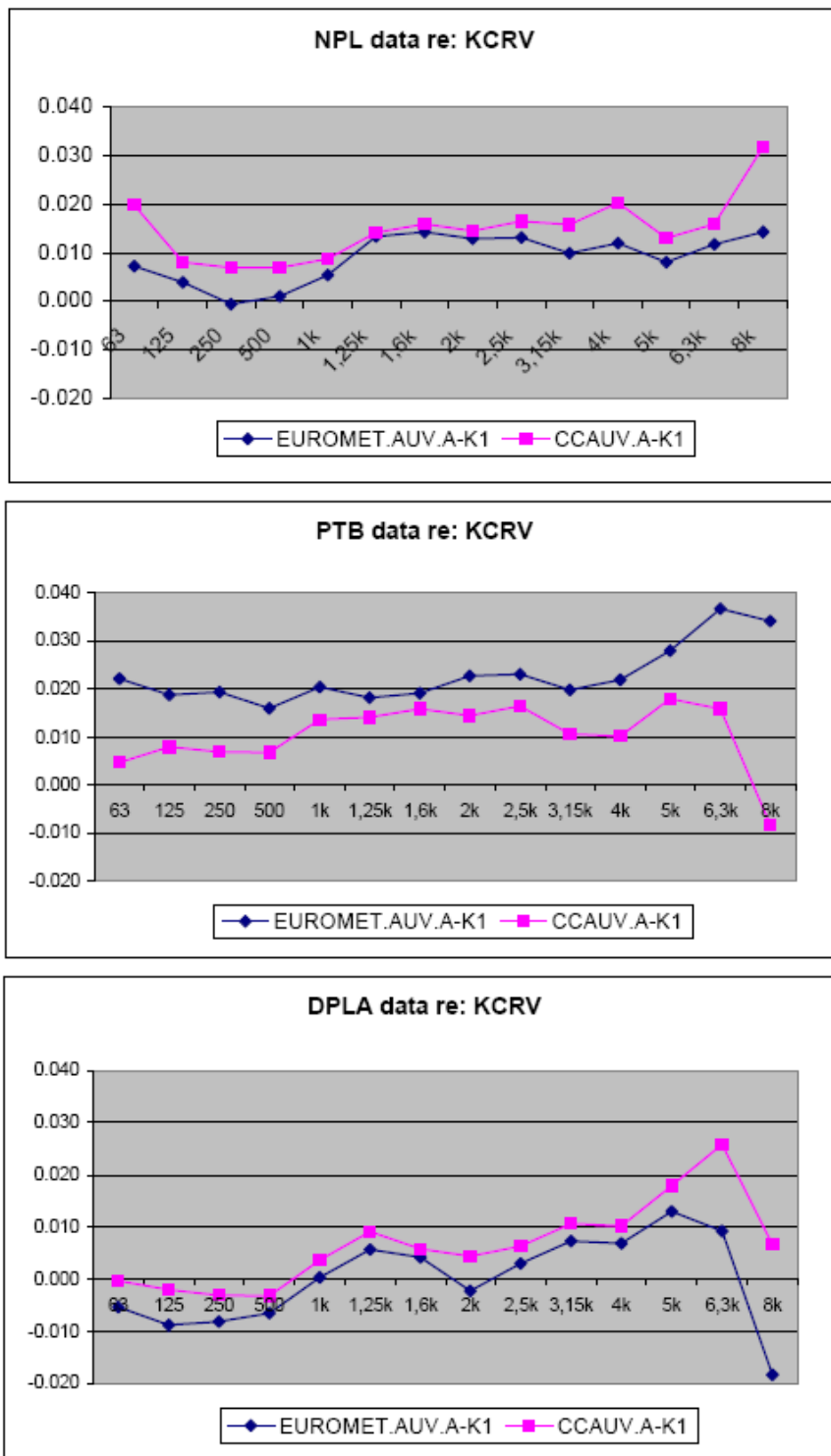


Figure 3. Performance of linking laboratories in regional and key comparisons relative to the KCRV

6. CONCLUSIONS

The 'three-pilot' structure of this comparison proved an efficient mechanism for the number of participants involved. It added a degree of complication to the analysis of the data, but the final form of the results show clearly the performance of each laboratory.

The results for type LS1 microphones were consistent within ± 0.1 dB for all frequencies up to 10 kHz, with the exception of one participant at 10 Hz. Furthermore, 8 of the 13 laboratories reported results consistent within ± 0.05 dB for all frequencies up to 10 kHz.

For LS2a microphones results from all 9 participants were within a range of ± 0.06 dB for all frequencies up to 20 kHz. Interestingly, all participant produced results in the range ± 0.02 dB for all frequencies up to 6.3 kHz

The results for the type LS1 microphones now allows a further 10 Euromet laboratories to be linked to the KCRV in the BIPM database (see www.bipm.org).

7. ACKNOWLEDGEMENT

The author gratefully acknowledges the financial support of the National Measurement System Directorate of the UK Department of Trade and Industry for the work carried out in this project by NPL. The efforts of Duncan Jarvis in setting up and coordinating this project, Mark Jiggins in developing the database to hold and analyse the data, and all of the national measurement institutes that provided data for this project are also gratefully acknowledged.

8. REFERENCES

1. IEC 61094-1:2001, Measurement Microphones - Part 1: Specifications for laboratory standard microphones. (2001).
2. IEC 61094-2:1992, Measurement Microphones - Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique. (1992).
3. R. Barham. Report on key comparison CCAUV.A-K1. NPL Report CAIR 02 (2003).

ANNEX A. RESULTS AND DEGREES OF EQUIVALENCE

The following results are presented in the preferred format for entry into the key comparison database. However only data for the type LS1P microphone are intended for the database at present. As such, data for Instituto de Acustica, Spain have been omitted from these tables because they are not recognised as an NMI or delegated laboratory.

Lab <i>i</i> Frequency (Hz)	NPL		DPLA		BEV		SP		IEN		PTB		UME		OFMET		SMU		OMH		CMI		KCRV	
	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_i</i>	<i>2u_i</i>	<i>M_{ref}</i>	<i>U_{ref}</i>
	dB		dB		dB		dB		dB		dB		dB		dB		dB		dB		dB		dB	
63	0.01	0.03	-0.01	0.04	0.00	0.06	0.02	0.05	0.00	0.05	0.02	0.03	0.05	0.05	-0.01	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	-	-	0.00	0.01
125	0.00	0.03	-0.01	0.03	0.00	0.03	0.01	0.04	0.00	0.05	0.02	0.03	0.03	0.05	-0.02	0.03	0.01	0.04	0.04	0.07	-0.03	0.03	0.00	0.01
250	0.00	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.03	0.01	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.03	0.02	0.05	-0.01	0.03	0.00	0.04	0.03	0.07	-0.04	0.03	0.00	0.01
500	0.00	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.03	0.00	0.04	0.00	0.05	0.02	0.03	0.02	0.05	-0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.07	-0.04	0.03	0.00	0.01
1000	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.02	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.03	0.06	0.05	-0.02	0.03	0.02	0.04	0.01	0.07	-0.03	0.03	0.00	0.01
1250	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03	0.02	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.03	0.06	0.05	-	-	0.02	0.04	0.00	0.07	-	-	0.00	0.01
1600	0.01	0.03	0.00	0.03	-0.01	0.03	0.01	0.04	-0.02	0.05	0.02	0.03	0.06	0.05	-0.01	0.03	0.01	0.04	0.00	0.07	-	-	0.00	0.01
2000	0.01	0.03	0.00	0.03	-0.01	0.03	0.00	0.04	-0.02	0.05	0.02	0.03	0.07	0.05	-0.03	0.03	0.02	0.04	0.00	0.07	-	-	0.00	0.01
2500	0.01	0.04	0.00	0.03	-0.01	0.03	0.00	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.03	0.07	0.05	-	-	0.04	0.04	0.00	0.07	-	-	0.00	0.01
3150	0.01	0.04	0.01	0.03	-0.01	0.03	0.00	0.05	-0.02	0.05	0.02	0.03	0.02	0.05	0.00	0.03	-	-	-0.01	0.07	-	-	0.00	0.01
4000	0.01	0.04	0.01	0.03	-0.02	0.03	0.00	0.05	-0.03	0.05	0.02	0.03	0.02	0.05	0.00	0.03	-	-	-0.02	0.07	-	-	0.00	0.01
5000	0.01	0.05	0.01	0.04	-0.04	0.04	-0.01	0.06	-0.03	0.05	0.03	0.06	0.02	0.10	-	-	-	-	-0.03	0.07	-	-	0.00	0.01
6300	0.01	0.05	0.01	0.05	-0.07	0.05	0.00	0.07	-0.04	0.05	0.04	0.06	-0.02	0.10	-0.01	0.05	-	-	-0.05	0.07	-	-	0.00	0.01
8000	0.01	0.05	-0.02	0.06	-0.11	0.06	0.01	0.10	0.02	0.05	0.03	0.06	-0.05	0.10	-0.03	0.04	-	-	-0.06	0.07	-	-	0.00	0.02

Table A1 – Reported results for type LS1 microphones relative to the KCRV.

Lab <i>i</i> Frequency (Hz)	NPL		DPLA		BEV		SP		IEN		PBT		UME		OFMET		SMU		OMH		CMI	
	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB	D_i dB	U_i dB
63	0.01	0.04	-0.01	0.04	0.00	0.06	0.02	0.05	0.00	0.05	0.02	0.04	0.05	0.05	-0.01	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	-	-
125	0.00	0.04	-0.01	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.00	0.05	0.02	0.04	0.03	0.05	-0.02	0.03	0.01	0.04	0.04	0.07	-0.03	0.04
250	0.00	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.04	0.01	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.04	0.02	0.05	-0.01	0.03	0.00	0.04	0.03	0.07	-0.04	0.04
500	0.00	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.05	0.02	0.04	0.02	0.05	-0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.07	-0.04	0.04
1000	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.02	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.04	0.06	0.05	-0.02	0.03	0.02	0.04	0.01	0.07	-0.03	0.04
1250	0.01	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.02	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.04	0.06	0.05	-	-	0.02	0.04	0.00	0.07	-	-
1600	0.01	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.04	0.01	0.04	-0.02	0.05	0.02	0.04	0.06	0.05	-0.01	0.03	0.01	0.04	0.00	0.07	-	-
2000	0.01	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.04	0.00	0.04	-0.02	0.05	0.02	0.04	0.07	0.05	-0.03	0.04	0.02	0.04	0.00	0.07	-	-
2500	0.01	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.04	0.07	0.05	-	-	0.04	0.04	0.00	0.07	-	-
3150	0.01	0.04	0.01	0.04	-0.01	0.04	0.00	0.05	-0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.05	0.00	0.04	-	-	-0.01	0.07	-	-
4000	0.01	0.04	0.01	0.04	-0.02	0.04	0.00	0.05	-0.03	0.05	0.02	0.04	0.02	0.05	0.00	0.04	-	-	-0.02	0.07	-	-
5000	0.01	0.05	0.01	0.04	-0.04	0.04	-0.01	0.06	-0.03	0.05	0.03	0.06	0.02	0.10	-	-	-	-	-0.03	0.07	-	-
6300	0.01	0.05	0.01	0.05	-0.07	0.05	0.00	0.07	-0.04	0.05	0.04	0.06	-0.02	0.10	-0.01	0.05	-	-	-0.05	0.07	-	-
8000	0.01	0.06	-0.02	0.07	-0.11	0.07	0.01	0.11	0.02	0.06	0.03	0.07	-0.05	0.11	-0.03	0.06	-	-	-0.06	0.08	-	-

The degree of equivalence of each laboratory with respect to the reference value is given by a pair of numbers: $D_i = (M_i - M_{ref})$ and U_i , its expanded uncertainty ($k = 2$), $U_i^2 = 2^2(u_i^2 + u_{ref}^2)$, both expressed in dB

The reference value and its uncertainty has been defined by key comparison CCAUV.A-K1

No KCRV is available at 10 kHz, so no degrees of equivalence can be calculated at this frequency

Table A2 – Degrees of equivalence with the KCRV for type LS1 microphones

Lab *j* ⇨

Lab <i>i</i> ↓	D_i U_i		NPL		DPLA		BEV		SP		IEN		PTB		UME		OFMET		SMU		OMH		CMI	
	dB		D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}
NPL	0.00	0.03																						
DPLA	-0.01	0.03	-0.01	0.04			0.01	0.04	-0.01	0.05	0.01	0.06	-0.02	0.04	-0.03	0.06	0.01	0.04	-0.01	0.05	-0.04	0.08	0.04	0.04
BEV	-0.01	0.03	-0.01	0.04	0.00	0.04			-0.02	0.05	0.00	0.06	-0.03	0.04	-0.03	0.06	0.00	0.04	-0.01	0.05	-0.04	0.08	0.03	0.04
SP	0.01	0.04	0.01	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05			0.02	0.06	-0.01	0.05	-0.01	0.06	0.02	0.05	0.01	0.06	-0.02	0.08	0.05	0.05
IEN	-0.01	0.05	-0.01	0.06	0.00	0.06	0.00	0.06	-0.02	0.06			-0.03	0.06	-0.04	0.07	0.00	0.06	-0.02	0.06	-0.05	0.09	0.03	0.06
PTB	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.01	0.05	0.03	0.06			-0.01	0.06	0.03	0.04	0.02	0.05	-0.02	0.08	0.06	0.04
NMI	0.03	0.05	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03	0.06	0.01	0.06	0.04	0.07	0.01	0.06			0.04	0.06	0.02	0.06	-0.01	0.09	0.06	0.06
OFMET	-0.01	0.03	-0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	-0.02	0.05	0.00	0.06	-0.03	0.04	-0.04	0.06			-0.02	0.05	-0.05	0.07	0.03	0.04
SMU	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	-0.01	0.06	0.02	0.06	-0.02	0.05	-0.02	0.06	0.02	0.05			-0.03	0.08	0.04	0.05
OMH	0.04	0.07	0.04	0.08	0.04	0.08	0.04	0.08	0.02	0.08	0.05	0.09	0.02	0.08	0.01	0.09	0.05	0.07	0.03	0.08			0.07	0.08
CMI	-0.04	0.03	-0.04	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.05	0.05	-0.03	0.06	-0.06	0.04	-0.06	0.06	-0.03	0.04	-0.04	0.05	-0.07	0.08		

Regional comparison EUROMET.A-K1

MEASURAND : Normalised sensitivity level at 250 Hz
 NOMINAL VALUE: 0 dB

Key comparison reference value: there is no single reference value for this comparison,

The degree of equivalence of each laboratory with respect to the reference value is given by a pair of numbers:

$$D_i = (M_i - M_{ref}) \text{ and } U_i, \text{ its expanded uncertainty } (k = 2), U_i^2 = 2^2(u_i^2 - u_{ref}^2), \text{ both expressed in dB}$$

The degree of equivalence between two laboratories is given by a pair of numbers:

$$D_{ij} = M_i - M_j \text{ and } U_{ij}, \text{ its expanded uncertainty } (k = 2), U_{ij}^2 = 2^2(u_i^2 + u_j^2), \text{ both expressed in dB}$$

Table A3 – Degrees of mutual equivalence for type LS1 microphones

The following results for type LS2 microphones are not valid for entry to the key comparison database. No KCRV has yet to be established for these microphones.

Lab <i>i</i> Frequency (Hz)	NPL		DPLA		BEV		SP		IEN		PTB		OFMET		GUM	
	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB	M_i dB	$2u_i$ dB
63	-0.01	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.08	0.01	0.05	0.01	0.06	-0.01	0.04	0.01	0.05
125	-0.02	0.05	0.00	0.04	-0.01	0.05	0.00	0.06	0.00	0.05	0.01	0.06	0.00	0.03	0.00	0.05
250	-0.02	0.05	0.00	0.04	-	-	-0.01	0.05	0.00	0.05	0.00	0.06	0.00	0.03	0.00	0.05
500	-0.01	0.05	0.01	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	0.01	0.05	0.00	0.06	0.00	0.03	0.01	0.05
1000	-0.02	0.05	0.00	0.04	-0.01	0.05	0.00	0.05	0.02	0.05	0.00	0.06	-0.01	0.03	0.01	0.05
2000	-0.01	0.05	0.01	0.04	-0.01	0.05	-0.01	0.05	0.01	0.05	-0.01	0.06	0.00	0.03	0.01	0.05
4000	-0.01	0.05	0.01	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.02	0.06	0.00	0.03	0.00	0.05
5000	-0.01	0.05	0.01	0.04	0.00	0.06	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.02	0.09	-	-	0.01	0.05
6300	-0.01	0.05	0.01	0.04	-0.01	0.06	0.00	0.06	-0.02	0.05	-0.01	0.09	0.01	0.04	0.02	0.05
8000	-0.01	0.06	0.02	0.04	0.00	0.07	0.01	0.06	-0.04	0.05	-0.01	0.09	0.01	0.04	0.01	0.06
10000	-0.01	0.07	0.02	0.06	0.00	0.09	0.01	0.08	-0.06	0.08	-0.01	0.09	0.02	0.04	0.02	0.07
12500	-0.01	0.08	0.01	0.06	-0.03	0.11	-0.01	0.10	-	-	-0.02	0.09	0.02	0.07	0.02	0.08
16000	-0.02	0.09	0.01	0.08	-0.03	0.14	-0.05	0.12	-	-	-0.01	0.09	-0.01	0.06	0.04	0.09
20000	-0.04	0.17	-0.01	0.12	-0.05	0.15	-0.03	0.20	-	-	-0.03	0.09	-0.03	0.05	0.04	0.17

Table A4 – Reported results for type LS2a microphones relative to the regional comparison reference value.

Lab *j* ⇨

Lab <i>i</i> ↓	D_i	U_i
	dB	
NPL	-0.02	0.05
DPLA	0.00	0.04
SP	-0.01	0.05
IEN	0.00	0.05
PTB	0.00	0.06
OFMET	0.00	0.03
GUM	0.00	0.05

NPL	DPLA		SP		IEN		PTB		OFMET		GUM		
D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}	D_{ij}	U_{ij}
dB		dB		dB		dB		dB		dB		dB	
		-0.02	0.06	-0.01	0.07	-0.02	0.07	-0.02	0.08	-0.02	0.06	-0.02	0.07
0.02	0.07			0.01	0.06	0.00	0.06	0.00	0.07	0.00	0.05	0.00	0.06
0.01	0.06	-0.01	0.06			-0.01	0.07	-0.01	0.08	-0.01	0.06	-0.01	0.07
0.02	0.07	0.00	0.06	0.01	0.07			0.00	0.08	0.00	0.06	0.00	0.07
0.02	0.07	0.00	0.07	0.01	0.08	0.00	0.08			0.00	0.07	0.00	0.08
0.02	0.08	0.00	0.05	0.01	0.06	0.00	0.06	0.00	0.07			-0.01	0.06
0.02	0.06	0.00	0.06	0.01	0.07	0.00	0.07	0.00	0.08	0.01	0.06		

Regional comparison EUROMET.A-K1

MEASURAND : Normalised sensitivity level at 250 Hz
 NOMINAL VALUE: 0 dB

Regional comparison reference value: there is no single reference value for this comparison,

The degree of equivalence of each laboratory with respect to the reference value is given by a pair of numbers $D_i = (M_i - M_{ref})$ and U_i , its expanded uncertainty ($k = 2$), $U_i^2 = 2^2(u_i^2 - u_{ref}^2)$, both expressed in dB

The degree of equivalence between two laboratories is given by a pair of numbers: $D_{ij} = M_i - M_j$ and U_{ij} , its expanded uncertainty ($k = 2$), $U_{ij}^2 = 2^2(u_i^2 + u_j^2)$, both expressed in dB

Table A5 – Degrees of mutual equivalence for type LS2a microphones

ANNEX B. REPORTED RESULTS FOR TELECOM ENGINEERING (FINLAND)

These results were reported without associated uncertainty data and have therefore had to be excluded from the main analysis. They are included here for information.

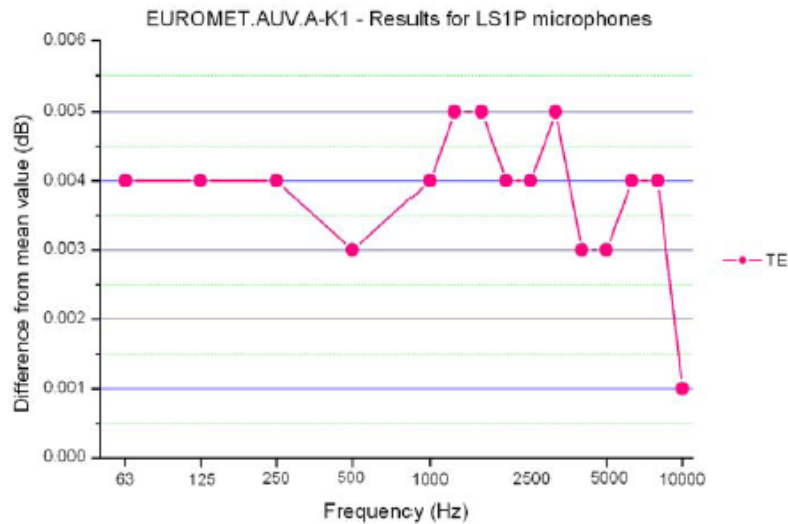


Figure B1. Graph of results for type LS1 microphones relative to the regional reference value for TE

Lab <i>i</i>	↔	TE	
Frequency	↕	M_i	$2u_i$
(Hz)		dB	
63		0.00	-
125		0.01	-
250		0.01	-
500		0.00	-
1000		0.01	-
1250		0.00	-
1600		0.01	-
2000		0.00	-
2500		0.00	-
3150		0.00	-
4000		-0.01	-
5000		-0.02	-
6300		0.00	-
8000		-0.01	-
10000		0.01	-

Lab <i>i</i>		TE	
Frequency		D_i	U_i
(Hz)		dB	
63		0.02	-
125		0.01	-
250		0.00	-
500		0.00	-
1000		0.01	-
1250		0.02	-
1600		0.01	-
2000		0.01	-
2500		0.02	-
3150		0.01	-
4000		0.00	-
5000		0.00	-
6300		-0.01	-
8000		-0.02	-

	TE	
	D_y	U_y
	dB	
NPL	-0.01	-
IA	-0.04	-
DPLA	-0.02	-
BEV	-0.02	-
SP	0.00	-
IEN	-0.02	-
PTB	0.01	-
NMI	0.01	-
OFMET	-0.03	-
SMU	-0.01	-
OMH	0.06	-
CMI	-0.05	-

Table B1 – Results, degree of equivalence and degree of mutual equivalence for TE, for type LS1 microphones.

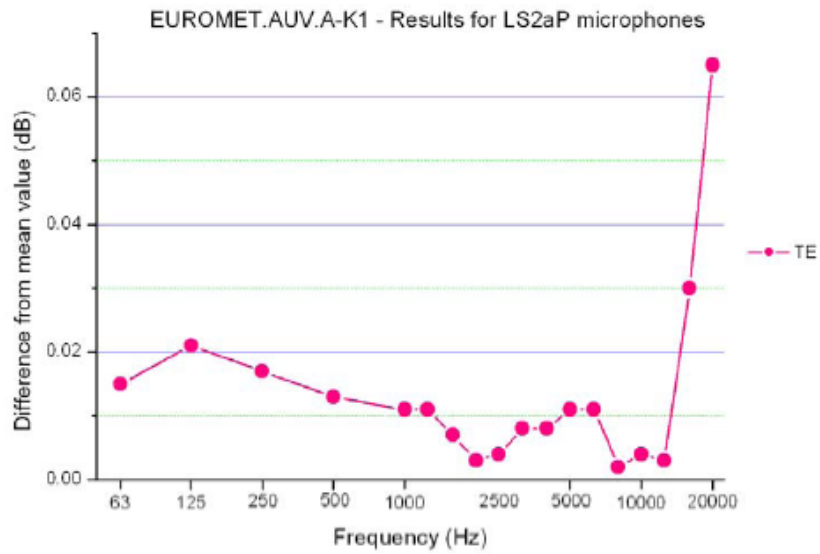


Figure B2. Graph of results for type LS2a microphones for TE

Lab <i>i</i>	⇒	TE	
Frequency	↓	M_i	$2u_i$
(Hz)		dB	
	63	0.01	-
	125	0.02	-
	250	0.02	-
	500	0.01	-
	1000	0.01	-
	2000	0.00	-
	4000	0.01	-
	5000	0.01	-
	6300	0.01	-
	8000	0.00	-
	10000	0.00	-
	12500	0.00	-
	16000	0.03	-
	20000	0.06	-

	TE	
	D_{ij}	U_{ij}
	dB	
NPL	-0.03	-
DPLA	-0.02	-
SP	-0.03	-
IEN	-0.02	-
PTB	-0.02	-
OFMET	-0.02	-
GUM	-0.01	-

Table B2 – Results and degree of mutual equivalence for TE, for type LS2a microphones.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

REPORT ON KEY COMPARISON
COOMET.AUV.A-K1

Draft A

December 2003

Thomas Fedtke
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
D-38112 Braunschweig
Germany

Introduction

This report presents results for the key comparison on primary standards for sound in air, COOMET.AUV.A-K1.

As a Draft A report it is circulated to the participants in the project, only. The results must remain confidential and must not be discussed or presented outside of the group of participants.

A Draft B report will be produced when all participants have had the opportunity to comment and agree on the content. This will lead to a publicly available document.

The main purpose of this Draft A report is to declare the results to all participants. It does not intend to define the key comparison reference value.

Protocol

The basis of this key comparison was the pressure reciprocity calibration of laboratory standard microphones (LS1P microphones). Six national metrology institutes took part and the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany, piloted the project. The participants are listed in Table 1.

Participant (in the order of participation)	Acronym	Country	Country code
Physikalisch-Technische Bundesanstalt	PTB	Germany	DE
Główny Urząd Miar (Central Office of Measures)	GUM	Poland	PL
Ulusal Metroloji Enstitüsü	UME	Turkey	TK
Slovenský Metrologický Ústav	SMU	Slovak Republic	SK
State Scientific Research Institute DNDI Systema	DNDI	Ukraine	UA
All-Russian Research and Scientific Institute for Physical, Technical and Radio Measurements	VNIIFTRI	Russia	RU

Table 1 List of participating institutes.

The protocol specified the determination of the pressure sensitivity of two IEC type LS1P microphones at standard environmental conditions. The microphones were circulated as travelling standards and returned to PTB for re-calibration between the measurements of each participant, so that their stability could be monitored. Participants were asked to calibrate both microphones and report the results in their usual certificate format. In addition, information was requested on the microphone parameters used to determine the sensitivity, any variation from the requirements of IEC 61094-2 and a breakdown of the declared uncertainty showing the component considered.

Two new Brüel and Kjær type 4160 microphones were purchased specifically for this project and calibrated at PTB prior to circulation.

The first participant received the microphones in May 2002 and the measurement phase for all participants was completed in December 2002, except for the final calibration in the pilot laboratory which was finished in March 2003.

Stability of travelling standards

The stability of the microphones was monitored by regular calibration at the pilot laboratory, just before circulation and again on return of the microphones. The spread in these PTB results is shown in Figures 1 and 2. It is less than the PTB measurement uncertainty, thus confirming that both microphones had an acceptable level of stability during these measurements.

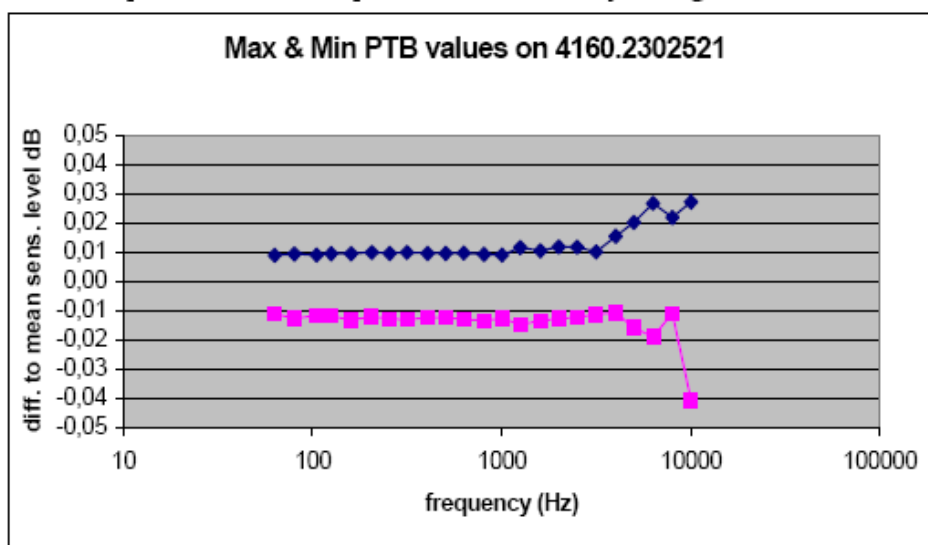


Fig. 1 Stability of the travelling standard microphone 4160.2302521 in terms of the maximum positive and negative differences from the mean value of PTB measurements throughout the key comparison.

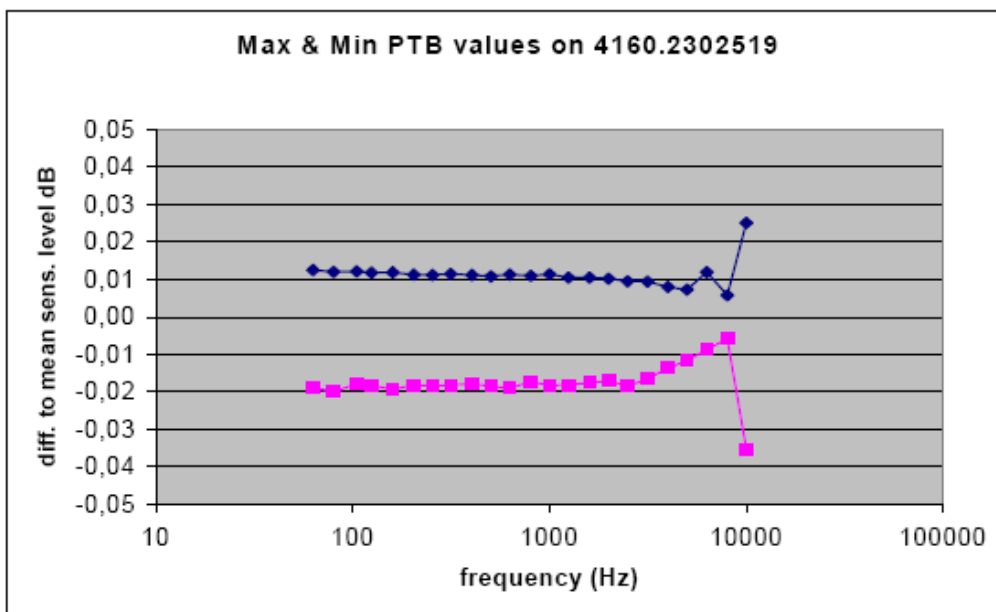


Fig. 2 Stability of the travelling standard microphone 4160.2302519 in terms of the maximum positive and negative differences from the mean value of PTB measurements throughout the key comparison.

Though, for all frequencies and both microphones, there seems to be a systematic tendency of a slightly decreasing sensitivity level with time. Figures 3 and 4 illustrate this time history for a frequency of 250 Hz. At the other frequencies the behaviour is similar.

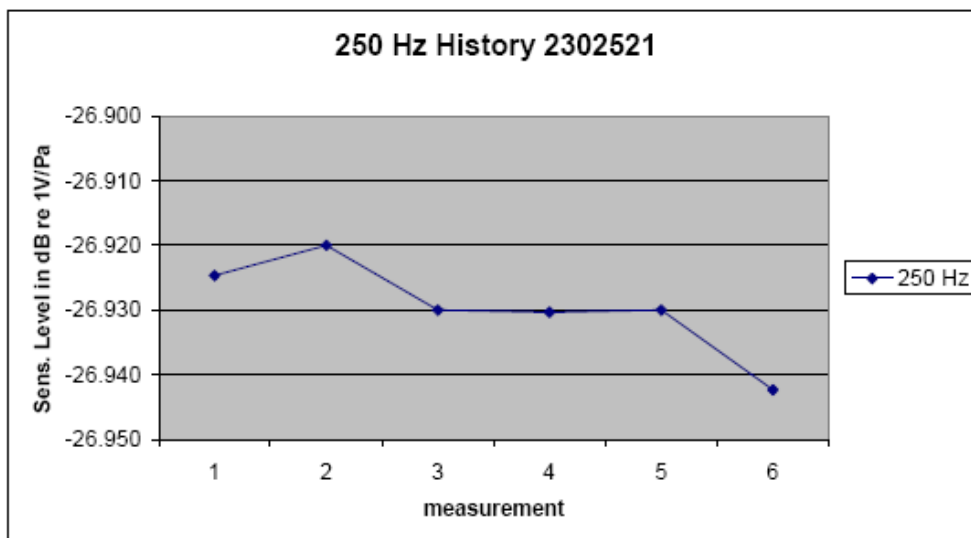


Fig. 3 Typical variation with time at $f = 250$ Hz for microphone 4160.2302521

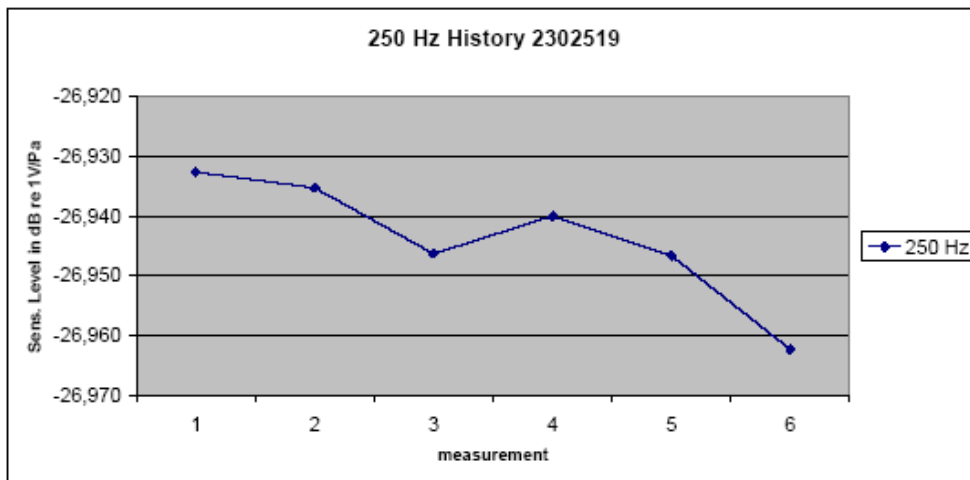


Fig. 4 Typical variation with time at $f = 250$ Hz for microphone 4160.2302519

The variation with time does not exceed the uncertainty of the pilot laboratory, but the systematic tendency should be accounted for. A possible way would be to introduce an additional uncertainty component to the uncertainty of the reference value.

Results

The pressure sensitivity levels of the two microphones determined by each participant are shown in Tables 2 and 3 and the associated declared uncertainties in Table 4, respectively.

Frequency (Hz)	DE	PL	TK	SK	UA	RU
63	-26,88	-26,90	-26,89	-26,85	-26,98	-26,93
80	-26,89	-26,91	-26,89	-26,88	-26,98	-26,94
105	-26,91	-26,93	-26,91	-26,89	-27,00	-26,95
125	-26,91	-26,93	-26,91	-26,91	-27,00	-26,96
160	-26,92	-26,94	-26,92	-26,92	-27,01	-26,97
205	-26,93	-26,95	-26,94	-26,94	-27,02	-26,98
255	-26,93	-26,95	-26,94	-26,94	-27,03	-26,98
315	-26,94	-26,95	-26,94	-26,95	-27,03	-26,98
405	-26,94	-26,97	-26,94	-26,96	-27,03	-26,99
505	-26,94	-26,97	-26,94	-26,97	-27,04	-26,99
630	-26,94	-26,96	-26,93	-26,98	-27,03	-26,98
805	-26,93	-26,95	-26,92	-26,98	-27,02	-26,98
1000	-26,92	-26,95	-26,93	-26,98	-27,00	-26,96
1250	-26,90	-26,93	-26,92	-26,98	-26,98	-26,94
1600	-26,86	-26,89	-26,88	-26,96	-26,94	-26,90
2000	-26,80	-26,83	-26,83	-26,90	-26,87	-26,84
2500	-26,72	-26,75	-26,75	-26,82	-26,77	-26,75
3150	-26,59	-26,62	-26,60		-26,64	-26,61
4000	-26,43	-26,44	-26,45		-26,45	-26,43
5000	-26,30	-26,31	-26,31		-26,28	-26,28
6300	-26,42	-26,41	-26,42		-26,37	-26,37
8000	-27,43	-27,39	-27,37		-27,48	-27,34
10000	-30,01	-29,91	-29,94		-30,54	-29,82

Table 2: Pressure sensitivity levels in dB re 1V/Pa as reported for microphone 4160.2302519

Frequency (Hz)	DE	PL	TK	SK	UA	RU
63	-26,88	-26,89	-26,90	-26,84	-26,96	-26,90
80	-26,89	-26,90	-26,90	-26,86	-26,97	-26,92
105	-26,90	-26,91	-26,90	-26,88	-26,98	-26,93
125	-26,91	-26,92	-26,91	-26,89	-26,99	-26,94
160	-26,91	-26,93	-26,92	-26,91	-27,00	-26,95
205	-26,92	-26,94	-26,92	-26,92	-27,01	-26,95
255	-26,92	-26,94	-26,93	-26,93	-27,01	-26,96
315	-26,93	-26,94	-26,94	-26,93	-27,02	-26,96
405	-26,93	-26,95	-26,93	-26,94	-27,02	-26,96
505	-26,93	-26,95	-26,93	-26,95	-27,01	-26,96
630	-26,92	-26,95	-26,91	-26,94	-27,01	-26,96
805	-26,91	-26,94	-26,91	-26,96	-27,00	-26,94
1000	-26,90	-26,93	-26,90	-26,95	-26,98	-26,93
1250	-26,87	-26,90	-26,89	-26,94	-26,94	-26,90
1600	-26,82	-26,85	-26,84	-26,91	-26,89	-26,85
2000	-26,75	-26,77	-26,74	-26,84	-26,82	-26,77
2500	-26,64	-26,67	-26,66	-26,74	-26,70	-26,66
3150	-26,48	-26,50	-26,48		-26,52	-26,49
4000	-26,26	-26,26	-26,27		-26,28	-26,26
5000	-26,05	-26,05	-26,05		-26,03	-26,04
6300	-26,07	-26,07	-26,09		-26,06	-26,06
8000	-27,15	-27,11	-27,11		-27,23	-27,10
10000	-30,01	-29,94	-29,94		-30,55	-29,93

Table 3: Pressure sensitivity levels in dB re 1V/Pa as reported for microphone 4160.2302521

Frequency (Hz)	DE	PL	TK	SK	UA	RU
63	0,015	0,015	0,030	0,020	0,025	0,031
80	0,015	0,015	0,030	0,020	0,025	0,025
105	0,015	0,015	0,030	0,020	0,025	0,021
125	0,015	0,015	0,030	0,020	0,025	0,019
160	0,015	0,015	0,030	0,020	0,025	0,019
205	0,015	0,015	0,030	0,020	0,025	0,019
255	0,015	0,015	0,030	0,020	0,025	0,019
315	0,015	0,015	0,030	0,020	0,025	0,019
405	0,015	0,015	0,030	0,020	0,025	0,019
505	0,015	0,015	0,030	0,020	0,020	0,019
630	0,015	0,015	0,030	0,020	0,020	0,019
805	0,015	0,015	0,030	0,020	0,020	0,019
1000	0,015	0,015	0,030	0,020	0,020	0,019
1250	0,015	0,015	0,030	0,020	0,020	0,019
1600	0,015	0,015	0,030	0,020	0,020	0,019
2000	0,015	0,015	0,030	0,020	0,020	0,019
2500	0,015	0,020	0,030	0,025	0,020	0,019
3150	0,015	0,020	0,035		0,020	0,019
4000	0,015	0,020	0,035		0,020	0,020
5000	0,025	0,025	0,035		0,020	0,023
6300	0,025	0,025	0,040		0,020	0,030
8000	0,025	0,025	0,045		0,030	0,040
10000	0,040	0,045	0,060		0,040	0,065

Table 4: Declared measurement uncertainties at $k=1$ in dB

Note - The three decimal precision in Table 3 derives from dividing the uncertainty specified at $k=2$ by a factor of two.

For all participants the calibration method used was based on IEC 61094-2.

Analysis

For the purpose of presenting the results of the key comparison in this report, an analysis based on a grand mean had been used. For each of the travelling standards and at each of the frequencies specified, the mean value of the sensitivity level was calculated. The difference between individual measurements and this mean was then determined. In Figures 5 and 6 the differences are presented for both microphones.

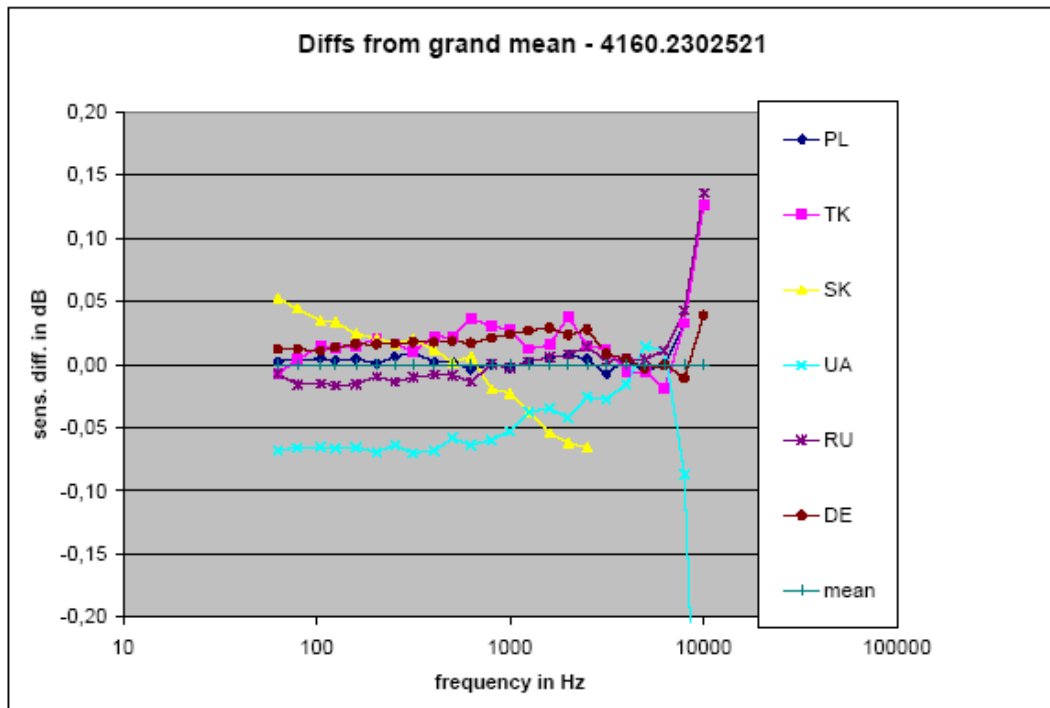


Fig. 5 Deviation of each participant from grand mean (normalized to zero) for microphone 4160.2302521

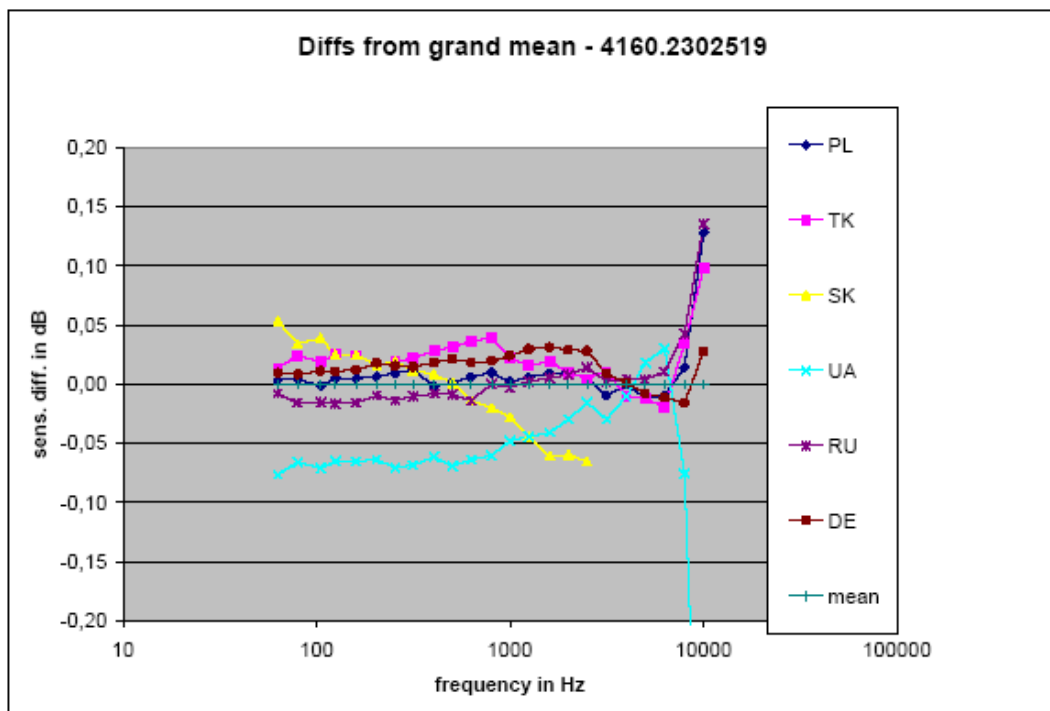


Fig. 6 Deviation of each participant from grand mean (normalized to zero) for microphone 4160.2302519

Consistence of data and degrees of equivalence

In the recent literature the application of the weighted mean is recommended for the reference value of key comparisons [1]. In this comparison, however, the small variation of the uncertainties among the participants and the fact that the reference value is to be linked to the CCAUV.A-K1 reference value, which was determined on the basis of an unweighted arithmetic mean, could lead to the opinion that the unweighted arithmetic mean is suitable for this intercomparison. Furthermore, the difference between the mean, weighted by the inverse quadratic uncertainties of the participants and the unweighted mean, has a maximum value of 0,01 dB for frequencies below 10 kHz and is negligible for lower frequencies.

Therefore, the degree of equivalence between the participants is expressed as the difference of the results by the participants to the unweighted arithmetic mean.

The calculation of the uncertainty of the reference value is essential for the uncertainty of the degree of equivalence. It is proposed to follow the theory outlined in [2] to be in conformity with the GUM [4].

Hence, the (internal) standard uncertainty of the reference value is calculated as

$$u(x_{ref}) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N u^2(x_i)}}{N} \quad (\text{from (7) in [2]})$$

and the uncertainty of the deviation of the individual value $u(d_j)$ from the reference value as

$$u(d_j) = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{N}\right) u^2(x_j) + u^2(x_{ref})} \quad (\text{from (10) in [2]}).$$

The latter formula takes into account that there are correlations between x_j and x_{ref} [2].

The normalized deviation

$$E_j = \frac{d_j}{ku(d_j)}$$

is considered a measure of consistency (figure or merit) with a consistency limit of

$$|E_j| < 1.$$

The coverage factor is $k = 2$ for giving a probability limit of 95 %.

In Fig.7 and Fig.8 those figures of merit are presented for both microphones, calculated on the basis of the above mentioned theory.

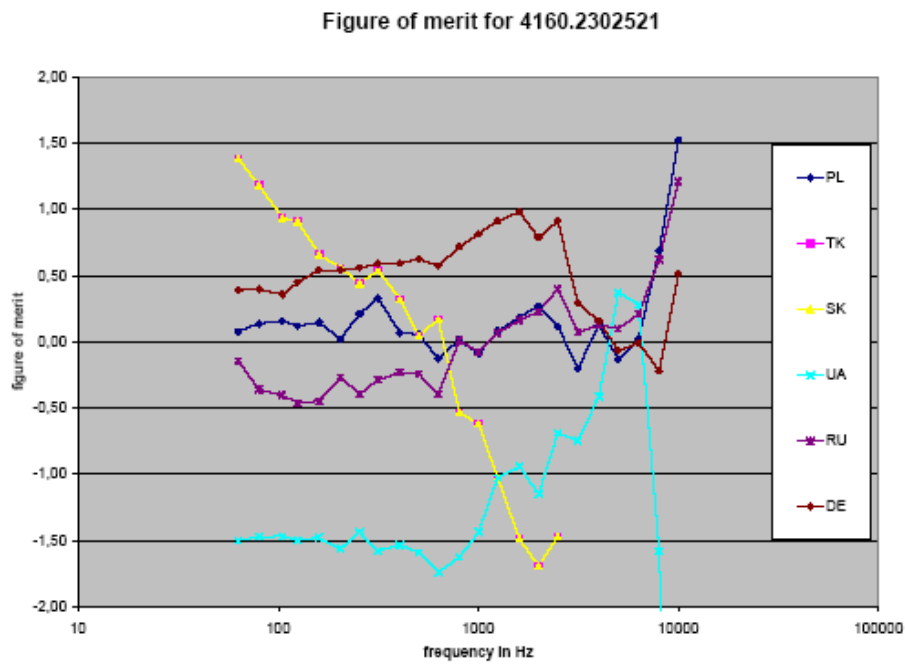


Fig. 7 Measure of consistency (figure of merit) for the microphone 4160.2302521

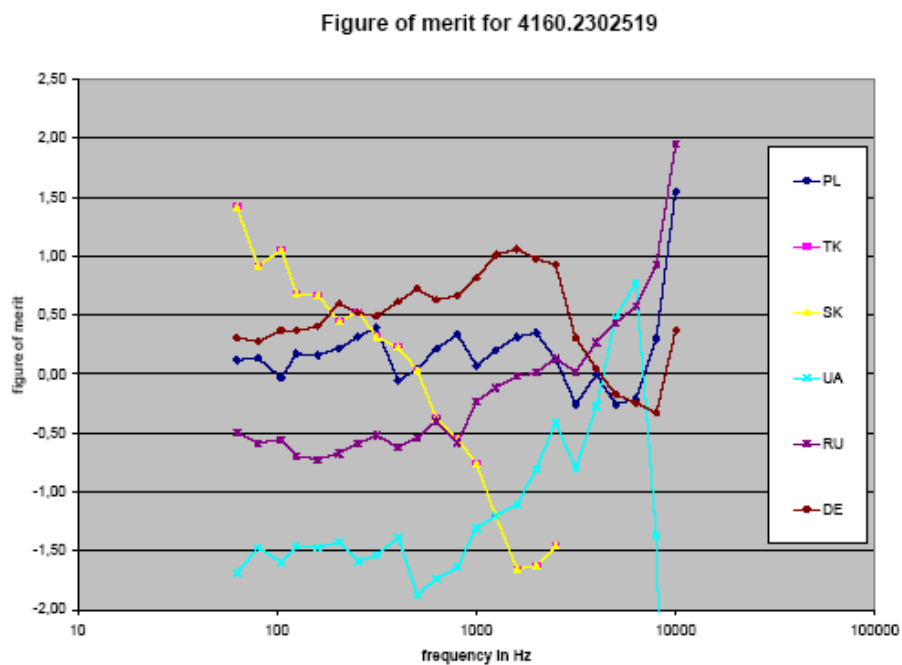


Fig. 8 Measure of consistency (figure of merit) for the microphone 4160.2302519

In Tables 5 and 6, the degrees of equivalence $D_i = M_i - M_{ref}$ and their expanded uncertainty ($k=2$) obtained with the above mentioned theory are presented for the participants (all values in dB).

Frequency (Hz)	DE		PL		TK		SK		UA		RU	
	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i
63	0,01	0,03	0,00	0,03	-0,01	0,05	0,05	0,04	-0,07	0,05	-0,01	0,05
80	0,01	0,03	0,00	0,03	0,00	0,05	0,04	0,04	-0,07	0,04	-0,02	0,04
105	0,01	0,03	0,00	0,03	0,01	0,05	0,03	0,04	-0,07	0,04	-0,02	0,04
125	0,01	0,03	0,00	0,03	0,01	0,05	0,03	0,04	-0,07	0,04	-0,02	0,04
160	0,02	0,03	0,00	0,03	0,01	0,05	0,02	0,04	-0,07	0,04	-0,02	0,03
205	0,02	0,03	0,00	0,03	0,02	0,05	0,02	0,04	-0,07	0,04	-0,01	0,03
255	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,04	-0,06	0,04	-0,01	0,03
315	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,05	0,02	0,04	-0,07	0,04	-0,01	0,03
405	0,02	0,03	0,00	0,03	0,02	0,05	0,01	0,04	-0,07	0,04	-0,01	0,03
505	0,02	0,03	0,00	0,03	0,02	0,05	0,00	0,04	-0,06	0,04	-0,01	0,03
630	0,02	0,03	0,00	0,03	0,04	0,05	0,01	0,04	-0,06	0,04	-0,01	0,03
805	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03	0,05	-0,02	0,04	-0,06	0,04	0,00	0,03
1000	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03	0,05	-0,02	0,04	-0,05	0,04	0,00	0,03
1250	0,03	0,03	0,00	0,03	0,01	0,05	-0,04	0,04	-0,04	0,04	0,00	0,03
1600	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	-0,05	0,04	-0,03	0,04	0,01	0,03
2000	0,02	0,03	0,01	0,03	0,04	0,05	-0,06	0,04	-0,04	0,04	0,01	0,04
2500	0,03	0,03	0,00	0,04	0,01	0,05	-0,07	0,04	-0,03	0,04	0,01	0,04
3150	0,01	0,03	-0,01	0,04	0,01	0,06			-0,03	0,04	0,00	0,04
4000	0,00	0,03	0,00	0,04	-0,01	0,06			-0,02	0,04	0,00	0,04
5000	0,00	0,05	-0,01	0,05	-0,01	0,06			0,01	0,04	0,00	0,04
6300	0,00	0,05	0,00	0,05	-0,02	0,07			0,01	0,04	0,01	0,05
8000	-0,01	0,05	0,03	0,05	0,03	0,08			-0,09	0,06	0,04	0,07
10000	0,04	0,08	0,13	0,08	0,13	0,11			-0,48	0,08	0,14	0,11

Table 5 Degrees of equivalence and their expanded uncertainties for microphone 4160.2302521

Frequency (Hz)	DE		PL		TK		SK		UA		RU	
	D _i	U _i	D _i	U _i	D _i	U _i	D _i	U _i	D _i	U _i	D _i	U _i
63	0,01	0,03	0,00	0,03	0,01	0,05	0,05	0,04	-0,08	0,05	-0,03	0,05
80	0,01	0,03	0,00	0,03	0,02	0,05	0,03	0,04	-0,07	0,04	-0,03	0,04
105	0,01	0,03	0,00	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	-0,07	0,04	-0,02	0,04
125	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	-0,06	0,04	-0,02	0,04
160	0,01	0,03	0,00	0,03	0,02	0,05	0,02	0,04	-0,07	0,04	-0,03	0,03
205	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,04	-0,06	0,04	-0,02	0,03
255	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,04	-0,07	0,04	-0,02	0,03
315	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	0,01	0,04	-0,07	0,04	-0,02	0,03
405	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03	0,05	0,01	0,04	-0,06	0,04	-0,02	0,03
505	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03	0,05	0,00	0,04	-0,07	0,04	-0,02	0,03
630	0,02	0,03	0,01	0,03	0,04	0,05	-0,01	0,04	-0,06	0,04	-0,01	0,03
805	0,02	0,03	0,01	0,03	0,04	0,05	-0,02	0,04	-0,06	0,04	-0,02	0,03
1000	0,02	0,03	0,00	0,03	0,02	0,05	-0,03	0,04	-0,05	0,04	-0,01	0,03
1250	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	-0,04	0,04	-0,04	0,04	0,00	0,03
1600	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,05	-0,06	0,04	-0,04	0,04	0,00	0,03
2000	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,05	-0,06	0,04	-0,03	0,04	0,00	0,04
2500	0,03	0,03	0,00	0,04	0,00	0,05	-0,07	0,04	-0,02	0,04	0,00	0,04
3150	0,01	0,03	-0,01	0,04	0,01	0,06			-0,03	0,04	0,00	0,04
4000	0,00	0,03	0,00	0,04	-0,01	0,06			-0,01	0,04	0,01	0,04
5000	-0,01	0,05	-0,01	0,05	-0,01	0,06			0,02	0,04	0,02	0,04
6300	-0,01	0,05	-0,01	0,05	-0,02	0,07			0,03	0,04	0,03	0,05
8000	-0,02	0,05	0,01	0,05	0,03	0,08			-0,08	0,06	0,06	0,07
10000	0,03	0,08	0,13	0,08	0,10	0,11			-0,50	0,08	0,22	0,11

Table 6 Degrees of equivalence and their expanded uncertainties for microphone 4160.2302519

Fig. 9 and 10 show a graphical representation of the degree of equivalence and its uncertainties for the frequency of 250 Hz.

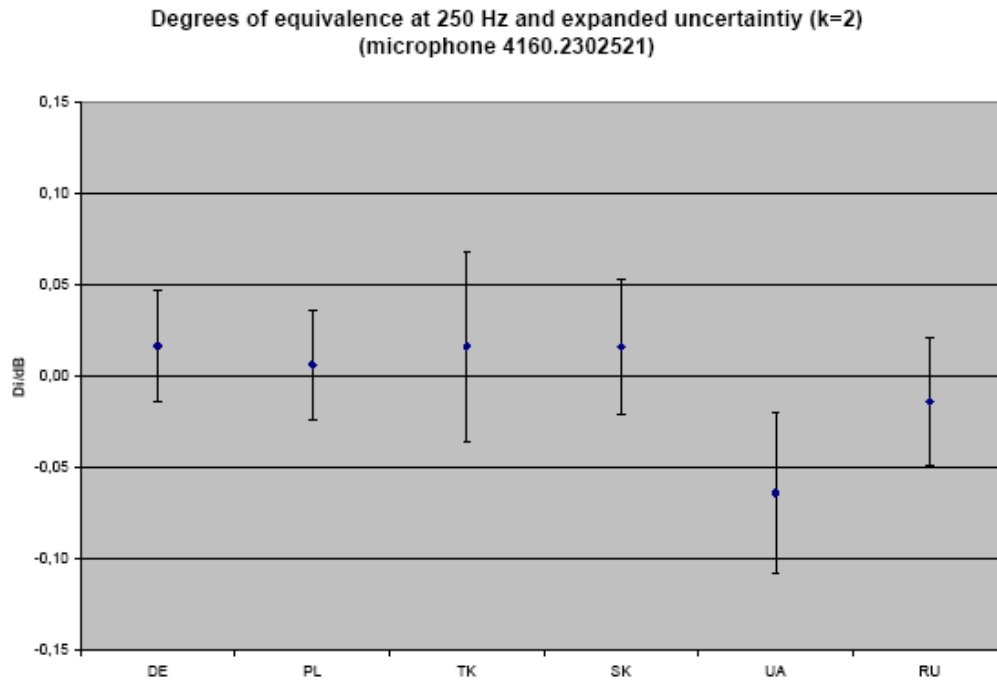


Fig. 9 Graphical demonstration of the degrees of equivalence at 250 Hz and the associated uncertainties ($k=2$) for the microphone 4160.2302521

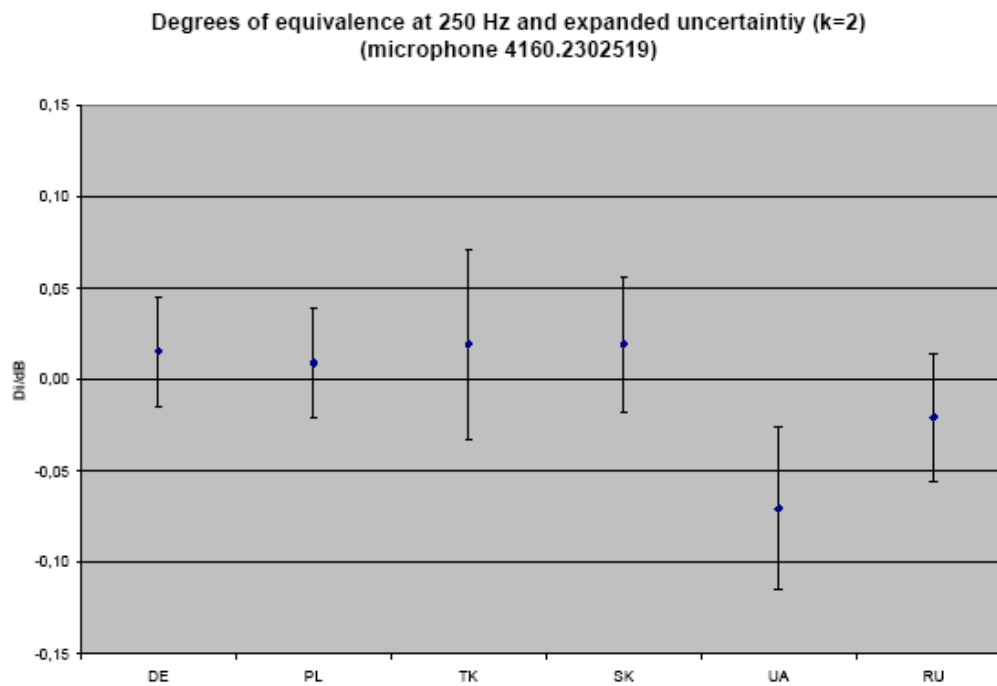


Fig. 10 Graphical demonstration of the degrees of equivalence at 250 Hz and the associated uncertainties ($k=2$) for the microphone 4160.2302519

Revised data

After the meeting in which the first version of draft A has been published, two participants (DNDI, Ukraine and SMU, Slovakia) delivered revised sets of data. Both participants did not perform any new measurements of the travelling standards, but they re-calculated the results.

A new analysis was performed with the revised data:

Frequency (Hz)	DE	PL	TK	SK	UA	RU
63	-26,88	-26,90	-26,89	-26,87	-26,89	-26,93
80	-26,89	-26,91	-26,89	-26,89	-26,90	-26,94
105	-26,91	-26,93	-26,91	-26,90	-26,92	-26,95
125	-26,91	-26,93	-26,91	-26,91	-26,93	-26,96
160	-26,92	-26,94	-26,92	-26,92	-26,94	-26,97
205	-26,93	-26,95	-26,94	-26,93	-26,95	-26,98
255	-26,933	-26,95	-26,94	-26,94	-26,96	-26,98
315	-26,94	-26,95	-26,94	-26,94	-26,96	-26,98
405	-26,94	-26,97	-26,94	-26,94	-26,97	-26,99
505	-26,94	-26,97	-26,94	-26,94	-26,97	-26,99
630	-26,94	-26,96	-26,93	-26,94	-26,97	-26,98
805	-26,93	-26,95	-26,92	-26,93	-26,96	-26,98
1000	-26,92	-26,95	-26,93	-26,91	-26,95	-26,96
1250	-26,90	-26,93	-26,92	-26,88	-26,92	-26,94
1600	-26,86	-26,89	-26,88	-26,83	-26,88	-26,90
2000	-26,80	-26,83	-26,83	-26,76	-26,82	-26,84
2500	-26,72	-26,75	-26,75	-26,65	-26,73	-26,75
3150	-26,59	-26,62	-26,60		-26,60	-26,61
4000	-26,43	-26,44	-26,45		-26,44	-26,43
5000	-26,30	-26,31	-26,31		-26,29	-26,28
6300	-26,42	-26,41	-26,42		-26,41	-26,37
8000	-27,43	-27,39	-27,37		-27,43	-27,34
10000	-30,01	-29,91	-29,94		-30,09	-29,82

Table 7: Pressure sensitivity levels in dB re 1V/Pa as reported for microphone 4160.2302519 (revised data)

Frequency (Hz)	DE	PL	TK	SK	UA	RU
63	-26,88	-26,89	-26,90	-26,88	-26,88	-26,90
80	-26,89	-26,90	-26,90	-26,9	-26,89	-26,92
105	-26,90	-26,91	-26,90	-26,93	-26,91	-26,93
125	-26,91	-26,92	-26,91	-26,93	-26,91	-26,94
160	-26,91	-26,93	-26,92	-26,94	-26,93	-26,95
205	-26,92	-26,94	-26,92	-26,95	-26,94	-26,95
255	-26,92	-26,94	-26,93	-26,95	-26,95	-26,96
315	-26,93	-26,94	-26,94	-26,96	-26,95	-26,96
405	-26,93	-26,95	-26,93	-26,96	-26,95	-26,96
505	-26,93	-26,95	-26,93	-26,96	-26,95	-26,96
630	-26,92	-26,95	-26,91	-26,96	-26,95	-26,96
805	-26,91	-26,94	-26,91	-26,95	-26,94	-26,94
1000	-26,90	-26,93	-26,90	-26,93	-26,92	-26,93
1250	-26,87	-26,90	-26,89	-26,91	-26,89	-26,90
1600	-26,82	-26,85	-26,84	-26,88	-26,84	-26,85
2000	-26,75	-26,77	-26,74	-26,82	-26,77	-26,77
2500	-26,64	-26,67	-26,66	-26,74	-26,65	-26,66
3150	-26,48	-26,50	-26,48		-26,48	-26,49
4000	-26,26	-26,26	-26,27		-26,27	-26,26
5000	-26,05	-26,05	-26,05		-26,05	-26,04
6300	-26,07	-26,07	-26,09		-26,10	-26,06
8000	-27,15	-27,11	-27,11		-27,18	-27,10
10000	-30,01	-29,94	-29,94		-30,10	-29,93

Table 8: Pressure sensitivity levels in dB re 1V/Pa as reported for microphone 4160.2302521 (revised data)

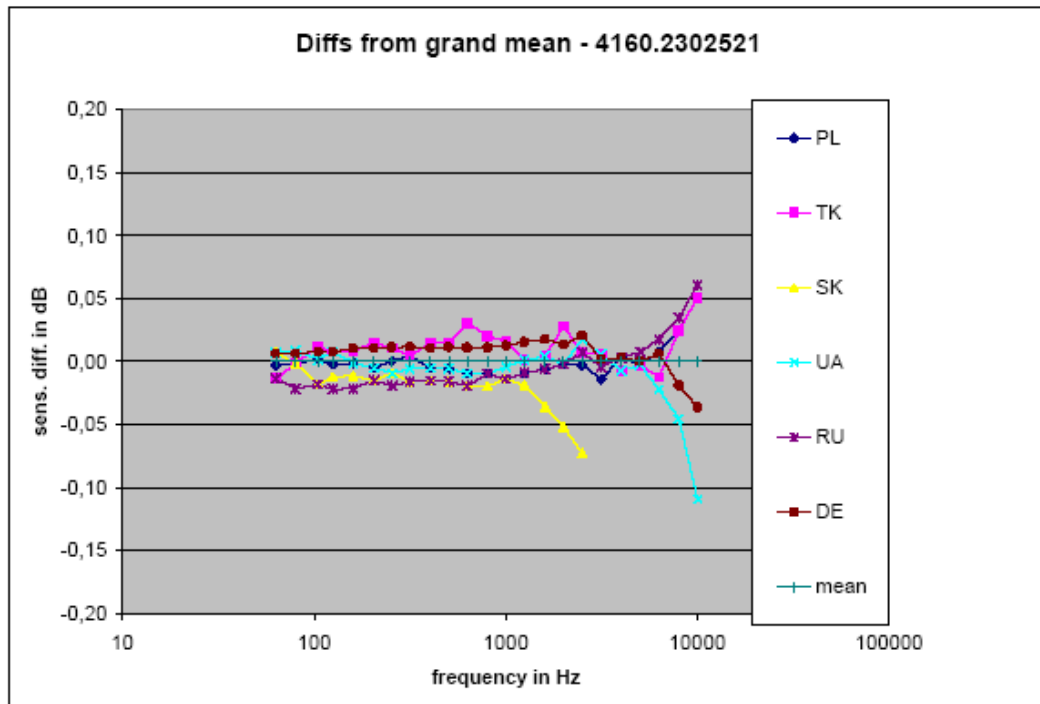


Fig. 11 Deviation of each participant from grand mean (normalized to zero) for microphone 4160.2302521 (revised data)

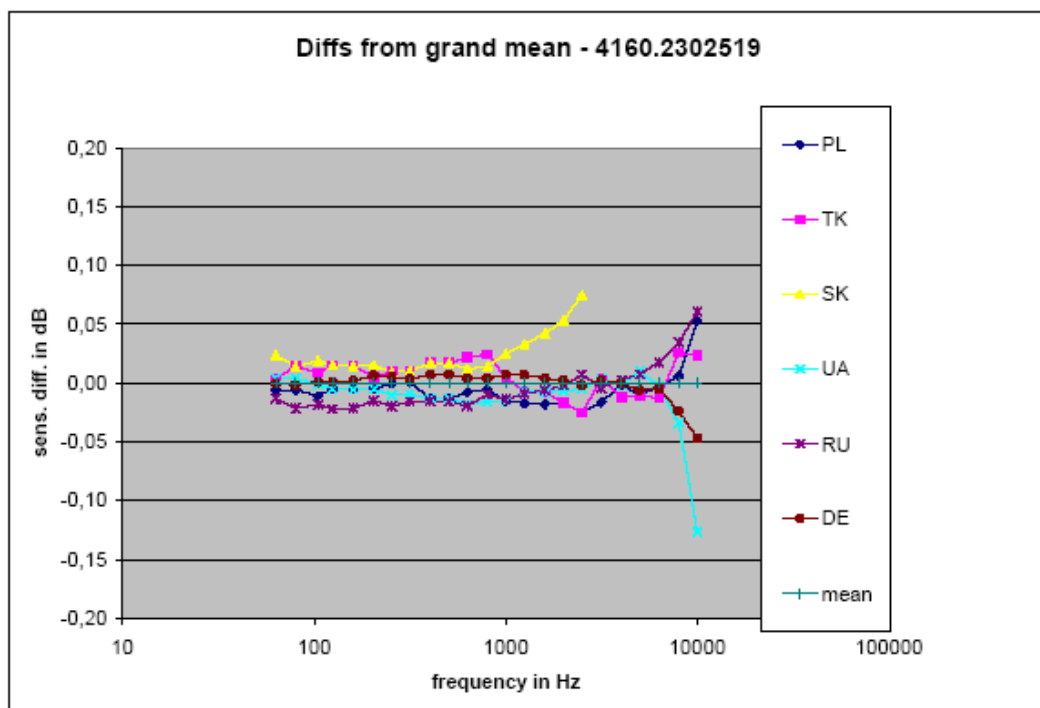


Fig. 12 Deviation of each participant from grand mean (normalized to zero) for microphone 4160.2302519 (revised data)

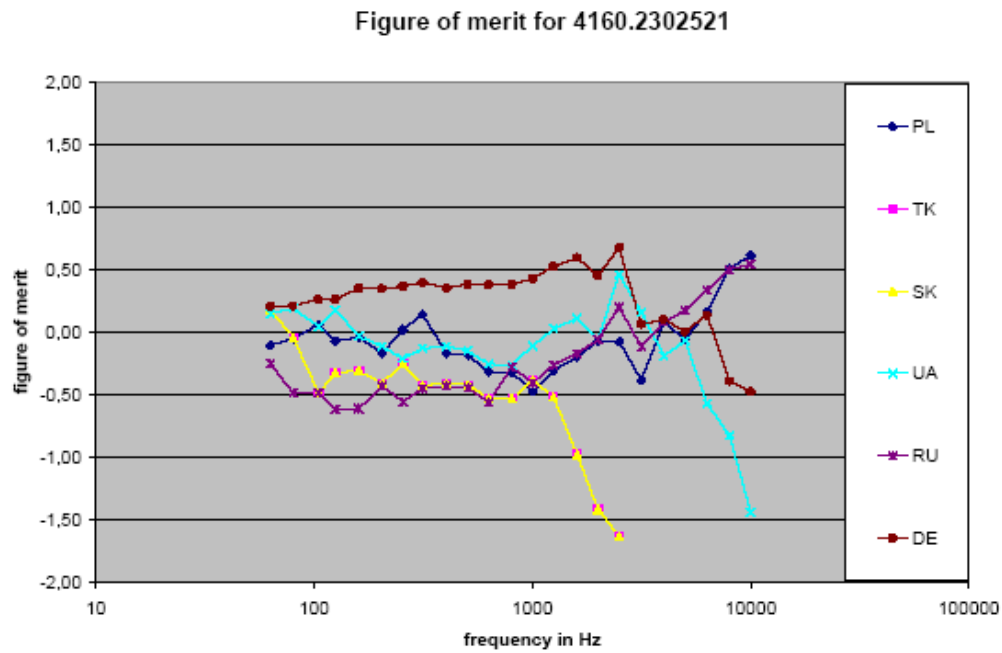


Fig. 13 Measure of consistency (figure of merit) for the microphone 4160.2302521 (revised data)

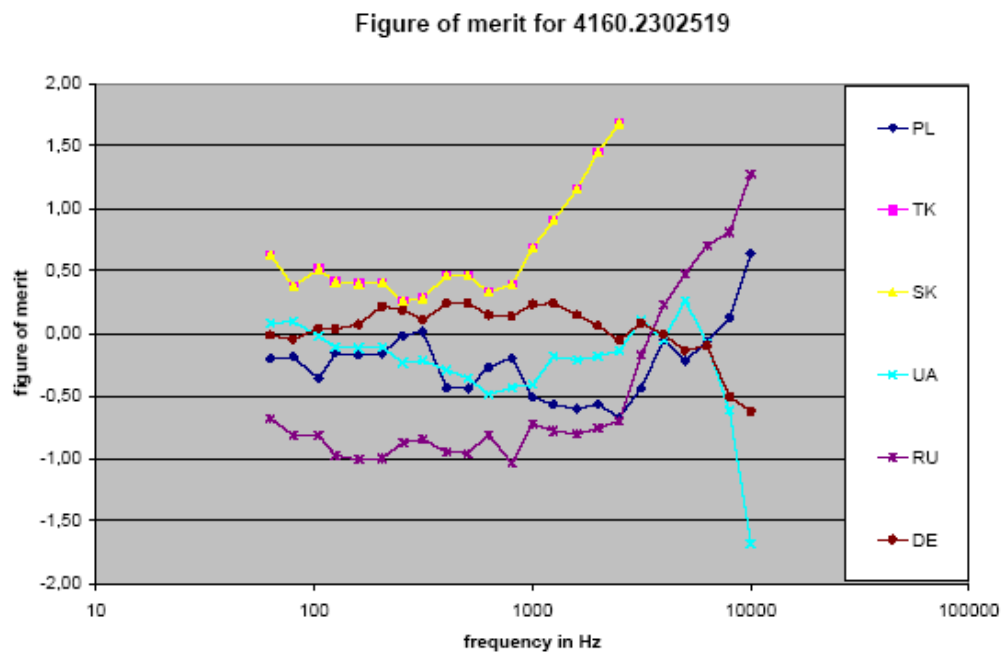


Fig. 14 Measure of consistency (figure of merit) for the microphone 4160.2302519 (revised data)

References

- [1] Cox, M.G., The evaluation of key comparison data. *Metrologia* **39** (2002), 589-595.
- [2] Beißner, K., On a measure of consistency in comparison measurements. *Metrologia* **39** (2002), 59-63.
- [3] Barham, R., CCUAV.A-K1 - report. In press.
- [4] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva, International Organization for Standardization, 1993.

Revised data

After the meeting in which the first version of draft A has been published, two participants (DNDI, Ukraine and SMU, Slovakia) delivered revised sets of data. Both participants did not perform any new measurements of the travelling standards, but they re-calculated the results.

A new analysis was performed with the revised data:

Frequency (Hz)	DE	PL	TR	SK	UA	RU
63	-26,88	-26,90	-26,89	-26,88	-26,89	-26,93
80	-26,89	-26,91	-26,89	-26,90	-26,90	-26,94
105	-26,91	-26,93	-26,91	-26,93	-26,92	-26,95
125	-26,91	-26,93	-26,91	-26,93	-26,93	-26,96
160	-26,92	-26,94	-26,92	-26,94	-26,94	-26,97
205	-26,93	-26,95	-26,94	-26,95	-26,95	-26,98
255	-26,933	-26,95	-26,94	-26,95	-26,96	-26,98
315	-26,94	-26,95	-26,94	-26,96	-26,96	-26,98
405	-26,94	-26,97	-26,94	-26,96	-26,97	-26,99
505	-26,94	-26,97	-26,94	-26,96	-26,97	-26,99
630	-26,94	-26,96	-26,93	-26,96	-26,97	-26,98
805	-26,93	-26,95	-26,92	-26,95	-26,96	-26,98
1000	-26,92	-26,95	-26,93	-26,93	-26,95	-26,96
1250	-26,90	-26,93	-26,92	-26,91	-26,92	-26,94
1600	-26,86	-26,89	-26,88	-26,88	-26,88	-26,90
2000	-26,80	-26,83	-26,83	-26,82	-26,82	-26,84
2500	-26,72	-26,75	-26,75	-26,74	-26,73	-26,75
3150	-26,59	-26,62	-26,60		-26,60	-26,61
4000	-26,43	-26,44	-26,45		-26,44	-26,43
5000	-26,30	-26,31	-26,31		-26,29	-26,28
6300	-26,42	-26,41	-26,42		-26,41	-26,37
8000	-27,43	-27,39	-27,37		-27,43	-27,34
10000	-30,01	-29,91	-29,94		-30,09	-29,82

Table 7: Pressure sensitivity levels in dB re 1V/Pa as reported for microphone 4160.2302519 (revised data)

Frequency (Hz)	DE	PL	TR	SK	UA	RU
63	-26,88	-26,89	-26,90	-26,87	-26,88	-26,90
80	-26,89	-26,90	-26,90	-26,89	-26,89	-26,92
105	-26,90	-26,91	-26,90	-26,9	-26,91	-26,93
125	-26,91	-26,92	-26,91	-26,91	-26,91	-26,94
160	-26,91	-26,93	-26,92	-26,92	-26,93	-26,95
205	-26,92	-26,94	-26,92	-26,93	-26,94	-26,95
255	-26,92	-26,94	-26,93	-26,94	-26,95	-26,96
315	-26,93	-26,94	-26,94	-26,94	-26,95	-26,96
405	-26,93	-26,95	-26,93	-26,94	-26,95	-26,96
505	-26,93	-26,95	-26,93	-26,94	-26,95	-26,96
630	-26,92	-26,95	-26,91	-26,94	-26,95	-26,96
805	-26,91	-26,94	-26,91	-26,93	-26,94	-26,94
1000	-26,90	-26,93	-26,90	-26,91	-26,92	-26,93
1250	-26,87	-26,90	-26,89	-26,88	-26,89	-26,90
1600	-26,82	-26,85	-26,84	-26,83	-26,84	-26,85
2000	-26,75	-26,77	-26,74	-26,76	-26,77	-26,77
2500	-26,64	-26,67	-26,66	-26,65	-26,65	-26,66
3150	-26,48	-26,50	-26,48		-26,48	-26,49
4000	-26,26	-26,26	-26,27		-26,27	-26,26
5000	-26,05	-26,05	-26,05		-26,05	-26,04
6300	-26,07	-26,07	-26,09		-26,10	-26,06
8000	-27,15	-27,11	-27,11		-27,18	-27,10
10000	-30,01	-29,94	-29,94		-30,10	-29,93

Table 8: Pressure sensitivity levels in dB re 1V/Pa as reported for microphone 4160.2302521 (revised data)

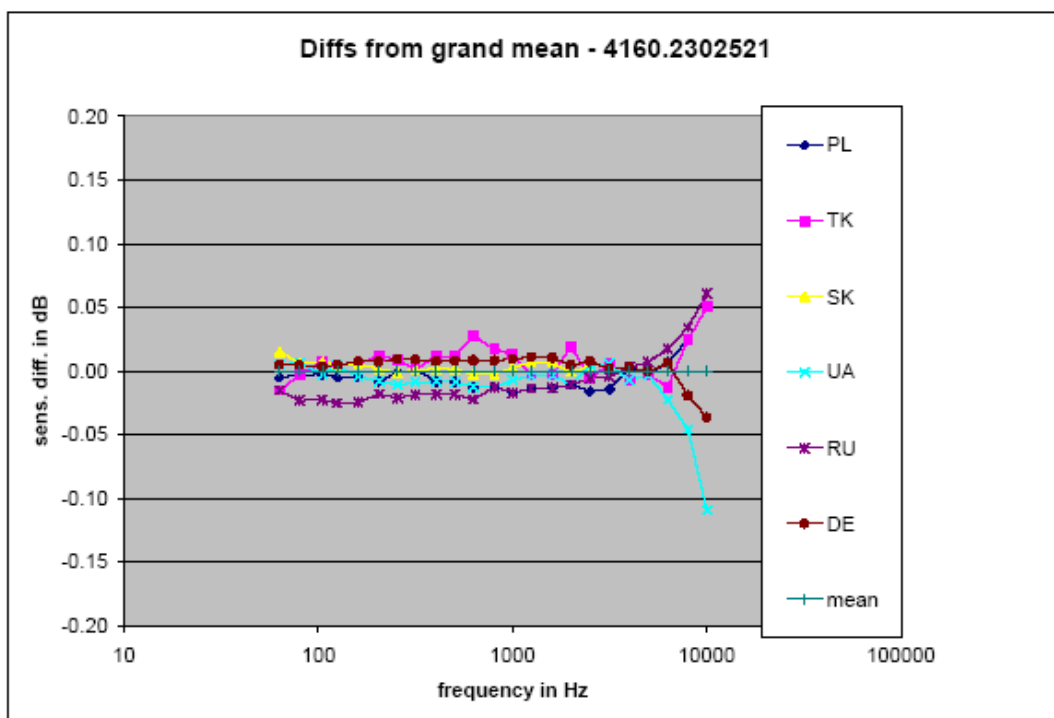


Fig. 11 Deviation of each participant from grand mean (normalized to zero) for microphone 4160.2302521 (revised data)

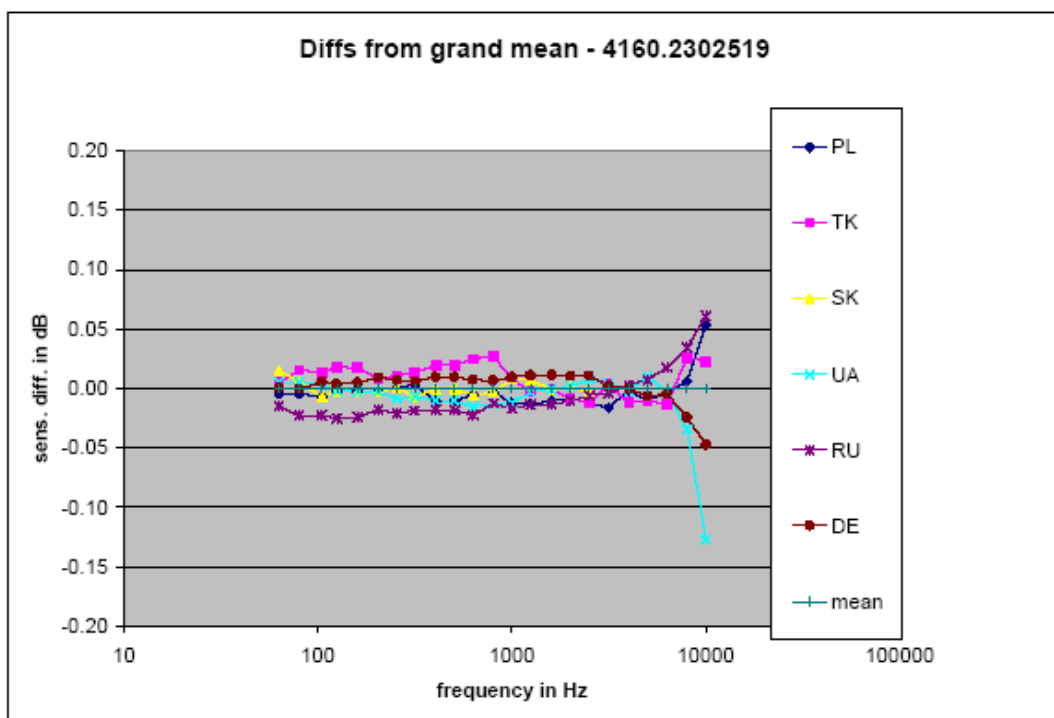


Fig. 12 Deviation of each participant from grand mean (normalized to zero) for microphone 4160.2302519 (revised data)

Figure of merit for 4160.2302521

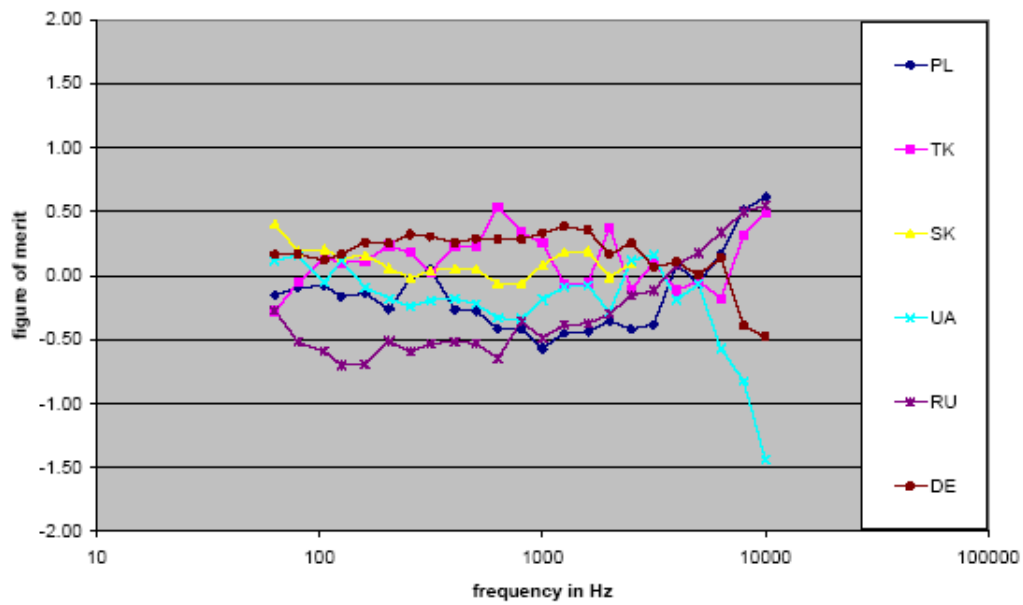


Fig. 13 Measure of consistency (figure of merit) for the microphone 4160.2302521 (revised data)

Figure of merit for 4160.2302519

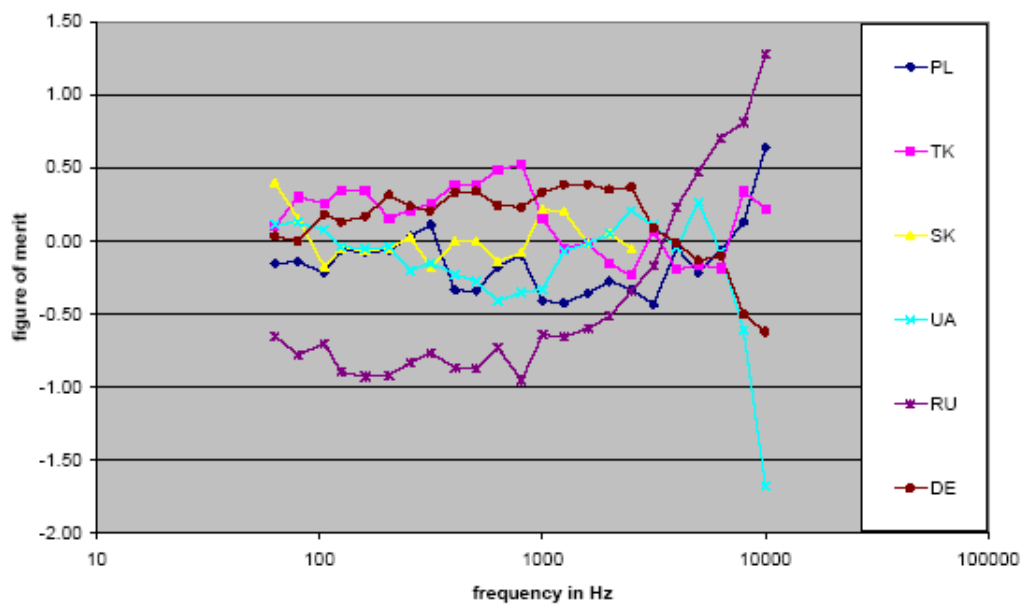


Fig. 14 Measure of consistency (figure of merit) for the microphone 4160.2302519 (revised data)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

**REPORT ON KEY COMPARISON
COOMET.AUV.A-K1**

Draft B

April 2008

Thomas Fedtke
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
D-38112 Braunschweig
Germany

CONTENTS

- 1 Introduction**
- 2 Protocol**
- 3 Stability of travelling standards**
- 4 Methodologies**
- 5 Reported results and uncertainties**
- 6 Analysis of the results and linking COOMET.AUV.A-K1 to CCAUV.A-K1**
 - 6.1 Description of the model**
 - 6.2 Consistency test of the model**
 - 6.3 Degrees of equivalence**
- 7 Conclusions**
- 8 References**

ANNEX A Microphone parameters

ANNEX B Review of anomalies and changes to the declared results

ANNEX C Uncertainty budgets

1 Introduction

This report presents results for the regional key comparison on primary standards for sound in air, COOMET.AUV.A-K1. The current version is the Draft B and supersedes the Draft A which was circulated only to the participants of the project. The Draft B report was produced after all participants commented and agreed on the content of Draft A. It will be submitted to the COOMET TC AUV for approval. This Draft B, once accepted by the participants and the COOMET TC.AUV, is to become the final report of this comparison. The final report will be public, while the drafts are only intended for discussion among the participants and within the COOMET TC AUV.

2 Protocol

The basis of this comparison was the pressure reciprocity calibration of laboratory standard microphones (LSIP microphones as specified in IEC 61094-1 [1]). According to the Technical Protocol six National Metrology Institutes took part and the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Germany, piloted the project. The participants are listed in Table 1.

Participant (in the order of participation)	Acronym	Country	Country code
Physikalisch-Technische Bundesanstalt	PTB	Germany	DE
Główny Urząd Miar (Central Office of Measures)	GUM	Poland	PL
Ulusal Metroloji Enstitüsü	UME	Turkey	TR
Slovenský Metrologický Ústav	SMU	Slovak Republic	SK
State Scientific Research Institute DNDI Systema	DNDI	Ukraine	UA
All-Russian Research and Scientific Institute for Physical, Technical and Radio Measurements	VNIIFTRI	Russia	RU

Table 1. List of participating institutes.

The protocol specified the determination of the pressure sensitivity of two IEC 61094-1 type LSIP microphones in the frequency range from 63 Hz to 10000 Hz at standard environmental conditions. The microphones were circulated as travelling standards and returned to PTB for recalibration between the measurements of each participant, so that their stability could be monitored. Participants were asked to calibrate both microphones and report the results in their usual certificate format. In addition, information was requested on the microphone parameters used to determine the sensitivity, any variation from the requirements of IEC 61094-2 [2] and a breakdown of the declared uncertainty showing the component considered.

Two new Brüel and Kjær type 4160 microphones were purchased specifically for this project and calibrated at PTB prior to circulation.

The first participant received the microphones in May 2002 and the measurement phase for all participants was completed in December 2002, except for the final check calibration in the pilot laboratory which was finished in March 2003.

The preliminary analysis of the results for the two travelling microphones revealed that data reported by DNDI (UA) turned out to be anomalous. During the discussion of Draft A among the participants and within the COOMET TC AUV it was agreed not to use these data for the calculation of the internal reference values and their uncertainties.

A further bilateral comparison between DNDI (UA) and PTB (DE) (COOMET.AUV.A-K1.1) was organized in order to check the equivalence with the reference value. The result of this comparison will be reported separately.

Hence, in this report only the results of the remaining five laboratories will be reported.

3 Stability of travelling standards

The stability of the microphones was monitored by regular check calibration at the pilot laboratory, just before circulation and again on return of the microphones. Figures 1 and 2 show the results of these calibrations, referred to their mean values and the PTB uncertainty limits. The sensitivity levels vary at all frequencies less than the declared PTB measurement uncertainty, thus confirming that both microphones had an acceptable level of stability during these measurements.

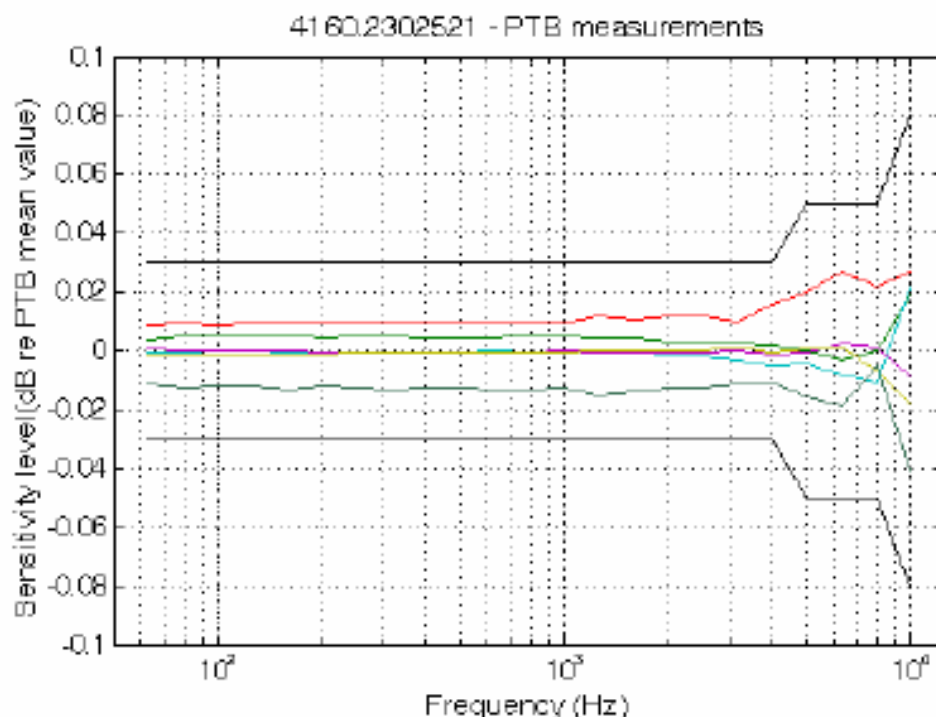


Fig. 1 Stability of the travelling standard microphone 4160.2302521 as PTB measurements over frequency, compared to PTB uncertainty ($k=2$).

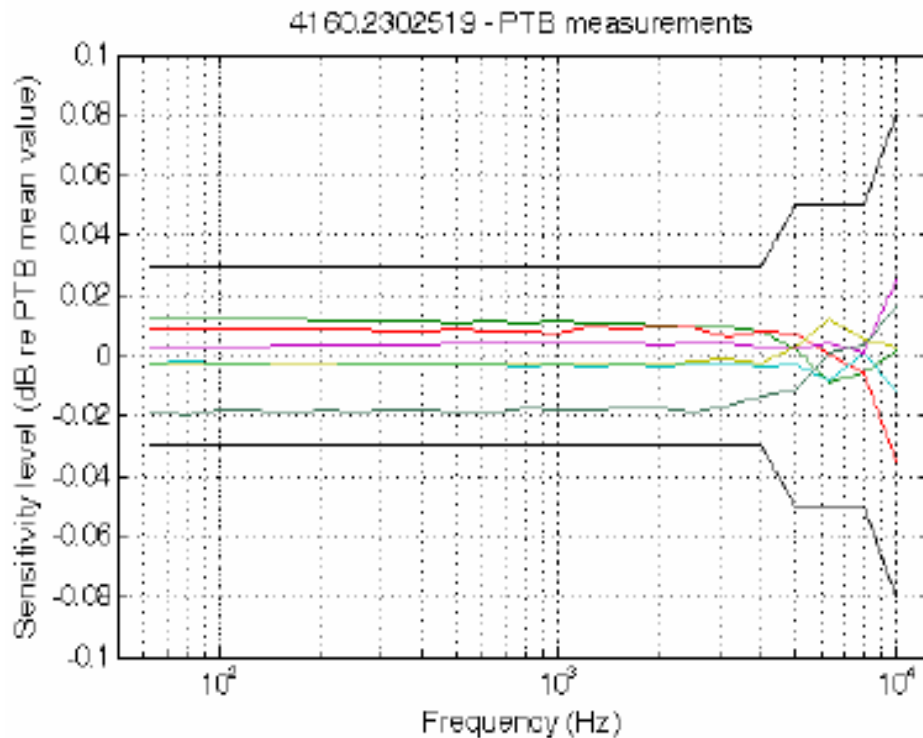


Fig. 2 Stability of the travelling standard microphone 4160.2302519 as PTB measurements over frequency, compared to PTB uncertainty ($k=2$).

The variation of the measured sensitivity levels with time at 250 Hz is plotted in Figure 3. For both microphones, there seems to be a systematic tendency of a slightly decreasing sensitivity level with time. At the other frequencies the behaviour is similar. The variation with time does not exceed the typical uncertainties stated by the participants. During the discussion of the results in the Draft A phase of the comparison it was agreed not to apply a specific correction for this drift tendency and to regard the microphones as sufficiently stable.

The result of the first calibration for the microphones is the reported PTB value for this comparison. This follows the practice which had been used in previous CCAUV and regional comparisons.

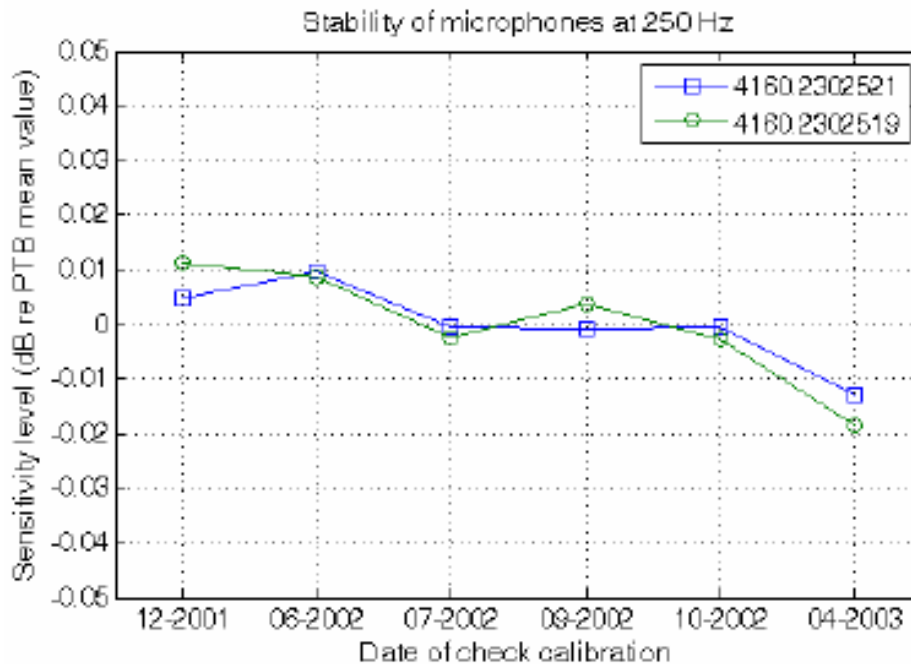


Fig. 3 Typical variation with time at $f = 250$ Hz for both travelling standards

4 Methodologies

According to the protocol the calibration method used had to be based on the International Standard IEC 61092-2. This standard specifies the principle of the procedure, but it does not determine the actual instrumentation and the experimental setup to be used. Therefore, the following short descriptions of the specific facilities used by each participant have been included.

GUM, PL

"In the GUM facility the three-microphone method of measurement is applied. Each microphone is assumed to be reciprocal and can be used as both transmitting and receiving microphone. The actually measured pair of microphones is coupled with a 3 cm³ plane wave coupler B&K type DB 1392, filled with air at all frequencies. Software developed by NPL is used for calculation of the acoustical transfer impedance according to models presented in IEC 61094-2. The electrical transfer impedance of the actually measured microphone pair is determined by comparison with a properly chosen calibrated resistor connected in series with the transmitting microphone, using the "approximate balance" method developed in NPL. The calibration method complies with the requirements of IEC 61094 2:1992 with an exception concerning the method for determination of the physical properties of air (speed of sound, its temperature dependence, specific heat ratio), where the methodology agreed recently within EUROMET is used.

All measurements are performed in air-conditioned room with temperature maintained at $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and relative humidity maintained at $50\% \pm 15\%$. Measurements are conducted only if the static pressure is between 99 kPa and 103,5 kPa. The environmental parameters are measured continuously during the experiment and the results of measurements are automatically taken into account in calculations. The measuring signal source is the function generator Philips PM5136. For all AC voltage measurements two lock-in amplifiers EG&G 5209 are used. The microphone power supplies are special units designed and constructed according to NPL requirements. A special unit containing a set of calibrated resistors with an associated selector and two-way switch has been developed by NPL. The transmitting microphone is connected to the purpose-designed unit providing proper terminal and ground shield arrangements, developed by NPL. The receiving microphone is connected to the preamplifier G.R.A.S. 26AG. All measurements necessary for electrical transfer impedance determination are made automatically at specified frequencies. Polarization voltages are verified to be $200\text{ V} \pm 0,01\text{ V}$ just before the start of experiments by measurement made directly at the transmitting unit and preamplifier terminals with a Keithley 6517A electrometer. The total volume of microphone (front cavity volume plus diaphragm equivalent volume) is determined acoustically with a computer-aided procedure by comparison with a set of known volumes. A depth-focusing microscope is used for the measurement of the depth of microphone front cavity. For the necessary calculations the nominal values of microphone acoustical parameters (mass, compliance and resistance) supplied by NPL are used."

PTB, DE

"The calibration was performed according to IEC 61094-2, using three microphones coupled in pairs by air filled plane wave couplers of different lengths. The electrical transfer impedance was measured using the main unit of a Brüel&Kjær reciprocity calibration system 5998, a signal generator HP 33120A, a band pass filter Brüel&Kjær 1617, and a digital voltmeter HP 3458A. The polarization voltage was checked by a differential voltmeter type Fluke 893A. The resulting sensitivity was calculated using the "Calcmp" software developed at the PTB. Radial wave motion correction was applied according to "K. Rasmussen, Radial wave motion in cylindrical plane-wave couplers. Acta Acustica. No 1. 1993" using the Bessel function model for the diaphragm velocity distribution. The static pressure was measured by a calibrated barometer, Druck DPI 141 and the temperature and humidity by a laboratory meter type Dostmann P 570. All measurements were performed at $(23 \pm 3)\text{ }^{\circ}\text{C}$. The humidity was within the range 25% to 70% RH. The static pressure limits were (96...104) kPa. The microphone front cavity depth was measured using a depth focussing microscope with a digimatic indicator ID 110. The remaining microphone parameters were determined by data fitting of the results obtained using the above mentioned couplers."

SMU, SK

"The microphone sensitivity was determined by pressure calibration using the reciprocity technique on primary standard equipment of sound pressure in Slovak Institute of Metrology according IEC 61094-2 and following the operating procedure No. 19/250/02. The calibration procedure is computer controlled. The front cavity volume plus the equivalent volume of the microphone was determined by comparison with reference cavities. The equivalent volume was determined by means of the measurement of the electrical impedance of the microphone which was acoustically terminated by the quarter-wavelength tube. The standard equipment is based on

the reciprocity technique using two microphones and one auxiliary sound source (active coupler). The measured microphones were fitted on home made preamplifiers which enable electrical alternation from receiver to transmitter and back without mechanical change of microphone position. The construction of the preamplifier enables a very high loading impedance (practically the microphone is unloaded) with very low input-output attenuation of approximately 0,001 dB. The ground-shield configuration is according to IEC 61094-1. Each measuring channel consists of the microphone, preamplifier, infrasound low pass filter and digital multimeter. The active coupler is created by piezoelectrical ring. The total coupler volume is approx. 4 cm³."

UME, TR

"The open-circuit pressure sensitivity of the microphone with the grid removed was determined by the reciprocity technique described in IEC 61094-2. The sensitivity of each microphone was determined ten times and the reported sensitivity is the arithmetic mean of ten results.

The microphones were coupled in pairs using air filled plane-wave couplers with nominal length of 7,5 mm. The actual dimensions of the coupler were determined by using a coordinate measuring machine at UME Dimension Laboratory. The polarizing voltage applied to the microphone was (200,00 ± 0,05) V. The variation of the polarization voltage during the measurements was monitored by means of a HP 3458A digital multimeter. The polarizing voltage was measured at the port on the reciprocity calibration apparatus, instead of at the terminals of the microphone. The measurements of the electrical transfer impedance were performed by using a main unit of the Brüel & Kjaer Type 4143 Reciprocity Apparatus and a HP 3458A Digital Multimeter. The microphone front cavity depth was measured using a depth focusing microscope with a digimatic indicator. The total and front volume of microphone were measured by an acoustical method using Type 4143 Reciprocity Apparatus. Nominal values for microphone's acoustic mass, compliance and resistance as declared by the manufacturer were used for the sensitivity calculation. The final sensitivity values were corrected to the reference environmental conditions. The environmental conditions were measured and monitored by a Rotronic HygroPalm instrument and a Brüel & Kjaer UZ 0004 barometer."

VNIIFTRI, RU

In VNIIFTRI the calibration of laboratory standard microphones LS1P is realized in accordance with the IEC Recommendation IEC 61094-2 for the three-microphones method. The measurements are made in three plane wave couplers, having the lengths of 3.7 mm, 7.5 mm and 8.8 mm. The average value of the microphone sensitivity obtained in three couplers is taken a final result. The frequency range of calibration is 63 Hz to 10 kHz.

The electrical transfer impedance of a pair of acoustically coupled microphones is measured in three stages by means of a reciprocity calibration apparatus B&K type 4143, a microphone preamplifier B&K type 2645, a measuring amplifier B&K type 2636, a filter B&K type 1617, a signal generator Philips type PM 5190 and a multimeter Datron type 1081:

a) a ratio of gains in Channel A and Channel B of the 4143 apparatus is measured, the switch being set in the position 'Balance Comparator Adjustment';

- b) the ratio of the voltage at the output of the preamplifier type 2645 and at the reference capacitor is measured when the switch is set to 'Sensitivity Product'. At each frequency the voltage at the preamplifier is measured 5 times with the time interval between the measurements equal to 5 s. The average value is taken as a final result provided the standard deviation does not exceed 0.005 dB. Otherwise the measurements at a given frequency are repeated. The drop of voltage on the reference capacitor on a given frequency is measured only once;
- c) the attenuation introduced by the preamplifier type 2645 and by the capacitive load of the receiving microphone is measured with the switch set to 'Insert gain'. The measurements of the voltage at the preamplifier are made as described above for stage b).

The acoustical transfer impedance of a pair of acoustically coupled microphones is calculated according to IEC 611094-2 with the following typical parameters for the microphone:

Cavity depth: 1,95 mm;
 Front volume: 535 mm³;
 Acoustic resistance: $2,13 \cdot 10^7$ Ns/m⁵;
 Acoustic mass: 393,1 kg/m⁴
 Acoustic compliance: $9,58 \cdot 10^{-13}$ m⁵/N⁴

The physical parameters of air are calculated according to "K. Rasmussen, Calculation methods for the physical properties of air used in the calibration of microphones. DPLA report PL-11b. 1997".

The reference configuration as specified in IEC 61094-1 is used both for the transmitter and the receiver microphones.

The polarizing voltage is being monitored during the whole process of measurements using a voltmeter B&K type WB0781 connected to the output 'Polarizing Voltage' of type 4143.

The environmental conditions (atmospheric pressure, temperature and humidity) are being monitored during the whole process of measurements. The atmospheric pressure is measured by a mercury barometer having the resolution of 0.11mmHg. The measurements are made twice, prior to and after, the measurements of the electrical transfer impedance of a pair of microphones. The average of the two values is taken as the result for a given pair of microphones. The temperature is measured by a thermocouple placed in the special recess of the coupler and filled with oil. The resolution of these measurements is 0.1 °C. The temperature of the air inside the coupler is assumed to be that of the coupler with the microphones installed, after the stabilization time of 5 min has elapsed. The humidity is determined using a hygrometer having the resolution of 2%. The reference environmental conditions are: temperature 23°C, atmospheric pressure 760 mmHg, relative humidity 50%.

Corrections for thermal conductivity and the influence of capillary tubes are applied according to IEC 61094-2.

The microphone sensitivity is corrected to reference environmental conditions using the correction coefficients given in "K. Rasmussen, The influence of environmental conditions on the pressure sensitivity of measurement microphones. Brtel & Kjaer Technical Review. No.1., 2001". A correction coefficient for the radial wave motion is applied to the acoustical transfer impedance, calculated according to "K. Rasmussen, Radial wave motion in cylindrical plane-wave couplers. Acta Acustica. 1. 1993", assuming that the microphone membrane velocity distribution is described by a Bessel function.

5 Reported results and uncertainties

The pressure sensitivity levels of the two microphones as reported by each participant in calibration certificates are shown in Tables 2 and 3 and the associated declared uncertainties in Table 4. No laboratory declared different uncertainties for the two travelling microphones.

Frequency (Hz)	DE	PL	TR	SK	RU
63	-26.88	-26.90	-26.89	-26.88	-26.93
80	-26.89	-26.91	-26.89	-26.90	-26.94
100	-26.91	-26.93	-26.91	-26.93	-26.95
125	-26.91	-26.93	-26.91	-26.93	-26.96
160	-26.92	-26.94	-26.92	-26.94	-26.97
200	-26.93	-26.95	-26.94	-26.95	-26.98
250	-26.93	-26.95	-26.94	-26.95	-26.98
315	-26.94	-26.95	-26.94	-26.96	-26.98
400	-26.94	-26.97	-26.94	-26.96	-26.99
500	-26.94	-26.97	-26.94	-26.96	-26.99
630	-26.94	-26.96	-26.93	-26.96	-26.98
800	-26.93	-26.95	-26.92	-26.95	-26.98
1000	-26.92	-26.95	-26.93	-26.93	-26.96
1250	-26.90	-26.93	-26.92	-26.91	-26.94
1600	-26.86	-26.89	-26.88	-26.88	-26.90
2000	-26.80	-26.83	-26.83	-26.82	-26.84
2500	-26.72	-26.75	-26.75	-26.74	-26.75
3150	-26.59	-26.62	-26.60		-26.61
4000	-26.43	-26.44	-26.45		-26.43
5000	-26.30	-26.31	-26.31		-26.28
6300	-26.42	-26.41	-26.42		-26.37
8000	-27.43	-27.39	-27.37		-27.34
10000	-30.01	-29.91	-29.94		-29.82

Table 2. Pressure sensitivity levels in dB re 1V/Pa as reported for microphone 4160.2302519

Frequency (Hz)	DE	PL	TR	SK	RU
63	-26.88	-26.89	-26.90	-26.87	-26.90
80	-26.89	-26.90	-26.90	-26.89	-26.92
100	-26.90	-26.91	-26.90	-26.9	-26.93
125	-26.91	-26.92	-26.91	-26.91	-26.94
160	-26.91	-26.93	-26.92	-26.92	-26.95
200	-26.92	-26.94	-26.92	-26.93	-26.95
250	-26.92	-26.94	-26.93	-26.94	-26.96
315	-26.93	-26.94	-26.94	-26.94	-26.96
400	-26.93	-26.95	-26.93	-26.94	-26.96
500	-26.93	-26.95	-26.93	-26.94	-26.96
630	-26.92	-26.95	-26.91	-26.94	-26.96
800	-26.91	-26.94	-26.91	-26.93	-26.94
1000	-26.90	-26.93	-26.90	-26.91	-26.93
1250	-26.87	-26.90	-26.89	-26.88	-26.90
1600	-26.82	-26.85	-26.84	-26.83	-26.85
2000	-26.75	-26.77	-26.74	-26.76	-26.77
2500	-26.64	-26.67	-26.66	-26.65	-26.66
3150	-26.48	-26.50	-26.48		-26.49
4000	-26.26	-26.26	-26.27		-26.26
5000	-26.05	-26.05	-26.05		-26.04
6300	-26.07	-26.07	-26.09		-26.06
8000	-27.15	-27.11	-27.11		-27.10
10000	-30.01	-29.94	-29.94		-29.93

Table 3. Pressure sensitivity levels in dB re 1V/Pa as reported for microphone 4160.2302521

Frequency (Hz)	DE	PL	TR	SK	RU
63	0.03	0.03	0.06	0.04	0.06
80	0.03	0.03	0.06	0.04	0.05
100	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
125	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
160	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
200	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
250	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
315	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
400	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
500	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
630	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
800	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
1000	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
1250	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
1600	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
2000	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
2500	0.03	0.04	0.06	0.05	0.04
3150	0.03	0.04	0.07		0.04
4000	0.03	0.04	0.07		0.04
5000	0.05	0.05	0.07		0.05
6300	0.05	0.05	0.08		0.06
8000	0.05	0.05	0.09		0.08
10000	0.08	0.09	0.12		0.13

Table 4. Declared measurement uncertainties at $k = 2$ in dB

6 Analysis of the results and linking COOMET.AUV.A-K1 to CCAUV.A-K1

6.1 General

According to the CCAUV guidelines [3] a regional key comparison reference value should be calculated for internal purposes, only. In the Draft A report such a reference value was proposed on the basis of the unweighted mean as an estimator. Degrees of equivalence and their uncertainties were calculated, and they confirmed the consistency of the data by means of the normalized deviations from the internal reference values. This procedure was performed individually for the two travelling standards and for all frequencies specified in the Technical Protocol of COOMET.AUV.A-K1.

Usually, a CCAUV key comparison results in a single key comparison reference value (KCRV) and single degrees of equivalence per participant and frequency. In the present comparison two travelling standards were used and measured by all participants. Three of them (GUM, PTB, VNIIFTRI) also took part in the CCAUV.A-K1 key comparison [4] and, thus, they can provide the link of this regional comparison to the CCAUV comparison KCRV at those frequencies used in both comparisons.

6.2 Description of the model

In order to obtain these aimed-at results, a generalized least squares (GLS) approach was used in this report for the determination of the degrees of equivalence of the participating laboratories. This also enables linking of the COOMET.AUV.A-K1 results to the CCAUV.A-K1 KCRV.

The method was proposed in [5] and uses the model

$$y = X\beta + e \quad (1)$$

where

$y = (y_1 \dots y_g)^T$ is a column vector containing the measurement results,

X is the $g \times h$ design matrix,

$\beta = (\beta_1 \dots \beta_h)^T$ is a column vector containing the unknowns, and

$e = (e_1 \dots e_g)$ a vector of random errors of disturbances.

Each row of X , apart from the last, represents one of the comparison measurements (10 COOMET and three CCAUV measurements), and the associated result is in the corresponding row of vector y . The last row of X and the last element of y are related to the constraint (the difference from the CCAUV KCRV is forced to zero).

In [5] it is shown that the approximation $\hat{\beta}$ of the best linear unbiased estimate β can be expressed as

$$\hat{\beta} = \hat{C}X^T\hat{\Phi}^{-1}y \quad (2)$$

where \hat{C} is the uncertainty matrix calculated by

$$\hat{C} = (X^T\hat{\Phi}^{-1}X)^{-1} \quad (3)$$

and $\hat{\Phi}$ is the symmetric $g \times g$ input covariance matrix whose diagonal elements are the variances (squared standard uncertainty) associated with each result represented in vector y . For the COOMET results the variances reported by the participants (see Table 4), and for the CCAUV data the values reported in [4]. Off diagonal elements allow for correlations between measurements. In this report, following the procedure successfully used in the analysis of previous CCAUV and EUROMET TC.AUV comparisons, a correlation coefficient of 0,7 was applied for measurements made by the same laboratory. Results of different laboratories were considered essentially uncorrelated.

In the following description the laboratories are numbered as:

PTB (DE)	= 1;
GUM (PL)	= 2;
UME (TR)	= 3;
SMU (SK)	= 4;
VNIIFTRI (RU)	= 5.

The elements of the result vector y are:

$y_1 \dots y_5$:	measurement results on the microphone 4160.2303521 in COOMET.AUV.A-K1,
$y_6 \dots y_{10}$:	measurement results on the microphone 4160.2303519 in COOMET.AUV.A-K1,
$y_{11} \dots y_{13}$:	differences of the laboratories PTB, GUM and VNIIFTRI from the CCAUV.A-K1 KCRV,
y_{18} :	the constraint (difference from CCAUV KCRV is forced to zero).

The vector $\hat{\beta}$ contains:

$\hat{\beta}_1 \dots \hat{\beta}_5$:	differences from the estimated KCRV for the laboratories 1 ...5,
$\hat{\beta}_6 \dots \hat{\beta}_7$:	results for the two travelling microphones, related to the KCRV,
$\hat{\beta}_8$:	remaining difference from the constraint (essentially zero).

The design matrix X for the model in (1) is

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Columns 1 to 5 relate to the five laboratories which took part in the COOMET comparison, columns 7 and 8 to the two travelling standards, column 8 to the link with the CCAUV KCRV.

Rows 1 to 5 relate to the 5 measurements on microphone 4160.2303521, rows 6 to 10 to the 5 measurements on microphone 4160.2303519, rows 11 to 13 describe the link (deviation of the linking laboratories from CCAUV KCRV) and row 14 the constraint.

The number of degrees of freedom of this model is

$$v = g - h = 14 - 8 = 6. \quad (5)$$

This model describes the comparison for all frequencies which were used in both comparisons (COOMET and CCAUV). Because SMU only provided measurement results up to 2500 Hz, a modified model had to be used for the higher frequencies. This means that at frequencies over 2500 Hz the sizes of the matrices and vectors were reduced respectively, e.g. X has 12 rows and 7 columns, etc. Hence, the number of degrees of freedom is reduced to 5.

6.3 Consistency test of the model

In order to test the goodness-of fit of the model (1) to the measurement results a measure based on the chi-squared distribution was used as given by [6]

$$\chi^2 = (y - X\hat{\beta})^T \hat{\Phi}^{-1} (y - X\hat{\beta}) \quad (6)$$

Consistency between the model and the measurement is assessed by comparing the observed value of χ^2 with the expected value $E(\chi_\nu^2) = \nu$ in the context of the standard deviation $\sigma(\chi_\nu^2) = \sqrt{2\nu}$. The hypothesis was tested with a significance of 5%, i.e. the probability $P\{\chi^2(\nu) > \chi_{obs}^2\}$ had to be larger than 5%.

Table 5 shows the results of the equivalence test applied to the model(s) described above (different degrees of freedom in dependence on the frequency, see 6.2).

Frequency Hz	χ_{obs}^2	$P\{\chi^2(\nu) > \chi_{obs}^2\}$ %
63	2.80	83
125	2.46	87
250	1.23	98
500	2.25	90
1000	1.13	98
1250	0.85	99
1600	1.06	98
2000	3.56	74
2500	1.36	97
3150	1.60	90
4000	1.94	86
5000	2.10	83
6300	2.68	75
8000	1.73	89

Table 5. Consistency test of the model

For all frequencies the probability is higher than 5%, and, thus, the equivalence hypothesis can not be rejected.

6.4 Degrees of equivalence

The degrees of equivalence for the laboratories and their uncertainties, can be calculated from $\hat{\beta}$ and \hat{C} . The deviations of the i -th laboratory D_i from the KCRV are the elements $\hat{\beta}_1 \dots \hat{\beta}_3$ and their uncertainties U_i are obtained from the uncertainty matrix \hat{C} :

$$U_i = k\sqrt{\hat{C}_{ii}}, \quad (6)$$

where k is the coverage factor, $k = 2$.

Table 6 lists the degrees of equivalence and their uncertainties for all frequencies.

Frequency (Hz)	DE		PL		TR		SK		RU	
	D_j (dB)	U_j (dB)	D_j (dB)	U_j (dB)	D_j (dB)	U_j (dB)	D_j (dB)	U_j (dB)	D_j (dB)	U_j (dB)
63	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.06	0.02	0.05	-0.02	0.05
125	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	0.06	0.01	0.05	-0.01	0.03
250	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	0.06	0.01	0.05	-0.01	0.03
500	0.02	0.03	0.00	0.03	0.03	0.06	0.01	0.05	-0.01	0.03
1000	0.02	0.03	0.00	0.03	0.02	0.06	0.01	0.05	-0.01	0.03
1250	0.02	0.03	0.00	0.03	0.00	0.06	0.01	0.05	-0.01	0.03
1600	0.02	0.03	0.00	0.03	0.01	0.06	0.01	0.05	-0.01	0.03
2000	0.02	0.03	0.00	0.03	0.01	0.06	0.01	0.05	-0.01	0.03
2500	0.02	0.03	0.00	0.03	0.00	0.06	0.01	0.05	-0.01	0.04
3150	0.01	0.03	0.00	0.03	0.01	0.07			-0.01	0.04
4000	0.01	0.03	0.01	0.03	-0.01	0.07			0.00	0.04
5000	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.08			0.01	0.05
6300	0.01	0.04	0.02	0.04	0.00	0.09			0.04	0.07
8000	-0.01	0.04	0.04	0.04	0.04	0.10			0.06	0.08

Table 6. Degrees of equivalence to the KCRV and their expanded uncertainties ($k=2$).

The average deviations per laboratory are plotted over frequency in Figure 4.

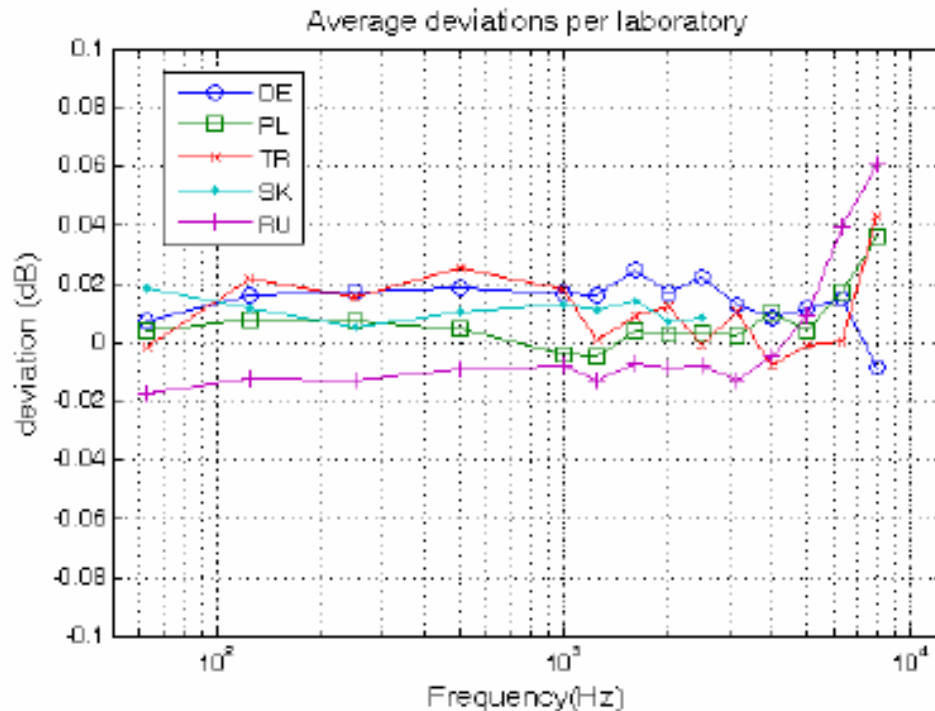


Fig. 4 Average deviations per laboratory

Figures 5 and 6 demonstrate the degrees of equivalence for the frequencies 250 Hz and 1000 Hz for all laboratories.

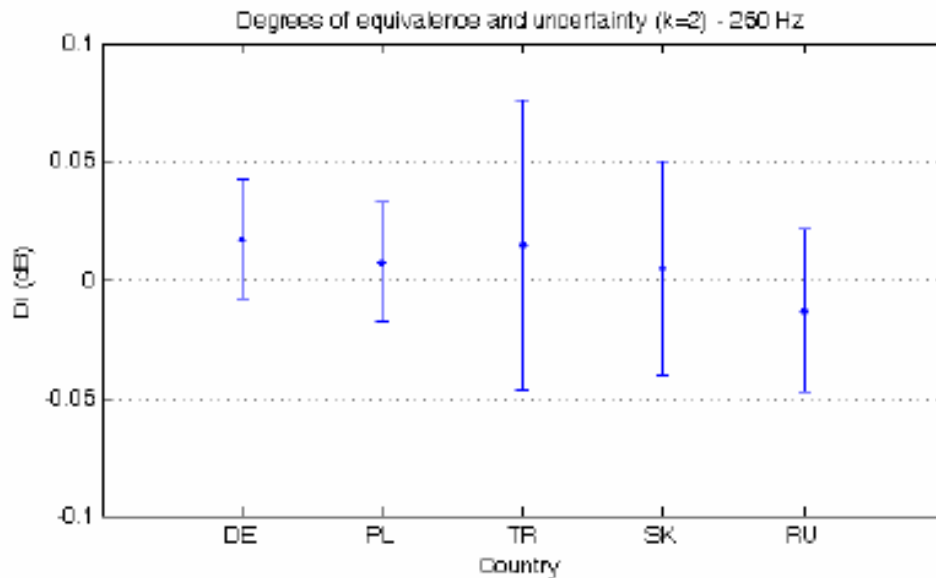


Fig. 5 Degrees of equivalence with the KCRV at 250 Hz

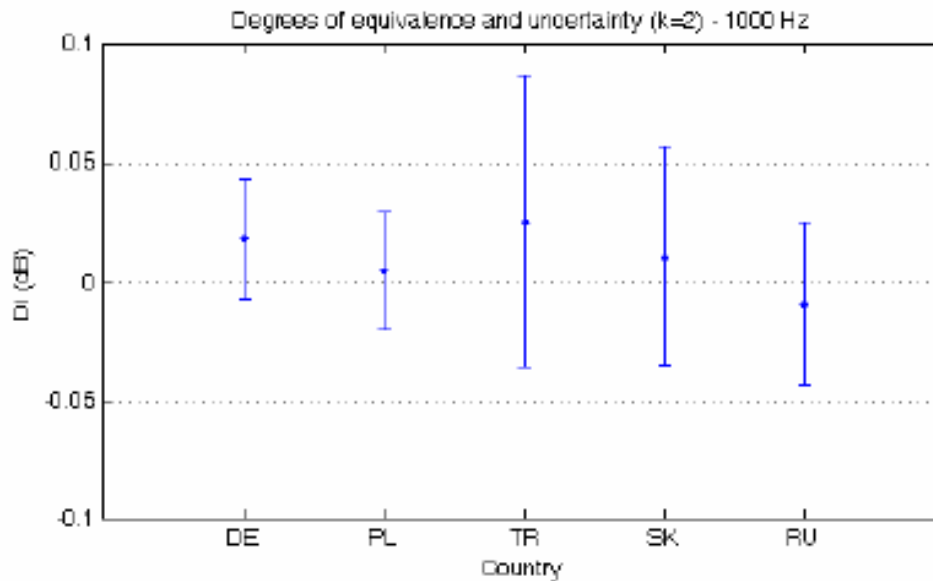


Fig. 6 Degrees of equivalence with the KCRV at 1000 Hz

The mutual degrees of equivalence (deviation D_{ij} of laboratory i from laboratory j) can be obtained from $\hat{\beta}$ and \hat{C} as:

$$D_{i,j} = \hat{\beta}_i - \hat{\beta}_j \quad (7)$$

and their uncertainties

$$U_{i,j} = k\sqrt{\hat{C}_{ii} + \hat{C}_{jj} + \hat{C}_{ij}} \quad (8)$$

where k is the coverage factor, $k = 2$.

Tables 7 to 10 list the mutual degrees of equivalence and their expanded uncertainties for the frequencies 250 Hz and 1000 Hz..

250 Hz	DE	PL	TR	SK	RU
DE	-	0.01	0.00	0.01	0.03
PL	-0.01	-	-0.01	0.00	0.02
TR	0.00	0.01	-	0.01	0.03
SK	-0.01	0.00	-0.01	-	0.02
RU	-0.03	-0.02	-0.03	-0.02	-

Table 7. Mutual degrees of equivalence at 250 Hz, deviations in dB

250 Hz	DE	PL	TR	SK	RU
DE	-	0.03	0.06	0.04	0.04
PL	0.03	-	0.06	0.04	0.04
TR	0.06	0.06	-	0.07	0.06
SK	0.04	0.04	0.07	-	0.05
RU	0.04	0.04	0.06	0.05	-

Table 8. Mutual degrees of equivalence at 250 Hz, uncertainties (k=2) in dB

1000 Hz	DE	PL	TR	SK	RU
DE	-	0.01	-0.01	0.01	0.03
PL	-0.01	-	-0.02	-0.01	0.01
TR	0.01	0.02	-	-	0.03
SK	-0.01	0.01	-0.02	0.00	0.02
RU	-0.03	-0.01	-0.03	-0.02	-

Table 9. Mutual degrees of equivalence at 1000 Hz, deviations in dB

1000 Hz	DE	PL	TR	SK	RU
DE	-	0.03	0.06	0.04	0.04
PL	0.03	-	0.06	0.04	0.04
TR	0.06	0.06	-	0.07	0.06
SK	0.04	0.04	0.07	-	0.05
RU	0.04	0.04	0.06	0.05	-

Table 10. Mutual degrees of equivalence at 1000 Hz, uncertainties (k=2) in dB

7 Conclusions

The results of the intercomparison proved the equivalence of all participating laboratories for all frequencies to the associated KCRV of the CCAUV.A-K1 within the estimated uncertainties.

Single degrees of equivalence were determined per laboratory and between pairs of them. Consistency tests of the data and the evaluation of the degrees of equivalence with their associated uncertainties show that in all cases the results are in good agreement.

8 References

- [1] IEC 61094-1, Measurement Microphones - Part 1: Specifications for Laboratory Standard Microphones, second edition, Geneva, International Electrotechnical Commission, 2004
- [2] IEC 61094-2, Measurement Microphones Part 2: Primary Method for Pressure Calibration of Laboratory Standard Microphones by the Reciprocity Technique-First Edition, Geneva, International Electrotechnical Commission, 1992
- [3] Brief guidelines for linking RMO key comparisons to the CIPM KCRV. CCAUV/04-27, BIPM 26 May 2004.
- [4] Barham, R., Report on key comparison CCUAV.A-K1, Metrologia, 2003, 40, Tech. Suppl., 09002
- [5] Sutton, C.M., Analysis and linking of international measurement comparisons. Metrologia 41(2004), 272-277.
- [6] Nielsen, L., Evaluation of measurement intercomparisons by the method of least squares. Danish Institute of Fundamental Metrology, DFM-99-R39, 1999.

Annex A – Microphone parameters

Tables A1 and A2 show the values for the microphone parameters used by the participants for the determination of the sensitivity levels.

	DE	PL	TR	SK	RU
total volume (mm ³)	682,0	666,0	677,8	-	-
front volume (mm ³)	-	-	535,5	543,0	535,0
cavity depth (mm)	1,974	1,983	1,971	-	1,95
equivalent volume (mm ³)	127	133	147	125	136
res. freq. (Hz)	8450	8160	8400	8230	8200
loss factor	1.04	1.05	1.18	1.09	1.05
acoustic mass (kg m ⁻⁴)	396,0	406,0	345,0	427	393,1
acoustic compliance (10 ⁻¹³ kg ⁻¹ m ⁴ s ²)	8,959	9,36	10,4	8,7	9,58
acoustic resistance (10 ⁷ kg m ⁻⁴ s ⁻¹)	2,207	2,2	2,15	2,41	2,13
low freq temp. coeff. (dB/K)	-0,002	-	-	-0,003	-0,002
low freq press. coeff. (dB/kPa)	-0,0152	-	-	-0,00184	-0,015

Table A1 - Stated parameters for microphone 4160.2302519

NOTE: If laboratories provided the acoustic impedance of the microphones as acoustic mass, compliance and resistance, the equivalent set of parameters (equivalent volume, resonance frequency and loss factor) was calculated from them in order to provide a more convenient overview.

	DE	PL	TR	SK	RU
total volume (mm ³)	685,0	667,0	678,1	-	-
front volume (mm ³)	-	-	532,8	542,0	535,0
cavity depth (mm)	1,968	1,977	1,961	-	1,95
equivalent volume (mm ³)	130	133	147	127	136
res. freq. (Hz)	8110	8160	8400	8100	8200
loss factor	1.1	1.06	1.18	1.05	1.05
acoustic mass (10 ⁷ kg m ⁻⁴)	420,0	406,0	345,0	433,0	393,1
acoustic compliance (10 ⁻¹³ kg ⁻¹ m ⁴ s ²)	9,171	9,36	10,4	8,9	9.58
acoustic resistance (10 ⁷ kg m ⁻⁴ s ⁻¹)	2,354	2,2	2,15	2,31	2,13
low freq temp. coeff. (dB/K)	-0,002	-	-	-0,003	-0,002
low freq press. coeff. (dB/kPa)	-0,0152	-	-	-0,00184	-0.015

Table A2 - Stated parameters for microphone 4160.2302521

NOTE: If laboratories provided the acoustic impedance of the microphones as acoustic mass, compliance and resistance, the equivalent set of parameters (equivalent volume, resonance frequency and loss factor) was calculated from them in order to provide a more convenient overview.

Annex B – Review of anomalies and changes to the declared results

According to the CIPM guidelines the pilot laboratory has the task to decide whether the results of any participant are anomalous before declaring the complete set of data to all participants. During the first review of the reported data, the results of DNDI (UA) and SMU (SK) seemed to be anomalous, and both laboratories were therefore given the chance to review their data. No indication of the kind or magnitude of the possible discrepancy was given.

SMU (SK)

The results of the pilot laboratory and those of the other participants had not been known by SMU prior to sending revised results.

The SMU detected a transmission error of the microphone loss factor value to the database of the basic measuring programme so that the sensitivity was calculated with wrong values.

These changes were accepted before SMU was informed about the results of the other participants and about those of the pilot laboratory. Only the *revised* data are used in the main part of this report.

Frequency	4160.2302519		4160.2302521	
	original	revised	original	revised
63	-26.85	-26.88	-26.84	-26.87
80	-26.88	-26.90	-26.86	-26.89
100	-26.89	-26.93	-26.88	-26.9
125	-26.91	-26.93	-26.89	-26.91
160	-26.92	-26.94	-26.91	-26.92
200	-26.94	-26.95	-26.92	-26.93
250	-26.94	-26.95	-26.93	-26.94
315	-26.95	-26.96	-26.93	-26.94
400	-26.96	-26.96	-26.94	-26.94
500	-26.97	-26.96	-26.95	-26.94
630	-26.98	-26.96	-26.94	-26.94
800	-26.98	-26.95	-26.96	-26.93
1000	-26.98	-26.93	-26.95	-26.91
1250	-26.98	-26.91	-26.94	-26.88
1600	-26.96	-26.88	-26.91	-26.83
2000	-26.90	-26.82	-26.84	-26.76
2500	-26.82	-26.74	-26.74	-26.65

Table B1. Original and the revised data reported by SMU

DNDI (UA)

The results of the pilot laboratory and those of the other participants had not been known by DNDI prior to sending the first revised results (revised (1)). The first revision was accepted before the declaration of the complete set of data.

After that DNDI discovered that a misinterpretation of the microphone parameters lead to an error in the determination of the total effective volume of the microphones and re-calculated the results (revised (2)) in the table. This re-calculation provided sensitivity levels which agree very well with the mean value. Because of the knowledge of the other data at the time of the re-calculation these data were not accepted to be included in the calculation of the reference value during the discussion of Draft A.

A further bilateral comparison between DNDI (UA) and PTB (DE), COOMET.AUV.A-K1.1, was organized in order to check the equivalence with the reference value. The result of this comparison will be reported separately.

Frequency Hz	4160.2302519			4160.2302521		
	original	revised (1)	revised (2)	original	revised (1)	revised (2)
63	-26.98	-26.98	-26.89	-26.96	-26.96	-26.88
80	-26.98	-26.98	-26.90	-26.97	-26.97	-26.89
100	-27.00	-27.00	-26.92	-26.98	-26.98	-26.91
125	-27.00	-27.00	-26.93	-26.99	-26.99	-26.91
160	-27.01	-27.01	-26.94	-27.00	-27.00	-26.93
200	-27.02	-27.02	-26.95	-27.01	-27.01	-26.94
250	-27.03	-27.03	-26.96	-27.01	-27.01	-26.95
315	-27.03	-27.03	-26.96	-27.02	-27.02	-26.95
400	-27.03	-27.03	-26.97	-27.02	-27.02	-26.95
500	-27.04	-27.04	-26.97	-27.01	-27.01	-26.95
600	-27.03	-27.03	-26.97	-27.01	-27.01	-26.95
800	-27.02	-27.02	-26.96	-27.00	-27.00	-26.94
1000	-27.00	-27.00	-26.95	-26.98	-26.98	-26.92
1250	-26.98	-26.98	-26.92	-26.94	-26.94	-26.89
1600	-26.94	-26.94	-26.88	-26.89	-26.89	-26.84
2000	-26.87	-26.87	-26.82	-26.82	-26.82	-26.77
2500	-26.77	-26.77	-26.73	-26.70	-26.70	-26.65
3150	-26.64	-26.64	-26.60	-26.52	-26.52	-26.48
4000	-26.45	-26.45	-26.44	-26.28	-26.28	-26.27
5000	-26.28	-26.28	-26.29	-26.03	-26.03	-26.05
6300	-26.37	-26.37	-26.41	-26.06	-26.06	-26.10
8000	-27.48	-27.48	-27.43	-27.23	-27.23	-27.18
10000	-30.54	-30.54	-30.09	-30.55	-30.55	-30.10

Table B2. Original an the revised data reported by DNDI

Annex C – Uncertainty budgets

In the following the uncertainty budgets as reported by the participants will be reproduced for reference.

PTB (DE)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	LS1P microphones								Frequency in Hz								
2																	
3									63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	10k
4																	
5	Type A uncertainty, as standard deviation (10^{-4} dB)																
6																	
7	Source of uncertainty																
8	Normal distribution																
9					Repeatability of electrical transfer impedance measurement				50	50	50	50	50	50	75	100	160
10																	
11																	
12	Estimate of a type A uncertainty (S.D.), $k=1$								50	50	50	50	50	50	75	100	160
13																	
14																	
15																	
16																	
17	Type B uncertainty, as semi-ranges (10^{-4} dB)																
18																	
19	Source of uncertainty																
20	Rectangular distribution																
21																	
22	Measurement				Resistance box				10	10	10	10	10	10	10	10	10
23					Stray capacitance				30	30	30	30	30	30	30	30	30
24					Polarization Voltage				22	22	22	22	22	22	22	22	22
25																	
26	Microphone parameters				Acoustic impedance (fit)				200	200	200	200	200	200	200	400	600
27					Cavity depth				1	1	1	1	1	1	1	2	2
28																	
29	Couplers				Diameter				10	10	10	10	10	10	10	10	10
30					Length				20	20	20	20	20	15	15	15	20
31																	
32	Correction of results to normal environmental conditions				Static pressure				30	30	30	30	30	30	30	30	30
33					Temperature				20	20	20	20	20	20	20	20	20
34																	
35	Environmental conditions				Static pressure				30	30	30	30	30	30	30	30	30
36					Temperature				5	5	5	5	5	5	5	5	10
37					Humidity				5	5	5	5	5	5	5	10	15
38																	
39	Rounding error								50	50	50	50	50	50	50	50	
40																	
41																	
42																	
43	Estimate of type B uncertainty (S.D.), $k=1$								125	125	125	125	125	125	125	236	350
44																	
45																	
46																	
47																	
48	Overall uncertainty (10^{-4} dB)																
49																	
50			Type A, $k=2$						100	100	100	100	100	100	150	200	320
51			Type B, $k=2$						250	250	250	250	250	249	249	471	700
52																	
53			Overall uncertainty, $k=2$						260	260	260	260	260	260	291	512	769
54																	
55									63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	10k

GUM (PL)
Summary of the uncertainty evaluation

1. Type B uncertainty components (rectangular probability distribution assumed, number of degrees of freedom $\nu_1 \rightarrow \infty$)

No	Uncertainty source	Components of Type B uncertainty expressed as distribution halfwidths (mB) at frequency											
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	2,5 kHz	3,15 kHz	4 kHz	5 kHz	6,3 kHz	8 kHz
1	Resistance box accuracy	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
2	Res. box stray capacitance	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
3	Res. box nonlinearity	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
4	Speed of sound (dry air)	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,07
5	Change of sound speed with humidity	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,15
6	Specific heats ratio	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30	0,31
7	Coupler radius	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
8	Coupler length	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15	0,11	0,06	0,04
9	Cavity depth	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,02
10	Front cavity volume	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,24	0,24	0,22	0,20	0,16	0,08	0,04
11	Theory of adding volume	0	0	0	0,01	0,02	0,08	0,09	0,14	0,22	0,35	0,58	1,01
12	Acoustic compliance	0	0	0,01	0,03	0,08	0,38	0,60	1,01	1,70	2,43	2,11	1,10
13	Acoustic mass	0	0	0,01	0,03	0,13	0,51	0,78	1,17	1,62	1,80	1,11	0,43
14	Acoustic resistance	0	0	0	0,01	0,09	0,12	0,16	0,20	0,20	0,02	0,25	0,31
15	Heat conduction theory	0,01	0,01	0	0	0,03	0,11	0,16	0,24	0,36	0,51	0,72	1,08
16	Thermal diffusivity	0,22	0,16	0,11	0,08	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
17	Capillary radius	0,43	0,48	0,38	0,17	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0	0	0
18	Air viscosity	0,08	0,08	0,05	0,03	0,01	0	0	0	0	0	0	0
19	Static pressure determination	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13
20	Humidity determination	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07
21	Temperature determination	0	0	0	0	0,01	0,03	0,05	0,07	0,13	0,20	0,31	0,50
22	Polarizing voltage	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
23	Pressure radial non-uniformity	0	0	0	0	0	0,01	0,05	0,08	0,11	0,18	0,26	0,38
24	Temperature dependence of microphone parameters	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
25	Static pressure dependence of microphone parameters	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
26	Transmitter ground shield	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
27	Receiver ground shield	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
28	Rounding error	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Resultant Type B uncertainty expressed as distribution halfwidth	1,251	1,2616	1,221	1,17	1,168	1,32	1,533	1,956	2,656	3,297	2,833	2,313
	Resultant Type B uncertainty expressed as standard deviation	0,722	0,728	0,705	0,675	0,674	0,762	0,885	1,120	1,534	1,904	1,636	1,336

2. Type A uncertainty components (normal probability distribution assumed, large number of repetitions)

No	Uncertainty source	Components of Type A uncertainty expressed as standard deviations (mB) at frequency											
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	2,5 kHz	3,15 kHz	4 kHz	5 kHz	6,3 kHz	8 kHz
1	Allowed repeatability	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,25	1,50	1,75
2	Front cavity volume	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,72	0,72	0,66	0,60	0,48	0,24	0,12
Resultant Type A uncertainty expressed as standard deviation		1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,23	1,23	1,20	1,17	1,34	1,52	1,75

3. Overall uncertainty

Type of uncertainty	Uncertainty (mB) at frequency												
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	2,5 kHz	3,15 kHz	4 kHz	5 kHz	6,3 kHz	8 kHz	
Resultant Type B uncertainty expressed as standard deviation	0,722	0,728	0,705	0,675	0,674	0,762	0,885	1,120	1,534	1,904	1,636	1,336	
Resultant Type A uncertainty expressed as standard deviation	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,23	1,23	1,20	1,17	1,34	1,52	1,75	
Expanded Type B uncertainty at $k=2$	1,444	1,456	1,41	1,35	1,348	1,524	1,77	2,258	3,068	3,808	3,272	2,672	
Expanded Type A uncertainty at $k=2$	2,54	2,54	2,54	2,54	2,54	2,46	2,46	2,40	2,34	2,68	3,04	3,50	
Overall uncertainty at $k=2$	2,92	2,98	2,90	2,87	2,87	2,90	3,03	3,20	3,85	4,66	4,46	4,40	
Overall uncertainty rounded, dB	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	

UME (TR)

UNCERTAINTY BUDGET FOR COOMET.AUV.A-K1 COMPARISON

SOURCE OF UNCERTAINTY	Probability distribution	Standard Uncertainty ($\times 10^{-4}$ dB)													
		Frequency (Hz)													
		63	125	250	500	1000	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	
Microphone Parameters															
Cavity Depth	rectangular	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	5	5	3	0
Front cavity volume	rectangular	134	134	134	134	134	122	122	111	101	101	79	54	41	218
Acoustic compliance	rectangular	0	0	0	6	17	35	58	82	110	127	138	121	115	
Acoustic mass	rectangular	0	0	0	6	6	17	23	29	29	6	35	46	150	
Acoustic resistance	rectangular	0	0	8	8	12	32	43	75	101	118	72	32	144	
Mic. pressure correction	rectangular	52	52	52	52	52	46	35	35	17	12	17	52	138	
Mic. temperature correction	rectangular	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Electrical Measurements															
Voltage ratio measurements	normal	65	65	65	65	65	65	65	65	82	82	82	82	82	82
Stray capacitance	rectangular	58	58	58	58	58	87	87	115	115	115	115	115	115	115
Transmitter ground shield	rectangular	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Receiver ground shield	rectangular	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Polarization voltage	rectangular	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Coupler															
Radius of coupler	rectangular	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Length of coupler	rectangular	17	17	17	17	17	17	17	17	14	14	14	6	6	21
Theory															
Speed of sound	rectangular	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	13	16
Heat conduction theory	rectangular	27	25	24	24	24	26	28	33	43	56	78	110	183	
Theory of adding volume	rectangular	0	0	0	1	1	3	5	8	13	20	33	58	108	
Air viscosity	rectangular	12	12	9	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capillary radius	rectangular	33	37	29	13	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0
Pressure radial non-uniformity	rectangular	0	0	0	0	0	1	3	5	8	10	15	22	31	
Environmental Conditions															
Static pressure	rectangular	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Temperature	rectangular	1	1	1	1	1	1	1	2	2	4	6	10	17	
Humidity	rectangular	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Other															
Allowed repeatability	normal	250	250	250	250	250	250	250	250	250	275	300	400	400	
Rounding error	rectangular	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Combined Uncertainty	normal	309	310	309	308	308	312	316	336	348	372	385	470	564	
Expanded Uncertainty	normal	619	619	617	615	615	625	632	671	695	745	771	940	1188	
Reported Uncertainty (dB)	normal	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,12	

SMU (SK)

SMU (SK)

Slovenský metrologický ústav

Summary of the uncertainty budget for COOMET.AUV.A-K1

Microphones type LS 1P

Type B standard uncertainty of the microphone sensitivity

Uncertainty source	Distribution	Contribution to the standard uncertainty in (mV/Pa)						
		Frequency (Hz)						
		63	125	250	500	1000	2000	2500
Voltage $u_{M,u}$	rectangular	0,0057	0,0054	0,0052	0,0052	0,0051	0,0050	0,0048
Capacity of the measured cond. $u_{M,Cmer}$	normal	-0,0026	-0,0026	-0,0026	-0,0026	-0,0026	-0,0026	-0,0026
Air density $u_{M,p}$	rectangular	-0,0324	-0,0324	-0,0324	-0,0324	-0,0324	-0,0324	-0,0324
Sound velocity $u_{M,C0}$	rectangular	-0,0212	-0,0177	-0,0203	-0,0204	-0,0199	-0,0202	-0,0203
Cross area the cavity $u_{M,s}$	rectangular	0,0147	0,0147	0,0147	0,0147	0,0147	0,0147	0,0147
Equiv.length of the cavity $u_{M,le}$	rectangular	-0,0841	-0,0895	-0,0809	-0,0805	-0,0820	-0,0812	-0,0817
Measuring frequency $u_{M,f}$	normal	-2,6E-06	-2,7E-06	-2,5E-06	-2,6E-06	-2,5E-06	-2,6E-06	-2,5E-06
Pressure correction $u_{M,kp}$	normal	-0,0184	-0,0184	-0,0184	-0,0184	-0,0184	-0,0184	-0,0184
Temperature correction $u_{M,kt}$	normal	-0,0035	-0,0035	-0,0035	-0,0035	-0,0035	-0,0035	-0,0035
Polarization voltage $u_{M,up}$	rectangular	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035
Heat conductivity in the closed cavity $u_{M,KHCG}$	rectangular	0,00017	0,00012	0,00008	0,00006	0,00004	0,00003	0,00003
Type B overall uncertainty in (mV/Pa)		0,096	0,100	0,093	0,093	0,094	0,093	0,094
Type B overall round up uncertainty in (mV/Pa)		0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Type B overall uncertainty in (dB)		0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018

Remark: The uncertainties of the microphone acoustic impedance parameter components by means of equivalent volumes are implemented in equivalent length of cavity.

Correlation dependency between some parameters e.g.head conductivity and sound velocity due to small value (6.4E-5 mmV/Pa) are omitted.

The partial uncertainty from measuring frequency setting accuracy is possible too neglect.

Type A standard uncertainty of the microphone sensitivity

Uncertainty source in (dB)	Frequency (Hz)						
	63	125	250	500	1000	2000	2500
Repeatability during narrow time gap	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
Repeatability with another microphone or position changing	0,003	0,002	0,003	0,006	0,005	0,004	0,003
Type A overall uncertainty in (dB)	0,003	0,002	0,003	0,006	0,005	0,004	0,003

Combined uncertainty

Uncertainty source in (dB)	Frequency (Hz)						
	63	125	250	500	1000	2000	2500
Type A overall uncertainty in (dB)	0,003	0,002	0,003	0,006	0,005	0,004	0,003
Type B overall uncertainty in (dB)	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
Rounding error (dB)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Physical constants (dB)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Combined uncertainty	0,0190	0,0188	0,0190	0,0197	0,0194	0,0192	0,0190
Expanded uncertainty ($k = 2$)	0,038	0,038	0,038	0,039	0,039	0,038	0,038
Reported uncertainty (dB)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05

VNIIFTRI (RU)

SOURCE OF UNCERTAINTY	Components of uncertainty ($\times 10^3$ dB)												
	Frequency, Hz												
	63	125	250	500	1000	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Electr. transfer impedance	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Distance between micr.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.0	1.6	2.6	4.2	6.8	10.7	18.6
Volume of couplir	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
Acoustic compliance	17.1	17.1	17.3	17.3	16.8	15.1	13.5	11.0	6.8	1.0	2.7	2.6	6.8
Acoustic resistance	0.0	0.0	0.1	0.3	1.1	4.3	6.7	10.1	14.3	16.7	11.1	3.7	21.6
Acoustic mass	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.8	2.5	3.3	3.2	0.8	3.3	4.9	19.6
Temperature	0.9	0.7	0.6	0.6	0.7	1.5	2.1	3.2	4.8	7.5	11.7	18.3	31.5
Pressure	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Humidity	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.3	2.9	4.0	5.7	8.8
Type A uncertainty $U_A \times 10^3$, dB	27.0	13.0	12.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	13.0	17.0	25.0	35.0	55.0
Overall type B uncertainty U_B , dB	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.015	0.016	0.019	0.033
Overall expanded uncertainty $(k=2) U$, dB	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.13

Príloha 4.4

Report on key comparison COOMET.AUV.A-K1 Final Report, October 2008, Thomas Fedtke PTB Braunschweig v chránenom formáte pdf, 30str.

Summary - linking key comparison from July 2009

Key comparison CCAUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

x_i : result of measurements carried out by laboratory i (designated as M_i in the CCAUV.A-K1 Final Report)
 The quoted pressure sensitivity levels are the mean of measurements on two microphones, relative to the arithmetic mean value of all such measurement made in this key comparison.
 The nominal value is therefore 0 dB, the key comparison reference value.

u_i : combined standard uncertainty of x_i
 The uncertainty quoted in the table is $2u_i$, so that it can be given at a resolution consistent with the measured data.

Frequency Lab i	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		1250 Hz		1600 Hz		2000 Hz	
	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB
NPL	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03
CENAM	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03
CSIR-NML	0.01	0.05	0.01	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.01	0.05
NMIA	-	-	-	-	0.02	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	-	-	-	-	-	-
DPLA	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03
NMIJ	0.00	0.05	0.00	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.04	-0.02	0.04	-0.01	0.04	-0.02	0.04
GUM	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
KRISS	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
NIST	-0.01	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.04	0.00	0.04	-0.02	0.04	-0.02	0.04	-0.02	0.04	-0.02	0.04
NRC	-0.04	0.04	-0.04	0.04	-0.04	0.03	-0.04	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.04
PTB	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03
VNIFTRI	-0.01	0.08	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05

The BIPM key comparison database, July 2009

1/26

Key comparison CCAUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

x_i : result of measurements carried out by laboratory i (designated as M_i in the CCAUV.A-K1 Final Report)
 The quoted pressure sensitivity levels are the mean of measurements on two microphones, relative to the arithmetic mean value of all such measurement made in this key comparison.
 The nominal value is therefore 0 dB, the key comparison reference value.

u_i : combined standard uncertainty of x_i
 The uncertainty quoted in the table is $2u_i$, so that it can be given at a resolution consistent with the measured data.

Frequency Lab i	2500 Hz		3150 Hz		4000 Hz		5000 Hz		6300 Hz		8000 Hz	
	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB	x_i / dB	$2u_i$ / dB
NPL	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.01	0.05	0.02	0.05	0.03	0.05
CENAM	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.05	0.02	0.05	0.01	0.06	-0.01	0.10
CSIR-NML	0.02	0.05	0.01	0.05	0.01	0.06	0.01	0.07	0.03	0.06	0.02	0.07
NMIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DPLA	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03	0.05	0.01	0.06
NMIJ	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.04	0.04	-0.05	0.05	-0.06	0.06	-0.05	0.06
GUM	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.04	0.01	0.05	0.02	0.05	0.04	0.05
KRISS	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01	0.04	0.02	0.04
NIST	-0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.12
NRC	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.04	0.04	-0.04	0.04	-0.04	0.04	-0.05	0.04
PTB	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.05	0.02	0.05	-0.01	0.05
VNIFTRI	-0.02	0.05	-0.02	0.05	-0.03	0.06	-0.03	0.09	-0.02	0.14	0.02	0.23

The BIPM key comparison database, July 2009

2/26

Key comparison EUROMET.AUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

x_{i-EUR} : result of measurements carried out by laboratory i (designated as M_i in the EUROMET.AUV.A-K1 Final Report)
 The quoted pressure sensitivity levels are relative to internal EUROMET reference values, computed as explained on page 3 of the EUROMET.AUV.A-K1 Final Report for each frequency, so the nominal value is 0 dB by design.

u_{i-EUR} : combined standard uncertainty of x_{i-EUR}
 The uncertainty quoted in the table is $2u_{i-EUR}$, so that it can be given at a resolution consistent with the measured data.

Frequency Lab i	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		1250 Hz		1600 Hz		2000 Hz	
	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB
NPL	-0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
DPLA	-0.03	0.04	-0.01	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.03	0.00	0.03	-0.01	0.03
BEV	-0.02	0.06	0.00	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.03	-0.02	0.03	-0.01	0.03	-0.02	0.03
SP	0.00	0.05	0.01	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04
IEN	-0.02	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.05	0.00	0.05	-0.02	0.05	-0.03	0.05	-0.03	0.05	-0.02	0.05
PTB	0.00	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03
UME	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.07	0.05
METAS	-0.04	0.03	-0.02	0.03	-0.01	0.03	-0.02	0.03	-0.02	0.03	-	-	-0.02	0.03	-0.04	0.03
SMU	0.02	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.02	0.04
OMH	0.03	0.07	0.04	0.07	0.04	0.07	0.02	0.07	0.00	0.07	-0.01	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07
CMI	-	-	-0.03	0.03	-0.04	0.03	-0.03	0.03	-0.04	0.03	-	-	-	-	-	-

Results obtained at 10 kHz are not displayed in this Table, because they cannot be linked to CCAUV.A-K1 results, for which no data were taken at this frequency. They can be found in Table 2 on page 4 of the EUROMET.AUV.A-K1 Final Report.

The BIPM key comparison database, July 2009

3/26

Key comparison EUROMET.AUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

x_{i-EUR} : result of measurements carried out by laboratory i (designated as M_i in the EUROMET.AUV.A-K1 Final Report)
 The quoted pressure sensitivity levels are relative to internal EUROMET reference values, computed as explained on page 3 of the EUROMET.AUV.A-K1 Final Report for each frequency, so the nominal value is 0 dB by design.

u_{i-EUR} : combined standard uncertainty of x_{i-EUR}
 The uncertainty quoted in the table is $2u_{i-EUR}$, so that it can be given at a resolution consistent with the measured data.

Frequency Lab i	2500 Hz		3150 Hz		4000 Hz		5000 Hz		6300 Hz		8000 Hz	
	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB	x_{i-EUR} / dB	$2u_{i-EUR}$ / dB
NPL	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05
DPLA	-0.01	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.02	0.04	0.02	0.05	0.00	0.06
BEV	-0.02	0.03	-0.02	0.03	-0.02	0.03	-0.03	0.04	-0.06	0.05	-0.09	0.06
SP	-0.01	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.06	0.01	0.07	0.03	0.10
IEN	-0.02	0.05	-0.02	0.05	-0.03	0.05	-0.03	0.05	-0.03	0.05	0.04	0.05
PTB	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06
UME	0.05	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.03	0.10	-0.01	0.10	-0.03	0.10
METAS	-	-	0.00	0.03	0.00	0.03	-	-	0.01	0.05	-0.01	0.04
SMU	0.02	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OMH	-0.02	0.07	-0.01	0.07	-0.02	0.07	-0.03	0.07	-0.03	0.07	-0.04	0.07
CMI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Results obtained at 10 kHz are not displayed in this Table, because they cannot be linked to CCAUV.A-K1 results, for which no data were taken at this frequency. They can be found in Table 2 on page 4 of the EUROMET.AUV.A-K1 Final Report.

The BIPM key comparison database, July 2009

4/26

Key comparison APMP.AUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

x_{i-APMP} : result of measurements carried out by laboratory *i*
 The quoted pressure sensitivity levels are relative to internal APMP reference values, computed as explained on page 16 of the APMP.AUV.A-K1 Final Report for each frequency, so the nominal value is 0 dB by design.

u_{i-APMP} : combined standard uncertainty of x_{i-APMP}
 The uncertainty quoted in the table is $2u_{i-APMP}$, so that it can be given at a resolution consistent with the measured data.

Frequency Lab <i>i</i>	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		1250 Hz		1600 Hz		2000 Hz	
	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB
CMS/ITRI	0.00	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04
KRISS	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03
NIM	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05
NIMT	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04
NMIA	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04
NML-SIRIM	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03
NPLI	-0.02	0.07	-0.02	0.07	-0.01	0.07	-0.02	0.07	-0.01	0.07	-0.01	0.07	-0.01	0.07	-0.01	0.07
SCL	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04
NMIJ	0.01	0.05	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.04	-0.02	0.04

The BIPM key comparison database, July 2009

5/26

Key comparison APMP.AUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

x_{i-APMP} : result of measurements carried out by laboratory *i*
 The quoted pressure sensitivity levels are relative to internal APMP reference values, computed as explained on page 16 of the APMP.AUV.A-K1 Final Report for each frequency, so the nominal value is 0 dB by design.

u_{i-APMP} : combined standard uncertainty of x_{i-APMP}
 The uncertainty quoted in the table is $2u_{i-APMP}$, so that it can be given at a resolution consistent with the measured data.

Frequency Lab <i>i</i>	2500 Hz		3150 Hz		4000 Hz		5000 Hz		6300 Hz		8000 Hz	
	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB	x_{i-APMP} / dB	$2u_{i-APMP}$ / dB
CMS/ITRI	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.06	0.01	0.06	-0.02	0.06
KRISS	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.04
NIM	-0.01	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.06	-0.02	0.06	-0.01	0.06
NIMT	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.06
NMIA	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02	0.06	0.01	0.06
NML-SIRIM	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.04	0.01	0.05	0.03	0.06	0.04	0.07
NPLI	-0.01	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07	0.02	0.07	0.02	0.07	0.04	0.07
SCL	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.05	-0.01	0.06	-0.01	0.06
NMIJ	-0.02	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.04	0.05	-0.04	0.06	-0.02	0.06

The BIPM key comparison database, July 2009

6/26

Key comparison SIM.AUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

x_{i-SIM} : result of measurements carried out by laboratory *i*
 The quoted pressure sensitivity levels are relative to internal SIM reference values, obtained as the arithmetic mean of all measurements available for each microphone, see on page 12 of the SIM.AUV.A-K1 Final Report, so the nominal value is 0 dB by design.

u_{i-SIM} : combined standard uncertainty of x_{i-SIM}

The transfer standards were calibrated by the pilot laboratory, NRC, before delivery and after return from a participating laboratory.

Microphone serial number 907045

Frequency Lab <i>i</i>	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz		8000 Hz	
	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB
NRC	0.01	0.025	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.025	-0.02	0.03
NIST	0.01	0.02	-0.01	0.02	-0.01	0.02	-0.02	0.02	-0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.06
NRC	0.01	0.025	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.025	-0.01	0.03
CENAM	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.025	0.02	0.025	0.00	0.025	0.04	0.05
NRC	0.01	0.025	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.025	-0.01	0.03
INMETRO	-0.05	0.025	-0.04	0.025	-0.04	0.025	-0.05	0.025	-0.05	0.025	-0.05	0.035	-0.01	0.055
NRC	0.00	0.025	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.025	0.00	0.03
INTI	-0.01	0.025	-0.02	0.025	-0.01	0.025	-0.01	0.025	-0.01	0.025	-0.02	0.05	-0.02	0.05
NRC	0.00	0.025	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.025	-0.01	0.03

The BIPM key comparison database, July 2009

7/26

Key comparison SIM.AUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

x_{i-SIM} : result of measurements carried out by laboratory *i*
 The quoted pressure sensitivity levels are relative to internal SIM reference values, obtained as the arithmetic mean of all measurements available for each microphone, see on page 12 of the SIM.AUV.A-K1 Final Report, so the nominal value is 0 dB by design.

u_{i-SIM} : combined standard uncertainty of x_{i-SIM}

The transfer standards were calibrated by the pilot laboratory, NRC, before delivery and after return from a participating laboratory.

Microphone serial number 1734004

Frequency Lab <i>i</i>	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz		8000 Hz	
	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB	x_{i-SIM} / dB	u_{i-SIM} / dB
NRC	0.00	0.025	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.025	-0.01	0.03
NIST	0.01	0.02	0.00	0.02	-0.01	0.02	-0.02	0.02	-0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.06
NRC	0.01	0.025	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.025	-0.01	0.03
CENAM	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.025	0.00	0.025	0.00	0.025	0.00	0.05
NRC	-0.01	0.025	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.025	0.00	0.03
INMETRO	-0.02	0.025	-0.02	0.025	-0.01	0.025	0.00	0.025	-0.02	0.025	-0.02	0.035	0.00	0.055
NRC	0.00	0.025	0.00	0.01	-0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.025	0.00	0.03
INTI	0.01	0.025	0.01	0.025	0.01	0.025	0.01	0.025	0.01	0.025	0.01	0.05	0.00	0.05
NRC	0.00	0.025	0.00	0.01	-0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.025	-0.01	0.03

The BIPM key comparison database, July 2009

8/26

Key comparison APMP.AUV.A-K1.1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

$x_{f,APMP-K1.1,i}$: result of measurements carried out by KIM-LIPI obtained as the difference between KRIS and KIM-LIPI

$U_{f,APMP-K1.1,i}$: Expanded uncertainty of $x_{f,APMP-K1.1,i}$

Frequency Lab <i>i</i>	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		1250 Hz		1600 Hz		2000 Hz	
	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB
KIM-LIPI	0.00	0.08	0.01	0.08	0.01	0.08	0.00	0.08	0.01	0.07	0.01	0.08	0.01	0.08	0.01	0.08

The BIPM key comparison database, July 2009

9/26

Key comparison APMP.AUV.A-K1.1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

$x_{f,APMP-K1.1,i}$: result of measurements carried out by KIM-LIPI obtained as the difference between KRIS and KIM-LIPI

$U_{f,APMP-K1.1,i}$: Expanded uncertainty of $x_{f,APMP-K1.1,i}$

Frequency Lab <i>i</i>	2500 Hz		3150 Hz		4000 Hz		5000 Hz		6300 Hz		8000 Hz	
	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$x_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB	$U_{f,APMP-K1.1,i}$ / dB
KIM-LIPI	0.01	0.08	0.02	0.09	0.01	0.10	0.02	0.11	0.02	0.11	0.05	0.12

The BIPM key comparison database, July 2009

10/26

Key comparison COOMET.AUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1F
 NOMINAL VALUE : 0 dB

x_{i-000} : result of measurements carried out by laboratory i

u_{i-000} : combined standard uncertainty of x_{i-000}

Lab i Frequency	Microphone 4160.2302519										Microphone 4160.2302521									
	PTB		GUM		UME		SMU		VNIIFTRI		PTB		GUM		UME		SMU		VNIIFTRI	
	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB	x_{i-000} / dB	$2u_{i-000}$ / dB
63 Hz	-26.88	0.03	-26.90	0.03	-26.89	0.06	-26.88	0.04	-26.93	0.06	-26.88	0.03	-26.89	0.03	-26.90	0.06	-26.87	0.04	-26.90	0.06
80 Hz	-26.89	0.03	-26.91	0.03	-26.89	0.06	-26.90	0.04	-26.94	0.05	-26.89	0.03	-26.90	0.03	-26.90	0.06	-26.89	0.04	-26.92	0.05
100 Hz	-26.91	0.03	-26.93	0.03	-26.91	0.06	-26.93	0.04	-26.95	0.04	-26.90	0.03	-26.91	0.03	-26.90	0.06	-26.90	0.04	-26.93	0.04
125 Hz	-26.91	0.03	-26.93	0.03	-26.91	0.06	-26.93	0.04	-26.96	0.04	-26.91	0.03	-26.92	0.03	-26.91	0.06	-26.91	0.04	-26.94	0.04
160 Hz	-26.92	0.03	-26.94	0.03	-26.92	0.06	-26.94	0.04	-26.97	0.04	-26.91	0.03	-26.93	0.03	-26.92	0.06	-26.92	0.04	-26.95	0.04
200 Hz	-26.93	0.03	-26.95	0.03	-26.94	0.06	-26.95	0.04	-26.98	0.04	-26.92	0.03	-26.94	0.03	-26.92	0.06	-26.93	0.04	-26.95	0.04
250 Hz	-26.93	0.03	-26.95	0.03	-26.94	0.06	-26.95	0.04	-26.98	0.04	-26.92	0.03	-26.94	0.03	-26.93	0.06	-26.94	0.04	-26.96	0.04
315 Hz	-26.94	0.03	-26.95	0.03	-26.94	0.06	-26.96	0.04	-26.98	0.04	-26.93	0.03	-26.94	0.03	-26.94	0.06	-26.94	0.04	-26.96	0.04
400 Hz	-26.94	0.03	-26.97	0.03	-26.94	0.06	-26.96	0.04	-26.99	0.04	-26.93	0.03	-26.95	0.03	-26.93	0.06	-26.94	0.04	-26.96	0.04
500 Hz	-26.94	0.03	-26.97	0.03	-26.94	0.06	-26.96	0.04	-26.99	0.04	-26.93	0.03	-26.95	0.03	-26.93	0.06	-26.94	0.04	-26.96	0.04
630 Hz	-26.94	0.03	-26.96	0.03	-26.93	0.06	-26.96	0.04	-26.98	0.04	-26.92	0.03	-26.95	0.03	-26.91	0.06	-26.94	0.04	-26.96	0.04
800 Hz	-26.93	0.03	-26.95	0.03	-26.92	0.06	-26.95	0.04	-26.98	0.04	-26.91	0.03	-26.94	0.03	-26.91	0.06	-26.93	0.04	-26.94	0.04
1000 Hz	-26.92	0.03	-26.93	0.03	-26.93	0.06	-26.93	0.04	-26.96	0.04	-26.90	0.03	-26.93	0.03	-26.90	0.06	-26.91	0.04	-26.93	0.04
1250 Hz	-26.90	0.03	-26.93	0.03	-26.92	0.06	-26.91	0.04	-26.94	0.04	-26.87	0.03	-26.90	0.03	-26.89	0.06	-26.88	0.04	-26.90	0.04
1600 Hz	-26.86	0.03	-26.89	0.03	-26.88	0.06	-26.88	0.04	-26.90	0.04	-26.82	0.03	-26.85	0.03	-26.84	0.06	-26.83	0.04	-26.85	0.04
2000 Hz	-26.80	0.03	-26.83	0.03	-26.83	0.06	-26.82	0.04	-26.84	0.04	-26.75	0.03	-26.77	0.03	-26.74	0.06	-26.76	0.04	-26.77	0.04
2500 Hz	-26.72	0.03	-26.75	0.04	-26.75	0.06	-26.74	0.05	-26.75	0.04	-26.64	0.03	-26.67	0.04	-26.66	0.06	-26.65	0.05	-26.66	0.04
3150 Hz	-26.59	0.03	-26.62	0.04	-26.60	0.07	-	-	-26.61	0.04	-26.48	0.03	-26.50	0.04	-26.48	0.07	-	-	-26.49	0.04
4000 Hz	-26.43	0.03	-26.44	0.04	-26.45	0.07	-	-	-26.43	0.04	-26.26	0.03	-26.26	0.04	-26.27	0.07	-	-	-26.26	0.04
5000 Hz	-26.30	0.05	-26.31	0.05	-26.31	0.07	-	-	-26.28	0.05	-26.05	0.05	-26.05	0.05	-26.05	0.07	-	-	-26.04	0.05
6300 Hz	-26.42	0.05	-26.41	0.05	-26.42	0.08	-	-	-26.37	0.06	-26.07	0.05	-26.07	0.05	-26.09	0.08	-	-	-26.06	0.06
8000 Hz	-27.43	0.05	-27.39	0.05	-27.37	0.09	-	-	-27.34	0.08	-27.15	0.05	-27.11	0.05	-27.11	0.09	-	-	-27.10	0.08
10000 Hz	-30.01	0.08	-29.91	0.09	-29.94	0.12	-	-	-29.82	0.13	-30.01	0.08	-29.94	0.09	-29.94	0.12	-	-	-29.93	0.13

The BIPM key comparison database, July 2009

11/26

Key comparison COOMET.AUV.A-K1.1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1F
 NOMINAL VALUE : 0 dB

$x_{i-000,1}$: result of measurements carried out by laboratory i

$u_{i-000,1}$: combined standard uncertainty of $x_{i-000,1}$

Microphone 4160.2302520

Lab i Frequency	PTB		DNDI	
	$x_{i-000,1}$ / dB	$2u_{i-000,1}$ / dB	$x_{i-000,1}$ / dB	$2u_{i-000,1}$ / dB
63 Hz	-26.90	0.03	-26.90	0.05
80 Hz	-26.91	0.03	-26.91	0.05
100 Hz	-26.92	0.03	-26.92	0.05
125 Hz	-26.93	0.03	-26.93	0.05
160 Hz	-26.94	0.03	-26.94	0.05
200 Hz	-26.94	0.03	-26.95	0.05
250 Hz	-26.95	0.03	-26.95	0.05
315 Hz	-26.95	0.03	-26.95	0.05
400 Hz	-26.95	0.03	-26.96	0.05
500 Hz	-26.95	0.03	-26.96	0.04
630 Hz	-26.95	0.03	-26.96	0.04
800 Hz	-26.95	0.03	-26.95	0.04
1000 Hz	-26.93	0.03	-26.94	0.04
1250 Hz	-26.91	0.03	-26.93	0.04
1600 Hz	-26.88	0.03	-26.89	0.04
2000 Hz	-26.83	0.03	-26.84	0.04
2500 Hz	-26.76	0.03	-26.77	0.04
3150 Hz	-26.65	0.03	-26.66	0.04
4000 Hz	-26.52	0.03	-26.53	0.04
5000 Hz	-26.42	0.05	-26.44	0.05
6300 Hz	-26.57	0.05	-26.59	0.06
8000 Hz	-27.54	0.05	-27.57	0.08
10000 Hz	-30.09	0.08	-30.01	0.12

The BIPM key comparison database, July 2009

12/26

Key comparison CCAUV.A-K1

MEASURAND : Pressure sensitivity level of laboratory standard microphone type LS1P
 NOMINAL VALUE : 0 dB

The key comparison values, x_R (designated as M_{ref} in the CCAUV.A-K1 Final Report), are obtained as the arithmetic means of all measurements, normalized to zero decibels, at each frequency.

At a given frequency, the combined standard uncertainty, u_R , of the key comparison reference value is determined by propagating the individual measurement uncertainties.

Frequency / Hz	x_R / dB	u_R / dB
63	0.00	0.006
125	0.00	0.006
250	0.00	0.005
500	0.00	0.005
1000	0.00	0.005
1250	0.00	0.006
1600	0.00	0.006
2000	0.00	0.006
2500	0.00	0.006
3150	0.00	0.006
4000	0.00	0.006
5000	0.00	0.007
6300	0.00	0.008
8000	0.00	0.011

At a given frequency, the degree of equivalence of each laboratory with respect to the key comparison reference value is given by a pair of terms: $D_i = (x_i - x_R)$, and its expanded uncertainty ($k = 2$), $U_i = 2[(1 - 2/n)u_i^2 + u_R^2]^{1/2}$, where n is the number of participants, both expressed in dB.

At a given frequency, the degree of equivalence between two laboratories i and j is given by a pair of terms: $D_{ij} = (x_i - x_j)$, and its expanded uncertainty ($k = 2$), $U_{ij} = 2(u_i^2 + u_j^2)^{1/2}$, both expressed in dB.

The full matrix of equivalence is computed for the frequency 250 Hz. Data for mutual equivalence at other frequencies can be derived from the table of individual measurements. However, the data at 250 Hz is characteristic of frequencies up to 2 kHz.

The BIPM key comparison database, July 2009

13/26

Linking key comparison EUROMET.AUV.A-K1 to key comparison CCAUV.A-K1

NPL, DPLA and PTB provide the link between key comparisons CCAUV.A-K1 and EUROMET.AUV.A-K1.

The process involves calculating the average result of the linking participants at each frequency, in each comparison. The difference between the average result relative to the CCAUV.A-K1 key comparison reference value and relative to the EUROMET.AUV.A-K1 internal reference provides a linking factor d , which is used to convert the results relative to the EUROMET internal reference, so they become relative to the CCAUV.A-K1 key comparison reference value.

Frequency	Average value of results from NPL/DPLA/PTB in EUROMET.AUV.A-K1	Average value of results from NPL/DPLA/PTB in CCAUV.A-K1	d
/ Hz	/ dB	/ dB	/ dB
63	-0.013	0.008	0.021
125	0.001	0.005	0.004
250	0.005	0.004	-0.001
500	0.005	0.003	-0.001
1000	0.002	0.009	0.007
1250	-0.001	0.012	0.014
1600	0.003	0.013	0.009
2000	0.004	0.011	0.007
2500	-0.002	0.013	0.015
3150	0.010	0.012	0.002
4000	0.014	0.014	-0.001
5000	0.021	0.016	-0.005
6300	0.034	0.019	-0.015
8000	0.031	0.010	-0.021
10000	0.004	-0.006	-0.010

At a given frequency, the degree of equivalence of one laboratory participant in EUROMET.AUV.A-K1 with respect to the key comparison reference value is given by a pair of terms: $D_i = (x_{i-EUR} + d)$, and its expanded uncertainty ($k = 2$), $U_i = 2(u_{i-EUR}^2 + u_R^2)^{1/2}$, both expressed in dB. Full graphs of equivalence are given for frequencies 250 Hz and 1000 Hz.

At a given frequency, the degree of equivalence between two laboratories i and j is given by a pair of terms: $D_{ij} = (x_i - x_j)$, and its expanded uncertainty ($k = 2$), $U_{ij} = 2(u_i^2 + u_j^2)^{1/2}$, both expressed in dB. The index i (or j) should be taken as i -EUR (or j -EUR) when the corresponding laboratory has participated in EUROMET.AUV.A-K1 only.

The matrix of equivalence computed at frequency 250 Hz from results obtained in CCAUV.A-K1 is extended with pair-wise degrees of equivalence between participants having participated in EUROMET.AUV.A-K1 only. The pair-wise degrees of equivalence between one laboratory participant in CCAUV.A-K1 and one laboratory participant in EUROMET.AUV.A-K1 only may be computed using the equations given above. Other numbers are available from Annex A of the EUROMET.AUV.A-K1 Final Report.

The BIPM key comparison database, July 2009

14/26

Linking key comparison APMP.AUV.A-K1 to key comparison CCAUV.A-K1

NMIJ and KRISS provide the link between key comparisons CCAUV.A-K1 and APMP.AUV.A-K1. NMIA also took part in both key comparisons, but was not included as a linking laboratory because it used different equipments.

The process involves calculating the average result of the linking participants at each frequency, in each comparison. The difference between the average result relative to the CCAUV.A-K1 key comparison reference value and relative to the APMP.AUV.A-K1 internal reference provides a linking factor d , which is used to convert the results relative to the APMP internal reference, so they become relative to the CCAUV.A-K1 key comparison reference value.

Frequency	Average value of results from NMIJ/KRISS in APMP.AUV.A-K1	Average value of results from NMIJ/KRISS in CCAUV.A-K1	d
/ Hz	/ dB	/ dB	/ dB
63	0.004	0.003	-0.002
125	0.000	0.000	0.000
250	-0.001	-0.006	-0.005
500	0.000	-0.003	-0.002
1000	-0.002	-0.003	-0.002
1250	-0.003	-0.003	0.000
1600	-0.005	-0.004	0.001
2000	-0.005	-0.003	0.002
2500	-0.010	-0.006	0.004
3150	-0.014	-0.007	0.006
4000	-0.016	-0.010	0.007
5000	-0.020	-0.012	0.008
6300	-0.027	-0.026	0.001
8000	-0.017	-0.015	0.001

At a given frequency, the degree of equivalence of one laboratory participant in APMP.AUV.A-K1 with respect to the key comparison reference value is given by a pair of terms: $D_i = (x_{i-APMP} + d)$, and its expanded uncertainty ($k = 2$), $U_i \sim 2(u_{i-APMP}^2 + u_R^2)^{1/2}$, both expressed in dB.

The exact formula used to compute U_i is given in equation 12 on page 22 of the APMP.AUV.A-K1 Final Report.

Full graphs of equivalence are given for frequencies 250 Hz and 1000 Hz.

At a given frequency, the degree of equivalence between two laboratories i and j is given by a pair of terms: $D_{ij} = (x_i - x_j)$, and its expanded uncertainty ($k = 2$), $U_{ij} = 2(u_i^2 + u_j^2)^{1/2}$, both expressed in dB.

The index i and j should be taken as i -APMP and j -APMP when both laboratories have participated in APMP.AUV.A-K1 only.

The formula to be used to compute U_{ij} for a pair composed of one participant in CCAUV.A-K1 and one participant in APMP.AUV.A-K1 is given in equation 18 on page 22 of the APMP.AUV.A-K1 Final Report.

The matrix of equivalence computed at frequency 250 Hz from results obtained in CCAUV.A-K1 and EUROMET.AUV.A-K1 is extended with pair-wise degrees of equivalence between laboratories having participated in APMP.AUV.A-K1 only.

The BIPM key comparison database, July 2009

15/26

Linking key comparison SIM.AUV.A-K1 to key comparison CCAUV.A-K1

NRC, NIST and CENAM provide the link between key comparisons CCAUV.A-K1 and SIM.AUV.A-K1, which is computed using a generalized linear least-squares method, as explained in Annex B on page 19 of the SIM.AUV.A-K1 Final Report.

At a given frequency, the degree of equivalence of one laboratory participant in SIM.AUV.A-K1 only, with respect to the CCAUV.A-K1 key comparison reference value, is given by a pair of terms: D_i and its expanded uncertainty ($k = 2$), U_i , both expressed in dB. These are computed as explained in Annex B of the SIM.AUV.A-K1 Final Report.

Full graphs of equivalence are given for frequencies 250 Hz and 1000 Hz.

At a given frequency, the degree of equivalence between two laboratories i and j is given by a pair of terms: D_{ij} , and its expanded uncertainty ($k = 2$), U_{ij} , both expressed in dB. These are computed as explained in Annex B of the SIM.AUV.A-K1 Final Report.

The matrix of equivalence computed at frequency 250 Hz from results obtained in CCAUV.A-K1, EUROMET.AUV.A-K1, and APMP.AUV.A-K1 is extended with pair-wise degrees of equivalence between laboratories having participated in SIM.AUV.A-K1 only.

Linking key comparison APMP.AUV.A-K1.1 to key comparison CCAUV.A-K1

KRISS provides the link between key comparisons CCAUV.A-K1 and APMP.AUV.A-K1.1. The linking process is explained in section 8 of the APMP.AUV.A-K1.1 Final Report.

At a given frequency, the degree of equivalence of KIM-LIPI participant in APMP.AUV.A-K1.1 only, with respect to the CCAUV.A-K1 key comparison reference value, is given by a pair of terms: D_i and its expanded uncertainty ($k = 2$), U_i , both expressed in dB. These are computed as explained in section 8 of the APMP.AUV.A-K1.1 Final Report.

Full graphs of equivalence are given for frequencies 250 Hz and 1000 Hz.

No pair-wise degrees of equivalence are computed between KIM-LIPI and participants in CCAUV.A-K1 and other linked key comparisons.

The BIPM key comparison database, July 2009

16/26

Linking key comparison COOMET.AUV.A-K1 to key comparison CCAUV.A-K1

GUM, PTB and VNIIFTRI provide the link between key comparisons CCAUV.A-K1 and COOMET.AUV.A-K1. The linking process is explained in section 6 of the COOMET.AUV.A-K1 Final Report.

At a given frequency, the degree of equivalence of one laboratory i participant in COOMET.AUV.A-K1 only, with respect to the CCAUV.A-K1 key comparison reference value, is given by a pair of terms: D_i , and its expanded uncertainty ($k = 2$), U_i , both expressed in dB. These are computed as explained in section 6 of the COOMET.AUV.A-K1 Final Report. Full graphs of equivalence are given for frequencies 250 Hz and 1000 Hz.

At a given frequency, the degree of equivalence between two laboratories i and j is given by a pair of terms: D_{ij} , and its expanded uncertainty ($k = 2$), U_{ij} , both expressed in dB. These are computed as explained in section 6 of the COOMET.AUV.A-K1 Final Report.

The matrix of equivalence computed at frequency 250 Hz from results obtained in CCAUV.A-K1, EUROMET.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1, SIM.AUV.A-K1 and APMP.AUV.A-K1.1 is extended with pair-wise degrees of equivalence between laboratories having participated in COOMET.AUV.A-K1 only.

Linking key comparison COOMET.AUV.A-K1.1 to key comparison CCAUV.A-K1

PTB provides the link between key comparisons CCAUV.A-K1 and COOMET.AUV.A-K1.1. The linking process is explained in section 6 of the COOMET.AUV.A-K1.1 Final Report.

At a given frequency, the degree of equivalence of DNDI participant in COOMET.AUV.A-K1.1 only, with respect to the CCAUV.A-K1 key comparison reference value, is given by a pair of terms: D_i , and its expanded uncertainty ($k = 2$), U_i , both expressed in dB. These are computed as explained in section 6 of the COOMET.AUV.A-K1.1 Final Report. Full graphs of equivalence are given for frequencies 250 Hz and 1000 Hz.

No pair-wise degrees of equivalence involving DNDI are given here.

Key comparisons CCAUV.A-K1, EUROMET.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1, SIM.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1.1, COOMET.AUV.A-K1, and COOMET.AUV.A-K1.1

Degrees of equivalence relative to the key comparison reference values

Frequency Lab i	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		1250 Hz		1600 Hz		2000 Hz	
	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i
	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB
NPL	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03
CENAM	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
CSIR-NML	0.01	0.05	0.01	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.01	0.05
NMIA	-	-	-	-	0.02	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	-	-	-	-	-	-
DPLA	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03
NMIJ	0.00	0.05	0.00	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.04	-0.02	0.04	-0.01	0.04	-0.02	0.04
GUM	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
KRISS	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03
NIST	-0.01	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.04	0.00	0.04	-0.02	0.04	-0.02	0.04	-0.02	0.04	-0.02	0.04
NRC	-0.04	0.04	-0.04	0.04	-0.04	0.03	-0.04	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.04
PTB	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03
VNIIFTRI	-0.01	0.07	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05
BEV	0.00	0.06	0.00	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.03
SP	0.02	0.05	0.01	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04
IEN	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.02	0.05	-0.02	0.05
UME	0.05	0.05	0.03	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.07	0.05
METAS	-0.01	0.04	-0.02	0.03	-0.01	0.03	-0.02	0.03	-0.02	0.03	-	-	-0.01	0.03	-0.03	0.03
SMU	0.04	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.01	0.04	0.02	0.04
OMH	0.05	0.07	0.04	0.07	0.03	0.07	0.02	0.07	0.01	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.07
CMI	-	-	-0.03	0.03	-0.04	0.03	-0.04	0.03	-0.03	0.03	-	-	-	-	-	-
NMIA	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04
CMS/ITRI	0.00	0.04	0.02	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04
NIM	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.05	0.00	0.05
NIMT	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04
NML-SIRIM	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03
NPLI	-0.02	0.07	-0.02	0.07	-0.02	0.07	-0.02	0.07	-0.02	0.07	-0.01	0.07	-0.01	0.07	-0.01	0.07
SCL	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04
INMETRO	-	-	-0.06	0.05	-0.04	0.05	-0.04	0.05	-0.04	0.05	-	-	-	-	-0.05	0.05
INTI	-	-	-0.03	0.05	-0.02	0.05	-0.02	0.05	-0.02	0.05	-	-	-	-	-0.02	0.05
KIM-LIPI	0.00	0.08	-0.01	0.08	-0.01	0.08	0.00	0.08	-0.01	0.08	0.00	0.08	0.00	0.08	0.00	0.08
UME	0.00	0.06	0.02	0.06	0.02	0.06	0.03	0.06	0.02	0.06	0.00	0.06	0.01	0.06	0.01	0.06
SMU	0.02	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05
DNDI	0.01	0.06	0.02	0.06	0.02	0.06	0.01	0.06	0.01	0.06	0.00	0.06	0.02	0.06	0.01	0.06

Note: Many of the values for U_i appear to be the same as the corresponding value for $2u_i$ in the tables of individual measurements. This is due to the variation in uncertainty u_i being small between participants, the relatively low value of u_R compared to u_i , and the rounding of the data to two decimal places that has been adopted in the tables. If the data were expressed with greater precision it would be apparent that they have different numerical values.

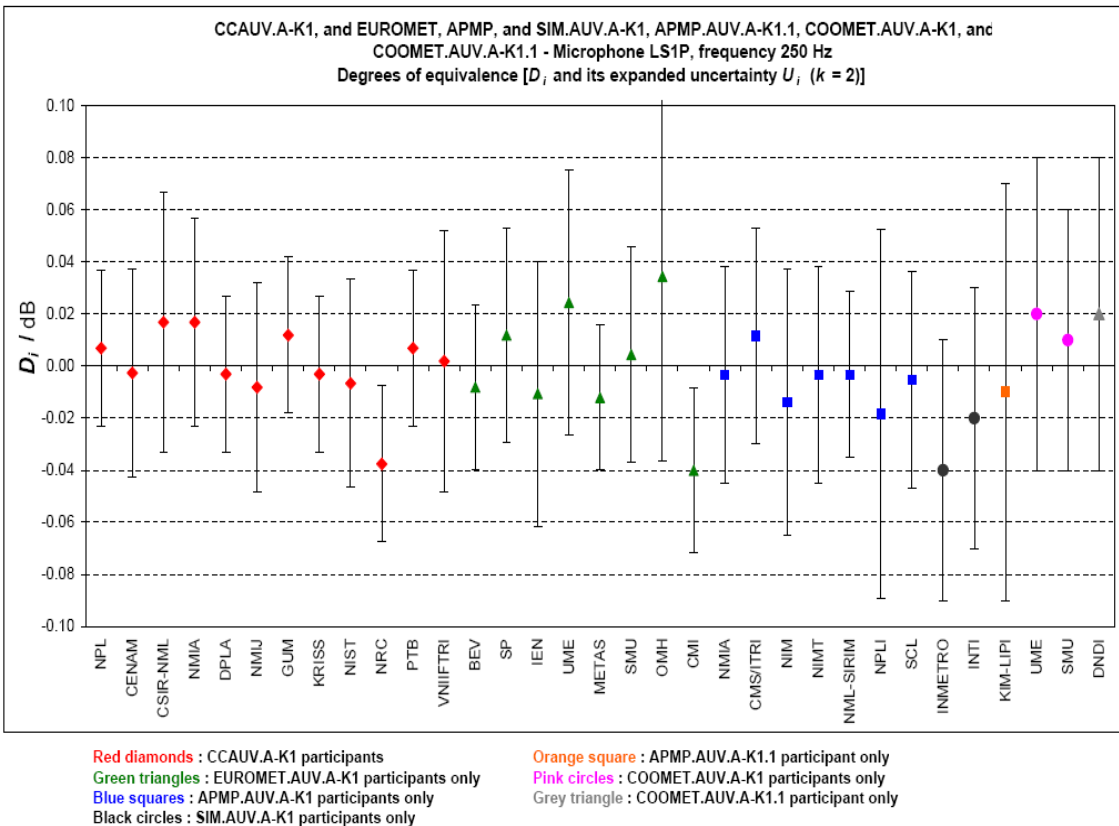
Key comparisons CCAUV.A-K1, EUROMET.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1, SIM.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1.1, COOMET.AUV.A-K1, and COOMET.AUV.A-K1.
 Degrees of equivalence relative to the key comparison reference values

Frequency Lab <i>i</i>	2500 Hz		3150 Hz		4000 Hz		5000 Hz		6300 Hz		8000 Hz	
	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i	D_i	U_i
	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB	/ dB
NPL	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.01	0.05	0.02	0.05	0.03	0.05
CENAM	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.05	0.02	0.05	0.01	0.06	-0.01	0.09
CSIR-NML	0.02	0.05	0.01	0.05	0.01	0.06	0.01	0.07	0.03	0.06	0.02	0.07
NMIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DPLA	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03	0.05	0.01	0.06
NMIJ	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.04	0.04	-0.05	0.05	-0.06	0.06	-0.05	0.06
GUM	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.04	0.01	0.05	0.02	0.05	0.04	0.05
KRISS	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01	0.04	0.02	0.04
NIST	-0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	-0.01	0.11
NRC	-0.03	0.04	-0.03	0.04	-0.04	0.04	-0.04	0.04	-0.04	0.04	-0.05	0.04
PTB	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.05	0.02	0.05	-0.01	0.05
VNIIFTRI	-0.02	0.05	-0.02	0.05	-0.03	0.06	-0.03	0.08	-0.02	0.13	0.02	0.21
BEV	-0.01	0.03	-0.01	0.03	-0.02	0.03	-0.04	0.04	-0.07	0.05	-0.11	0.06
SP	0.00	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	-0.01	0.06	0.00	0.07	0.01	0.10
IEN	-0.01	0.05	-0.02	0.05	-0.03	0.05	-0.03	0.05	-0.04	0.05	0.02	0.05
UME	0.07	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.10	-0.02	0.10	-0.05	0.10
METAS	-	-	0.00	0.03	0.00	0.03	-	-	-0.01	0.05	-0.03	0.05
SMU	0.04	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OMH	0.00	0.07	-0.01	0.07	-0.02	0.07	-0.03	0.07	-0.05	0.07	-0.06	0.07
CMI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NMIA	0.01	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.06	0.01	0.07
CMS/ITRI	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02	0.04	0.02	0.06	0.01	0.06	-0.02	0.07
NIM	0.00	0.05	0.00	0.05	0.01	0.05	-0.01	0.06	-0.02	0.06	-0.01	0.07
NIMT	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.07
NML-SIRIM	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.04	0.02	0.05	0.03	0.06	0.04	0.08
NPLI	0.00	0.07	0.00	0.07	0.01	0.07	0.03	0.07	0.02	0.07	0.04	0.08
SCL	0.00	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.00	0.05	-0.01	0.06	-0.01	0.07
INMETRO	-	-	-	-	-0.05	0.07	-	-	-	-	-0.04	0.12
INTI	-	-	-	-	-0.02	0.09	-	-	-	-	-0.05	0.11
KIM-LIPI	0.01	0.08	0.00	0.09	0.01	0.10	0.00	0.11	-0.01	0.12	-0.03	0.12
UME	0.00	0.06	0.01	0.07	-0.01	0.07	0.00	0.08	0.00	0.09	0.04	0.10
SMU	0.01	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DNDI	0.02	0.06	0.01	0.06	0.01	0.06	0.01	0.08	0.00	0.09	-0.04	0.11

Note: Many of the values for U_i appear to be the same as the corresponding value for $2u_i$ in the tables of individual measurements. This is due to the variation in uncertainty u_i being small between participants, the relatively low value of u_R compared to u_i , and the rounding of the data to two decimal places that has been adopted in the tables. If the data were expressed with greater precision it would be apparent that they have different numerical values.

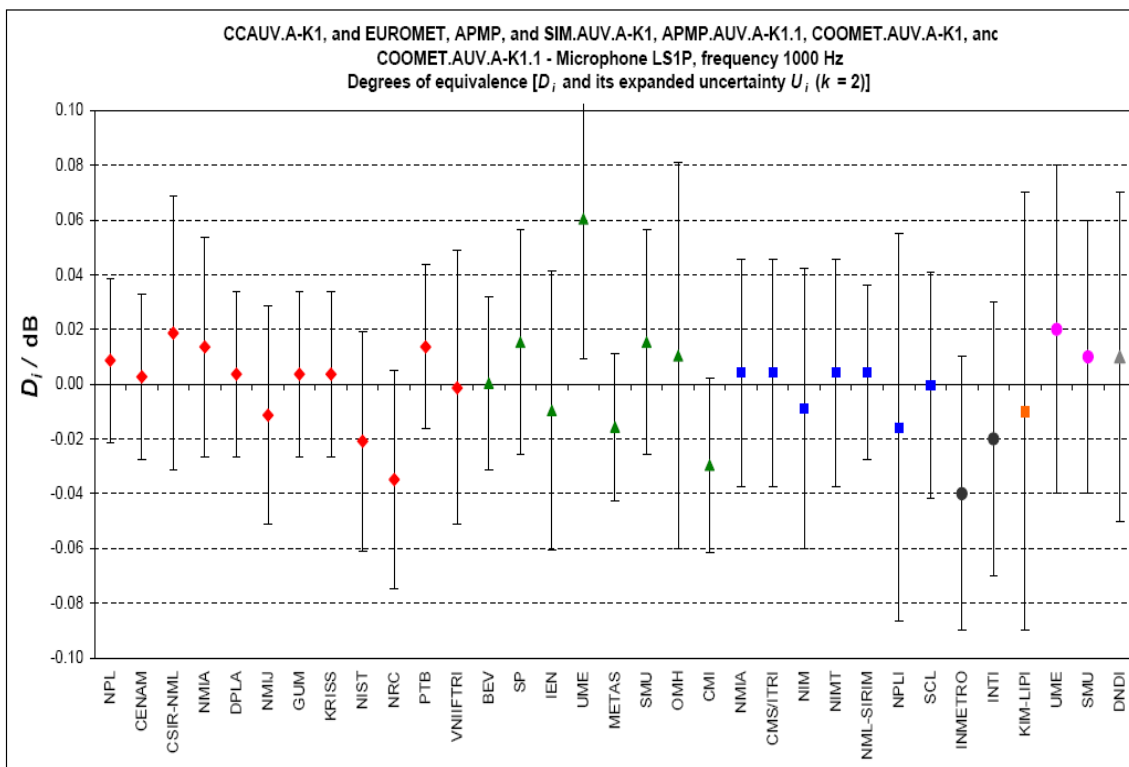
The BIPM key comparison database, July 2009

19/26



The BIPM key comparison database, July 2009

20/26



Red diamonds : CCAUV.A-K1 participants
Green triangles : EUROMET.AUV.A-K1 participants only
Blue squares : APMP.AUV.A-K1 participants only
Black circles : SIM.AUV.A-K1 participants only
Orange square : APMP.AUV.A-K1.1 participant only
Pink circles : COOMET.AUV.A-K1 participants only
Grey triangle : COOMET.AUV.A-K1.1 participant only

The BIPM key comparison database, July 2009

21/26

Key comparisons CCAUV.A-K1, EUROMET, APMP, and SIM.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1.1, and COOMET.AUV.A-K1 and K1.1

Frequency: 250 Hz

Lab i

	D_i / dB	U_i / dB
NPL	0.01	0.03
CENAM	0.00	0.04
CSIR-NML	0.02	0.05
NMIA	0.02	0.04
DPLA	0.00	0.03
NMIJ	-0.01	0.04
GUM	0.01	0.03
KRISS	0.00	0.03
NIST	-0.01	0.04
NRC	-0.04	0.03
PTB	0.01	0.03
VNIIFTRI	0.00	0.05
BEV	-0.01	0.03
SP	0.01	0.04
IEN	-0.01	0.05
UME	0.02	0.05
METAS	-0.01	0.03
SMU	0.00	0.04
OMH	0.03	0.07
CMI	-0.04	0.03
NMIA	0.00	0.04
CMS/ITRI	0.01	0.04
NIM	-0.01	0.05
NIMT	0.00	0.04
NML-SIRIM	0.00	0.03
NPLI	-0.02	0.07
SCL	-0.01	0.04
INMETRO	-0.04	0.05
INTI	-0.02	0.05
KIM-LIPI	-0.01	0.08
UME	0.02	0.06
SMU	0.01	0.05
DNDI	0.02	0.06

Matrix of equivalence

Lab j

	NPL		CENAM		CSIR-NML		NMIA		DPLA		NMIJ	
	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB
NPL	0.01	0.03										
CENAM	-0.01	0.05	0.01	0.05								
CSIR-NML	0.01	0.06	0.02	0.06	-0.01	0.06						
NMIA	0.01	0.05	0.02	0.06	-0.02	0.06	-0.01	0.05				
DPLA	-0.01	0.04	0.00	0.05	-0.02	0.06	-0.02	0.05	0.01	0.04	0.02	0.05
NMIJ	-0.02	0.05	-0.01	0.06	-0.03	0.06	-0.03	0.06	0.02	0.06	0.03	0.06
GUM	0.01	0.04	0.01	0.05	0.00	0.06	0.00	0.05	0.02	0.04	0.02	0.05
KRISS	-0.01	0.04	0.00	0.05	-0.02	0.06	-0.02	0.05	0.00	0.04	0.01	0.05
NIST	-0.01	0.05	0.00	0.06	-0.02	0.07	-0.02	0.06	0.00	0.05	0.00	0.06
NRC	-0.04	0.04	-0.04	0.05	-0.05	0.06	-0.05	0.05	-0.03	0.04	-0.03	0.05
PTB	0.00	0.04	0.01	0.05	-0.01	0.06	-0.01	0.05	0.01	0.04	0.02	0.05
VNIIFTRI	-0.01	0.06	0.00	0.06	-0.02	0.07	-0.02	0.06	0.01	0.06	0.01	0.06
BEV												
SP												
IEN												
UME												
METAS												
SMU					Not computed							
OMH												
CMI												
NMIA												
CMS/ITRI												
NIM												
NIMT												
NML-SIRIM												
NPLI					Not computed							
SCL												
INMETRO					Not computed							
INTI												
KIM-LIPI					Not computed							
UME												
SMU					Not computed							
DNDI					Not computed							

The BIPM key comparison database, July 2009

22/26

Key comparisons CCAUV.A-K1, EUROMET, APMP, and SIM.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1.1, and COOMET.AUV.A-K1 and K1.1

Frequency: 250 Hz

Matrix of equivalence (Continued)

Lab i ↓			Lab j →											
	D_i / dB	U_i / dB	GUM		KRISS		NIST		NRC		PTB		VNIIFTRI	
			D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB
NPL	0.01	0.03	-0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.05	0.04	0.04	0.00	0.04	0.01	0.06
CENAM	0.00	0.04	-0.01	0.05	0.00	0.05	0.00	0.06	0.04	0.05	-0.01	0.05	0.00	0.06
CSIR-NML	0.02	0.05	0.00	0.06	0.02	0.06	0.02	0.07	0.05	0.06	0.01	0.06	0.02	0.07
NMIA	0.02	0.04	0.00	0.05	0.02	0.05	0.02	0.06	0.05	0.05	0.01	0.05	0.02	0.06
DPLA	0.00	0.03	-0.02	0.04	0.00	0.04	0.00	0.05	0.03	0.04	-0.01	0.04	-0.01	0.06
NMIJ	-0.01	0.04	-0.02	0.05	-0.01	0.05	0.00	0.06	0.03	0.05	-0.02	0.05	-0.01	0.06
GUM	0.01	0.03			0.02	0.04	0.02	0.05	0.05	0.04	0.01	0.04	0.01	0.06
KRISS	0.00	0.03	-0.02	0.04			0.00	0.05	0.03	0.04	-0.01	0.04	0.00	0.06
NIST	-0.01	0.04	-0.02	0.05	0.00	0.05			0.03	0.05	-0.01	0.05	-0.01	0.07
NRC	-0.04	0.03	-0.05	0.04	-0.03	0.04	-0.03	0.05			-0.04	0.04	-0.04	0.06
PTB	0.01	0.03	-0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.05	0.04	0.04			0.01	0.06
VNIIFTRI	0.00	0.05	-0.01	0.06	0.00	0.06	0.01	0.07	0.04	0.06	-0.01	0.06		
BEV	-0.01	0.03												
SP	0.01	0.04												
IEN	-0.01	0.05												
UME	0.02	0.05												
METAS	-0.01	0.03												
SMU	0.00	0.04												
OMH	0.03	0.07												
CMI	-0.04	0.03												
NMIA	0.00	0.04												
CMSITRI	0.01	0.04												
NIM	-0.01	0.05												
NIMT	0.00	0.04												
NML-SIRIM	0.00	0.03												
NPLI	-0.02	0.07												
SCL	-0.01	0.04												
INMETRO	-0.04	0.05												
INTI	-0.02	0.05												
KIM-LIPI	-0.01	0.08												
UME	0.02	0.06												
SMU	0.01	0.05												
DNDI	0.02	0.06												

The BIPM key comparison database, July 2009

23/26

Key comparisons CCAUV.A-K1, EUROMET, APMP, and SIM.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1.1, and COOMET.AUV.A-K1 and K1.1

Frequency: 250 Hz

Matrix of equivalence (Continued)

Lab i ↓			Lab j →											
	D_i / dB	U_i / dB	BEV		SP		IEN		UME		METAS		SMU	
			D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB		
NPL	0.01	0.03												
CENAM	0.00	0.04												
CSIR-NML	0.02	0.05												
NMIA	0.02	0.04												
DPLA	0.00	0.03												
NMIJ	-0.01	0.04												
GUM	0.01	0.03												
KRISS	0.00	0.03												
NIST	-0.01	0.04												
NRC	-0.04	0.03												
PTB	0.01	0.03												
VNIIFTRI	0.00	0.05												
BEV	-0.01	0.03			-0.02	0.05	0.00	0.06	-0.03	0.06	0.00	0.04	-0.01	0.05
SP	0.01	0.04	0.02	0.05			0.02	0.06	-0.01	0.06	0.02	0.05	0.01	0.06
IEN	-0.01	0.05	0.00	0.06	-0.02	0.06			-0.04	0.07	0.00	0.06	-0.02	0.06
UME	0.02	0.05	0.03	0.06	0.01	0.06	0.04	0.07			0.04	0.06	0.02	0.06
METAS	-0.01	0.03	0.00	0.04	-0.02	0.05	0.00	0.06	-0.04	0.06			-0.02	0.05
SMU	0.00	0.04	0.01	0.05	-0.01	0.06	0.02	0.06	-0.02	0.06	0.02	0.05		
OMH	0.03	0.07	0.04	0.08	0.02	0.08	0.05	0.09	0.01	0.09	0.05	0.07	0.03	0.08
CMI	-0.04	0.03	-0.03	0.04	-0.05	0.05	-0.03	0.06	-0.06	0.06	-0.03	0.04	-0.04	0.05
NMIA	0.00	0.04												
CMSITRI	0.01	0.04												
NIM	-0.01	0.05												
NIMT	0.00	0.04												
NML-SIRIM	0.00	0.03												
NPLI	-0.02	0.07												
SCL	-0.01	0.04												
INMETRO	-0.04	0.05												
INTI	-0.02	0.05												
KIM-LIPI	-0.01	0.08												
UME	0.02	0.06												
SMU	0.01	0.05												
DNDI	0.02	0.06												

The BIPM key comparison database, July 2009

24/26

Key comparisons CCAUV.A-K1, EUROMET, APMP, and SIM.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1.1, and COOMET.AUV.A-K1 and K1.1

Frequency: 250 Hz

Matrix of equivalence (Continued)

Lab <i>i</i> ↓	D_i / dB		U_i / dB		OMH		CMI		NMIA		CMS/TRI		NIM		NIMT	
	D_i / dB	U_i / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB
	NPL	0.01	0.03													
CENAM	0.00	0.04														
CSIR-NML	0.02	0.05														
NMIA	0.02	0.04														
DPLA	0.00	0.03														
NMIJ	-0.01	0.04	Not computed				Not computed									
GUM	0.01	0.03														
KRISS	0.00	0.03														
NIST	-0.01	0.04														
NRC	-0.04	0.03														
PTB	0.01	0.03														
VNIFTRI	0.00	0.05														
BEV	-0.01	0.03	-0.04	0.08	0.03	0.04										
SP	0.01	0.04	-0.02	0.08	0.05	0.05										
IEN	-0.01	0.05	-0.05	0.09	0.03	0.06										
UME	0.02	0.05	-0.01	0.09	0.06	0.06										
METAS	-0.01	0.03	-0.05	0.07	0.03	0.04										
SMU	0.00	0.04	-0.03	0.08	0.04	0.05										
OMH	0.03	0.07			0.07	0.08										
CMI	-0.04	0.03	-0.07	0.08												
NMIA	0.00	0.04														
CMS/TRI	0.01	0.04							0.02	0.06			0.03	0.06	0.02	0.06
NIM	-0.01	0.05							-0.01	0.06	-0.03	0.06			-0.01	0.06
NIMT	0.00	0.04							0.00	0.06	-0.02	0.06	0.01	0.06		
NML-SIRIM	0.00	0.03	Not computed				Not computed									
NPLI	-0.02	0.07							0.00	0.05	-0.02	0.05	0.01	0.06	0.00	0.05
SCL	-0.01	0.04							-0.01	0.08	-0.03	0.08	0.00	0.09	-0.01	0.08
									0.00	0.06	-0.02	0.06	0.01	0.06	0.00	0.06
INMETRO	-0.04	0.05	Not computed				Not computed									
INTI	-0.02	0.05	Not computed				Not computed									
KIM-LIPI	-0.01	0.08	Not computed				Not computed									
UME	0.02	0.06	Not computed				Not computed									
SMU	0.01	0.05	Not computed				Not computed									
DNDI	0.02	0.06	Not computed				Not computed									

The BIPM key comparison database, July 2009

25/26

Key comparisons CCAUV.A-K1, EUROMET, APMP, and SIM.AUV.A-K1, APMP.AUV.A-K1.1, and COOMET.AUV.A-K1 and K1.1

Frequency: 250 Hz

Matrix of equivalence (Continued)

Lab <i>i</i> ↓	D_i / dB		U_i / dB		NML-SIRIM		NPLI		SCL		INMETRO		INTI		UME		SMU	
	D_i / dB	U_i / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB	D_{ij} / dB	U_{ij} / dB
	NPL	0.01	0.03															
CENAM	0.00	0.04																
CSIR-NML	0.02	0.05																
NMIA	0.02	0.04																
DPLA	0.00	0.03																
NMIJ	-0.01	0.04	Not computed				Not computed				Not computed							
GUM	0.01	0.03																
KRISS	0.00	0.03																
NIST	-0.01	0.04																
NRC	-0.04	0.03																
PTB	0.01	0.03																
VNIFTRI	0.00	0.05																
BEV	-0.01	0.03																
SP	0.01	0.04																
IEN	-0.01	0.05																
UME	0.02	0.05	Not computed				Not computed				Not computed							
METAS	-0.01	0.03																
SMU	0.00	0.04																
OMH	0.03	0.07																
CMI	-0.04	0.03																
NMIA	0.00	0.04	0.00	0.05	0.01	0.08	0.00	0.06										
CMS/TRI	0.01	0.04	0.02	0.05	0.03	0.08	0.02	0.06										
NIM	-0.01	0.05	-0.01	0.06	0.00	0.09	-0.01	0.06										
NIMT	0.00	0.04	0.00	0.05	0.01	0.08	0.00	0.06										
NML-SIRIM	0.00	0.03			0.01	0.08	0.00	0.05	Not computed				Not computed					
NPLI	-0.02	0.07					-0.01	0.08										
SCL	-0.01	0.04	0.00	0.05	0.01	0.08												
INMETRO	-0.04	0.05	Not computed				Not computed											
INTI	-0.02	0.05	Not computed				Not computed				0.03	0.07						
KIM-LIPI	-0.01	0.08	Not computed				Not computed				Not computed							
UME	0.02	0.06	Not computed				Not computed											
SMU	0.01	0.05	Not computed				Not computed											
DNDI	0.02	0.06	Not computed				Not computed				Not computed							

The BIPM key comparison database, July 2009

26/26



9th INTERNATIONAL
ACOUSTICS
CONFERENCE

IX. MEDZINÁRODNÝ
AKUSTICKÝ
SEMINÁR

Kočovce, 1.-2. júna 2004

**Primárny etalón akustického tlaku SMÚ v systéme národných etalónov
Európy.**

Ján Šebok, SMU Bratislava, Karloveská 63
sebok@smu.gov.sk

V priebehu 8 mesiacov od septembra 1998 do mája 1999 sa uskutočnilo medzinárodné kľúčové porovnávacie meranie etalónov akustického tlaku v rámci regionálneho zoskupenia EUROMET. V projekte č. P 399, ktorý bol označený ako EUROMET.A-K1, participoval národný etalón akustického tlaku č. 019 Slovenského metrologického ústavu Bratislava. Vzhľadom na náročnosť porovnávania oficiálne výsledky merania ešte neboli uverejnené. Tento článok, s láskavým povolením Dr. Richarda Barhama - spracovateľa projektu (UK), prezentuje v krátkosti časť predbežných výsledkov v nadväznosti na etalón akustického tlaku SMU. Poďakovanie patrí všetkým účastníkom zapojeným v projekte.

Úvod

Priame porovnanie primárnych etalónov akustického tlaku je obtiažne, preto sa vykonáva prostredníctvom stanovenia tlakovej citlivosti laboratórnych mikrofónov, zvyčajne metódou reciprocity. Výsledná citlivosť sa vyjadruje vo voltoch na pascal, prípadne v relatívnej veličine decibel, vztiahnutej na 1V/Pa. Vlastnosti etalónových laboratórnych mikrofónov popisuje norma STN EN 61094-1 [1] a absolútnu metódu merania mikrofónov špecifikuje STN EN 61094-2 [2]. Pre mikrofóny s nominálnym priemerom 24 mm je dohodnuté označenie LS1 a pre mikrofóny s nominálnym priemerom 12 mm označenie LS2. Tento článok sa zaoberá iba výsledkami porovnania mikrofónov typu LS1.

Z pohľadu konštrukcie reprezentuje etalón akustického tlaku SMU jedinečný etalón svojho druhu, pretože je tvorený aktívnou meracou komôrkou s dvoma mikrofónmi a mikrofónovými predzosilňovačmi s takmer jednotkovým zosilnením [3]. Všetky ostatné národné etalóny použité v projekte používajú komerčné zariadenia s metódou reciprocity s tromi mikrofónmi.

Regionálne kľúčové porovnávacie meranie EUROMET.A-K1 v rámci štátov Európy je nadviazané prostredníctvom troch nosných laboratórií NPL (UK), DPLA (DK) a PTB (SRN) na celosvetové kľúčové porovnávacie meranie CCAUV.A-K1. Tieto laboratória môžu poskytovať nadväznosť meraní pre mikrofóny typu LS1. Referenčná hodnota kľúčového porovnávacieho merania (KCRV- key comparison reference value) bola vypočítaná použitím neváženej priemernej hodnoty výsledkov 12 svetových národných metrologických laboratórií.

Proces porovnávania

Do projektu sa zapojilo 15 laboratórií (Tabuľka 1), z ktorých odstúpilo INM Francúzsko a GUM Poľsko, ktoré sa nezúčastnilo porovnania mikrofónov typu LS1. TE Fínsko neuviedlo neistoty merania, preto bolo z vyhodnotenia vylúčené.

Skratka	Účastník s LS 1 mikrofónmi	Krajina	Počet mikrofónov	Porovnané s
NPL	National Physical Laboratory	UK		-
DPLA	Danish Primary Laboratory for Acoustics	Denmark	2	NPL
PTB	Physikalische – Technische Bundesanstalt	Germany	2	NPL
CMI	Czech Metrological Institute	Czech rep.	2	NPL
INM	Institute National de Metrology	France	1	NPL
TE	Telecom Engineering	Finland	1	NPL
IA	Instituto de Acustica	Spain	1	DPLA
OFMET	Swiss Federal Office of Metrology	Switzerland	1	DPLA
SP	Swedish National Testing and Research Institute	Sweden	1	DPLA
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	Austria	1	DPLA
IEN	Instituto Electrotecnico Nazionale	Italy	1	PTB
SMU	Slovenský Metrologický Ústav	Slovakia	2	PTB
OMH	Országos Mérésügyi Hivatal	Hungary	2	PTB
NMI	National Metrology Institute	Turkey	2	PTB

Pre značný počet prihlásených laboratórií a nedostatok času klasické kruhové porovnanie nebolo realizovateľné. Namiesto toho boli uskutočnené bilaterálne porovnania s priamou návaznosťou na spomenuté nosné laboratória. Pilotné laboratórium bolo NPL, ktoré si navzájom vymenilo mikrofóny s DPLA a PTB. Následne nosné laboratória sa stali pilotnými pre ďalšie štyri prípadne päť laboratórií.

Stanovenie referenčnej hodnoty a horizontálna návaznosť na KCRV.

Výsledky regionálneho porovnania v rámci Eurometu boli posudzované spočiatku samostatne. Väčším prínosom bolo však prepojenie výsledkov a nadväznosť na referenčnú hodnotu kľúčového porovnania (KCRV). Taktiež samotné hodnoty citlivosti mikrofónov boli prínosom len vtedy, ak poskytnú spôsob vzájomného porovnania dvoch laboratórií, ktoré kalibrujú tieto mikrofóny. Voľba troch pilotných laboratórií umožnila definovať referenčnú hodnotu výpočtom rozdielov citlivostí mikrofónov pre každú frekvenciu. Východzia referenčná hodnota sa stanovila ako 1/3 zo súčtu rozdielov citlivostí pre každú frekvenciu.

V tomto prípade stredná odchýlka referenčnej hodnoty troch laboratórií pre každú frekvenciu je nulová.

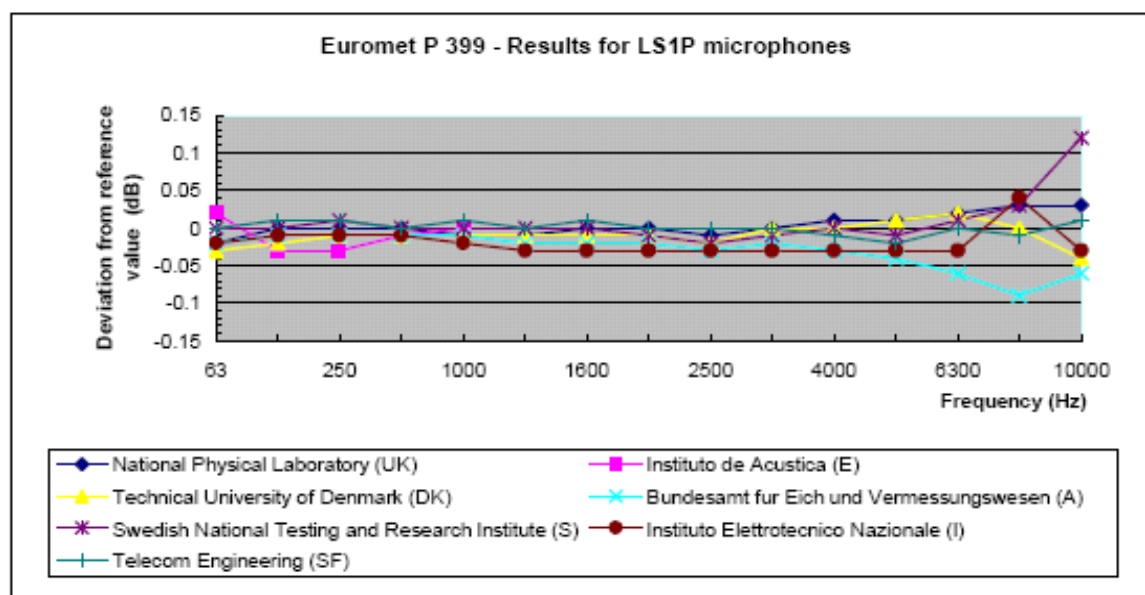
Pre každé z ďalších laboratórií je tak možnosť určiť rozdiel citlivosti mikrofónov voči patričnému pilotnému laboratóriu a vzťahnosť výsledkov k východzie mu referenčnému bodu. Týmto spôsobom je zabezpečená porovnateľnosť výsledkov.

Celosvetové kľúčové porovnanie CCAUV.A- K1 sa týkalo kalibrácie mikrofónov typu LS1 a zaviedlo referenčnú hodnotu kľúčového porovnania (KCRV) pre tieto mikrofóny [4]. Prostredníctvom pilotných laboratórií NPL, DPLA a PTB, ktoré sa zúčastnili ako regionálneho, tak aj kľúčového porovnania, je možné nadviazať výsledky všetkých účastníkov regionálneho porovnávania na hodnotu KCRV. Tento proces vyžaduje prepočet stredných hodnôt výsledkov porovnania každého účastníka pri každej frekvencii. Rozdiel medzi strednou hodnotou výsledku kľúčového a regionálneho porovnania potom poskytuje prevodový koeficient, ktorého použitím sa prepočítajú výsledky merania relatívne na hodnotu KCRV.

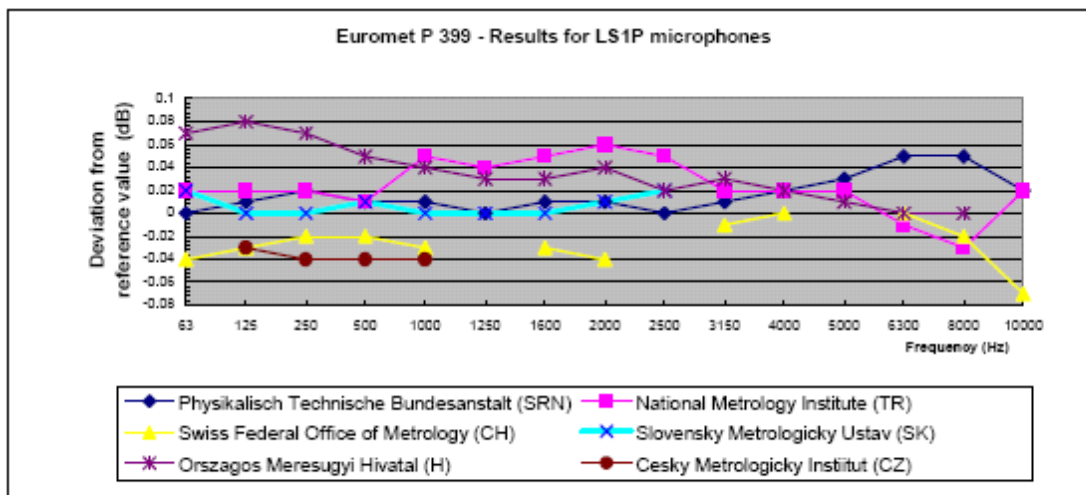
Výsledky meraní a diskusia

Účelnosť prístupu troch pilotných laboratórií spočívala v rýchlejšom, temer paralelnom, meraní a zisťovaní výsledných hodnôt veľkého počtu účastníkov a tým aj mikrofónov (32 ks, 1060 samostatných výsledkov merania). Nevýhoda spočívala v použití veľkého počtu mikrofónov s nezávislými citlivosťami, čo sťažilo proces vyhodnotenia pri vzájomnom porovnaní.

Na obr. 1 je graficky znázornený priebeh odchýlky citlivosti od referenčnej hodnoty 7-mych laboratórií vo frekvenčnom rozsahu od 63 Hz do 10 kHz.



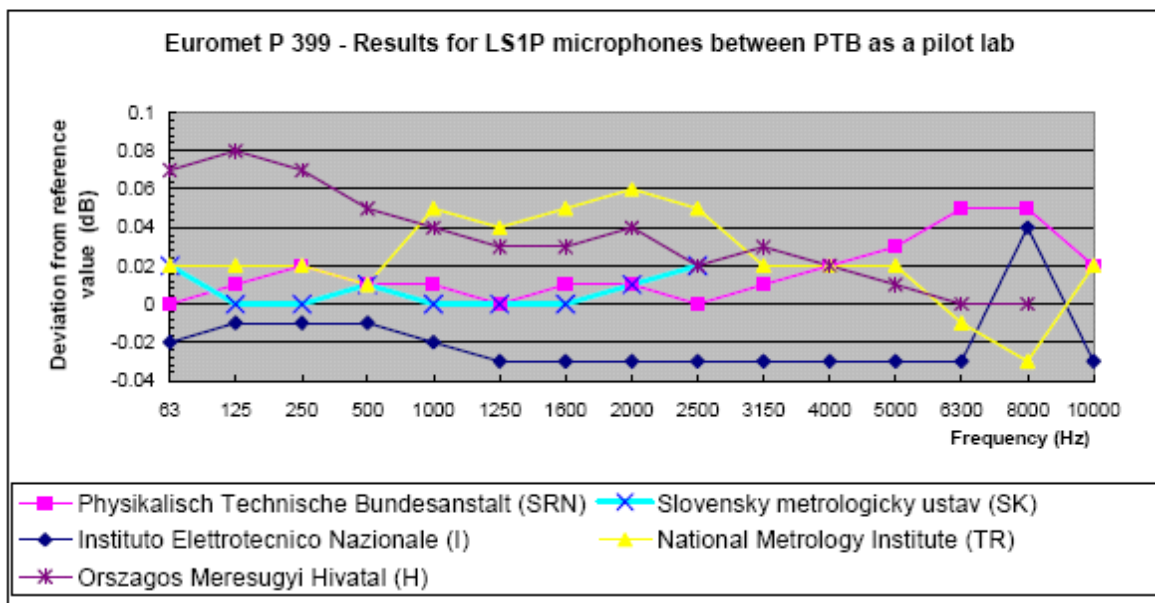
Obr. 1



Obr 2

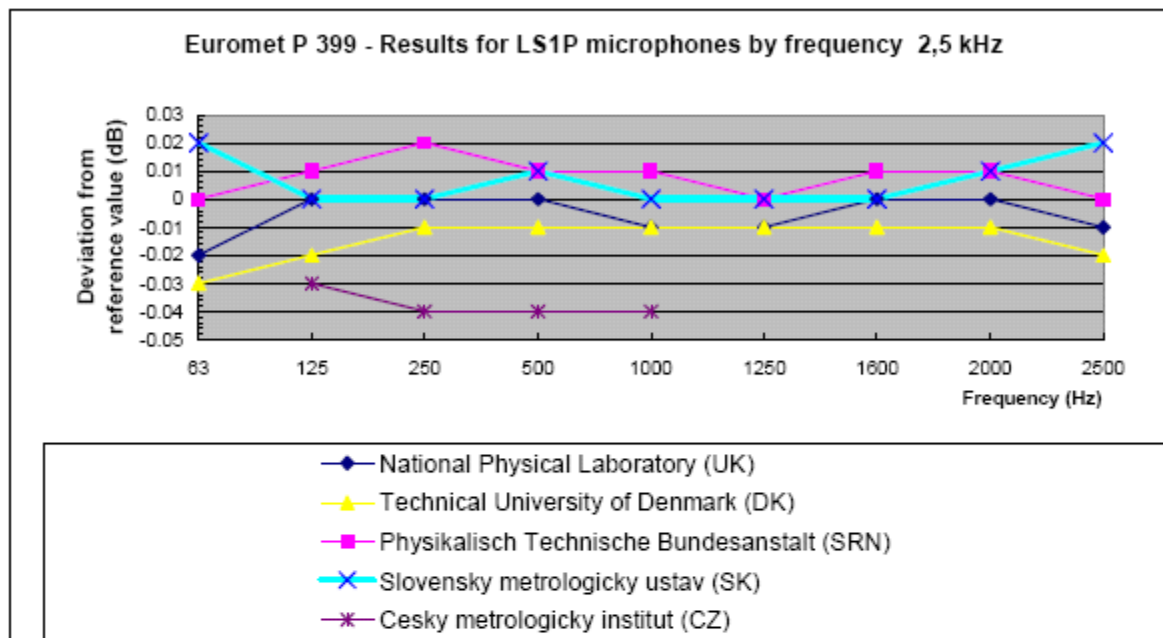
Obrázok 2 graficky znázorňuje priebeh odchýlky citlivosti od referenčnej hodnoty zostávajúcich laboratórií vo frekvenčnom rozsahu od 63 Hz do 10 kHz. Priebeh hodnôt výsledkov získaných na národnom etalóne akustického tlaku SMU v jeho pracovnom frekvenčnom rozsahu od 63 Hz do 2500 Hz je znázornený hrubšou čiarou.

Na obrázku 3 je znázornený priebeh výsledkov tých laboratórií, ktorým pilotoval PTB Braunschweig.

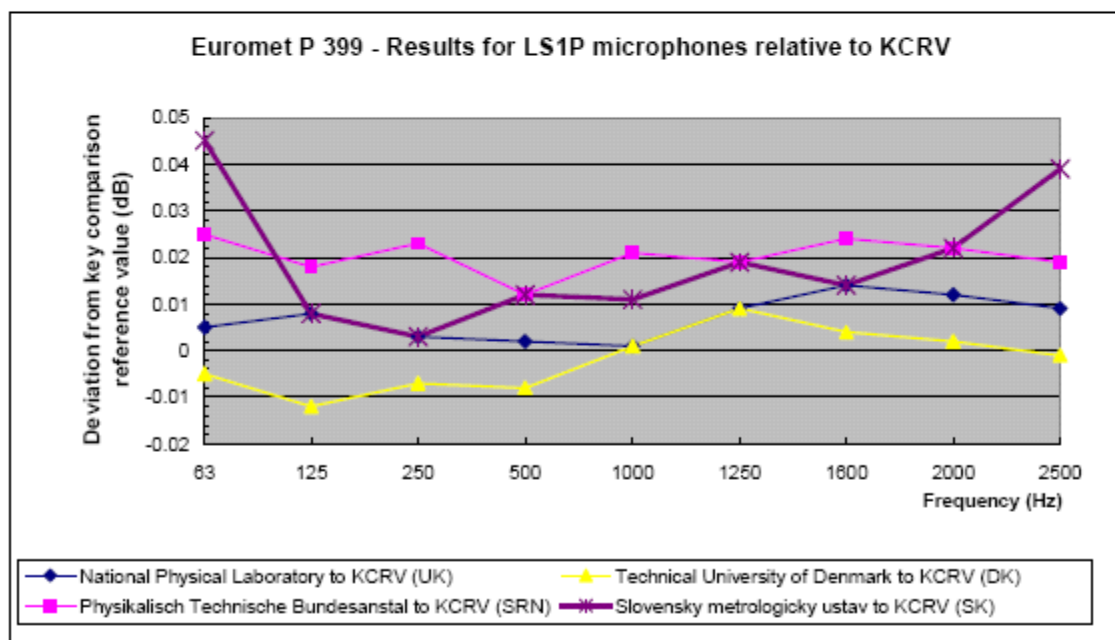


Obr.3

Pre detailnejšie znázornenie výsledkov meraní v SMU v pracovnom frekvenčnom rozsahu od 63 Hz do 2500 Hz v konfrontácii so všetkými pilotnými laboratóriami v rámci Eurometu je na obr. 4 prezentovaný priebeh odchýlok. Maximálna odchýlka pre etalón akustického tlaku SMU je 0,02 dB. Neistota merania uvedená v certifikáte vydanom SMÚ bola 0,04 dB.



Obr. 4



Obr.5

Obrázok 5 znázorňuje odchýlky etalónu akustického tlaku SMU a pilotných laboratórií NPL, DPLA a PTB od referenčnej hodnoty kľúčového porovnania v pracovnom frekvenčnom rozsahu etalónu SMÚ Bratislava. Pribeh dokumentuje kvalitu etalónu akustického tlaku SMU voči hodnotám vzťahnutým na kľúčové porovnanie CCAUV.A-K1.

Záver

Výsledky mikrofónov typu LS1 boli konzistentné v rozsahu $\pm 0,1$ dB pre všetky frekvencie vo frekvenčnom rozsahu do 10 kHz, s výnimkou jedného účastníka pri 10 kHz. Navyše 8 z 13-tich laboratórií vystavilo výsledný protokol v zhode v intervale $\pm 0,05$ dB pre všetky frekvencie do 10 kHz. Výsledky meraní dovoľujú laboratóriám prepojenie prostredníctvom KCRV na databázu BIPM.

Národný etalón akustického tlaku Slovenského metrologického ústavu potvrdil svoju kvalitou porovnateľnosť výsledkov meraní v celom svojom frekvenčnom rozsahu v rámci udávaných neistôt merania. Napriek tomu, že je postavený svojpomocne a merania na ňom sa vykonávajú modifikovanou metódou reciprocity, výsledkami obstál i pred prestížnymi etalónmi pilotných laboratórií PTB, DPLA a NPL.

Literatúra

- [1] STN EN 61094-1:2001, Meracie mikrofóny. Časť 1.: Technické požiadavky na laboratórne štandardné mikrofóny.
- [2] STN EN 61094-2:1992, Meracie mikrofóny. Časť 2.: Primárna metóda na tlakovú kalibráciu laboratórných etalónových mikrofónov metódou reciprocity.
- [3] RNDr. Ján Šebok, Národný etalón akustického tlaku, SMÚ Bratislava, december 1999, Č.ú. 200160
- [4] R. Barham. Report on key comparison CCAUV.A-K1. NPL Report CAIR 02 (2003).

Resumé

An international comparison of primary standards for sound pressure has taken place between fourteen institutes within Euromet, by the calibration of laboratory standard microphones. Three pilot laboratories first exchanged microphones between themselves and subsequently with four or five other laboratories each. A reference value has been defined which allows any two laboratories to compare results. Results for type LS 1 microphones were within a range of $\pm 0,15$ dB for all frequencies up to 10 kHz. This project now becomes a regional comparison alongside the worldwide CCAUV key comparison. Results for LS 1P microphones from this comparison have been linked to CCAUV.A-K1.

The presented results are preliminary in the international comparison and are linked to the standard for sound pressure of SMU. The quality of the national standard for sound pressure of the Slovak Metrological Institute confirmed the comparability of the measurements results in the your total frequency range within the given measurement uncertainties. Though, it is self-constructed and the measurements are made by the modified reciprocity method of two microphones in the active measured chamber, the results stand favourably even before the prestigious pilot laboratories PTB, DPLA and NPL.



10th INTERNATIONAL
ACOUSTICS
CONFERENCE

X. MEDZINÁRODNÝ
AKUSTICKÝ
SEMINÁR

Kočovce, 6.-8. júna 2005

Metóda reciprocity s aktívnou komôrkou v SMU v konfrontácii s metódami akustických laboratórií euroregiónu.

Ján Šebok, SMU Bratislava, Karloveská 63
sebok@smu.gov.sk

Príspevok prezentuje princípy metódy reciprocity a súčasne uvádza predbežné výsledky posledného porovnávacieho merania mikrofónov v euroregióne. Predkladá výsledok laboratória akustiky SMU, ktoré sa zúčastnilo projektu ako jediné s modifikovanou metódou reciprocity v aktívnej komôrke, tvorenej piezoprstencom. Konkretizovaná forma výsledkov bude k dispozícii po záverečnom vyhodnotení a oficiálnom publikovaní pilotného laboratória, ako aj súhlasu ostatných participantov, zúčastnených na projekte.

Úvod

V máji 2000 na zasadnutí kontaktných osôb Eurometu za oblasť akustiky v SMU Bratislava sa uskutočnilo aj prípravné zasadnutie laboratórií krajín, ktoré doposiaľ neboli, a prípadne ani nebudú, zapojené v Euromete. Hlavným iniciátorom bola ruská strana, ktorá navrhla porovnávacie meranie etalónových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm za účasti takého pilotného laboratória, ktorého výsledky sú porovnateľné s ostatnými výsledkami laboratórií začlenených v Euromete [1]. V priebehu roku 2001 boli vyzvaní ďalší účastníci euroregiónu, aby sa zapojili do tohto medzinárodného projektu. Pilotné laboratórium medzitým zabezpečilo prepojenie výsledkov na databázu BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) a etablovanie tohto projektu ako kľúčového [2].

Laboratórium akustiky SMU sa zapojilo do tohto projektu, aby verifikovalo merania ďalším medzinárodným porovnávacím meraním, a tým potvrdilo správnosť

stanovenia hodnôt citlivosti 24 mm etalónových mikrofónov v realizovanom frekvenčnom rozsahu na národnom etalóne akustického tlaku č. 019/99 [3]. V nemalej miere je to aj snaha ubezpečenia akustickej komunity o oprávnenosti použitia a porovnateľnosti merania metódou reciprocity s aktívnou komôrkou, napriek tomu, že sa deklarované parametre etalónu už niekoľkokrát potvrdili (porovnania s NPL Veľká Británia 1986, PTB Nemecko 1987 a 1997, ASMW DDR 1988, OMH Maďarsko 1988, VNIIFTRI Rusko 1990, ČMI Česko 1997, DPLA Dánsko 1998) [4].

Stručná história metódy reciprocity

Vzťah reciprocity k dynamickým systémom bol známy od Lorda Rayleigha, ktorý ho popísal ešte v roku 1877. V roku 1926 tento vzťah aplikoval Schottky na elektroakustický reverzibilný menič, pričom Ballantine ho v roku 1929 zovšeobecnil na iné meniče. Všeobecnú teóriu pasívnych lineárnych elektroakustických meničov podali v roku 1945 a 1947 Foldy a Primakoff [5]. Prvé zariadenie na kalibráciu mikrofónov metódou reciprocity v malej komôrke zhotovili počas druhej svetovej vojny na Harvardskej univerzite Di Mattia a Wiener.

Prvá norma na presnú kalibráciu mikrofónov IEC 327 „Presná metóda kalibrácie etalónových mikrofónov o priemere jeden palec metódou reciprocity“ vyšla v roku 1971 na základe prác Diestela z roku 1961. O rok neskôr to bola IEC 402 „Zjednodušená metóda kalibrácie mikrofónov pre meranie akustického tlaku o priemere jeden palec metódou reciprocity“, pre kalibráciu mikrofónov s menšími nárokmi na presnosť. Podľa IEC 327 bola v SMU začiatkom 70-tych rokov navrhnutá a použitá metóda na kalibráciu, ktorá bola značne prácna [6].

Neskôr, v roku 1985, keď pokročili technológie v spekaní piezokeramiky vo väčších objemoch, bola vybudovaná metóda reciprocity na báze aktívnej komôrky [7]. Veľká snaha z pozície SMU bola presadiť v TC 29 Elektroakustika princíp použitia dvoch mikrofónov a pomocného zdroja zvuku. Až v roku 1992 vyšlo prvé vydanie IEC 1094-2: Meracie mikrofóny Časť 2: Primárna metóda na tlakovú kalibráciu laboratórnych etalónových mikrofónov metódou reciprocity, v ktorej bol implementovaný tento princíp. Posledný termín zrušenia rozporných národných noriem určený CENELECCom bol až v roku 1995.

V súčasnosti etalón akustického tlaku SMU má dvadsať rokov, pričom princíp použitia dvoch mikrofónov a pomocného zdroja zvuku je zavedený v norme vyše desať rokov. Jeho jedinečnosť spočíva práve v použití aktívnej komôrky v tvare piezoprstenca a v použití špeciálnych mikrofónových predzosilňovačov s temer jednotkovým zosilnením. Aj z tohto dôvodu potrebuje neustále preukazovať svoju opodstatnenosť a porovnateľnosť výsledkov kalibrácií s inými laboratóriami, ktoré využívajú väčšinou komerčné zariadenie.

Princípy tlakovej kalibrácie metódou reciprocity

Kalibráciu mikrofónov metódou reciprocity možno vykonať pomocou troch mikrofónov, z ktorých dva musia byť reciprocity, alebo pomocným zdrojom zvuku a dvomi mikrofónmi, z ktorých jeden musí byť reciprocity [6],[8]. Reciprocity je taký

mikrofón, ktorého priama a spätná prenosová impedancia naprázdno má rovnakú veľkosť.

Vo svete sa využíva väčšinou meranie s tromi mikrofónmi, ktoré sa pri meraní cyklicky párovo kombinujú v schéme 12, 23 a 13. Páry mikrofónov sú akusticky viazané väzbovou komôrkou. Ak je známa akustická prenosová impedancia systému, môže sa určiť súčin tlakových citlivostí oboch viazaných mikrofónov. Elektrická prenosová impedancia sa meria, ak je jeden z mikrofónov použitý ako vysielač a druhý ako prijímač zvuku. Tlaková citlivosť každého mikrofónu sa vypočítava z jednotlivých meraní všetkých párových kombinácií. Pre sústavu dvoch akusticky viazaných mikrofónov je akustická prenosová impedancia podiel akustického tlaku pôsobiaceho na membránu mikrofónu – prijímača k objemovej rýchlosti nakrátko, vytvorenej mikrofónom použitým ako vysielač. Elektrická prenosová impedancia je podiel napätia mikrofónu – prijímača naprázdno k vstupnému prúdu, ktorý preteká mikrofónom použitým ako vysielač. Existujú aj konštrukcie komôrok, v ktorých sú súčasne zasunuté všetky mikrofóny. Jeden z mikrofónov sa využíva priamo ako zdroj zvuku.

Využitie dvoch mikrofónov a pomocného zdroja zvuku je špeciálnym prípadom posledne zmienenej konštrukcie s tromi mikrofónmi, prípadne inej konštrukcie. Takáto iná modifikácia konštrukcie sa využíva v SMU, kde ako pomocný zdroj zvuku slúži aktívna komôrka z piezoprstenca, ktorá generuje na oba mikrofóny rovnaký akustický tlak [7]. Pomer výstupných napätí mikrofónov bude rovný pomeru ich tlakových citlivostí. Súčin tlakových citlivostí sa určí z meraní mikrofónov akusticky viazaných pasívnou väzbovou komôrkou. Tlaková citlivosť každého z mikrofónov sa vypočíta zo súčinu a pomeru tlakových citlivostí oboch mikrofónov.

Úloha projektu

Úlohou projektu bolo vykonať tlakovú kalibráciu dvoch laboratórných etalónových mikrofónov LS 1P metódou reciprocity v súlade s normou IEC 61094-2 vo frekvenčnom rozsahu od 63 Hz do 10 kHz a vzájomne porovnať výsledky meraní laboratórií [3].

Porovnávacie meranie sa uskutočnilo podľa časového harmonogramu v roku 2002 zapojením sa 6 laboratórií. Počiatočné meranie vykonalo pilotné laboratórium následne prvé z laboratórií a opätovne hviezdicovito sa mikrofóny kontrolnou kalibráciou premeriavali v pilotnom laboratóriu. Záverečné meranie prebehlo opäť v pilotnom laboratóriu, čím sa mohla sledovať stabilita mikrofónov.

Proces merania a vyhodnotenia v SMU

Do SMU boli doručené dva mikrofóny typu B&K 4160, ktoré vlastnilo pilotné laboratórium. V zostave meraní boli použité ďalšie dva etalónové kondenzátorové mikrofóny B&K 4160 v. č. 1248073 a v. č. 1144841 laboratória akustiky SMU. Vykonala sa kalibrácia všetkých štyroch etalónových mikrofónov premeraním a výpočtom rezonančnej frekvencie a stratového činiteľa, ako aj parametrov akustickej impedancie, pomocou ktorých sa ďalším meraním a výpočtom stanovila ich citlivosť [3], [9].

Pre každú frekvenciu sa v procese merania vykonával aritmetický priemer z 10 opakovane snímaných údajov napätí z mikrofónov použitých v pozícií prijímača a 10 opakovane snímaných údajov napätí mikrofónov použitých v pozícií vysielača. Z nich sa vypočítala hladina citlivosti mikrofónov. Z priebehov pre daný mikrofón v pozícií prijímača ako aj vysielača sa vypočítal aritmetický priemer, ktorý reprezentoval výslednú frekvenčnú závislosť tlakovej citlivosti mikrofónu vstupujúceho do merania.

Vyhodnotenie meraní pilotným laboratóriom

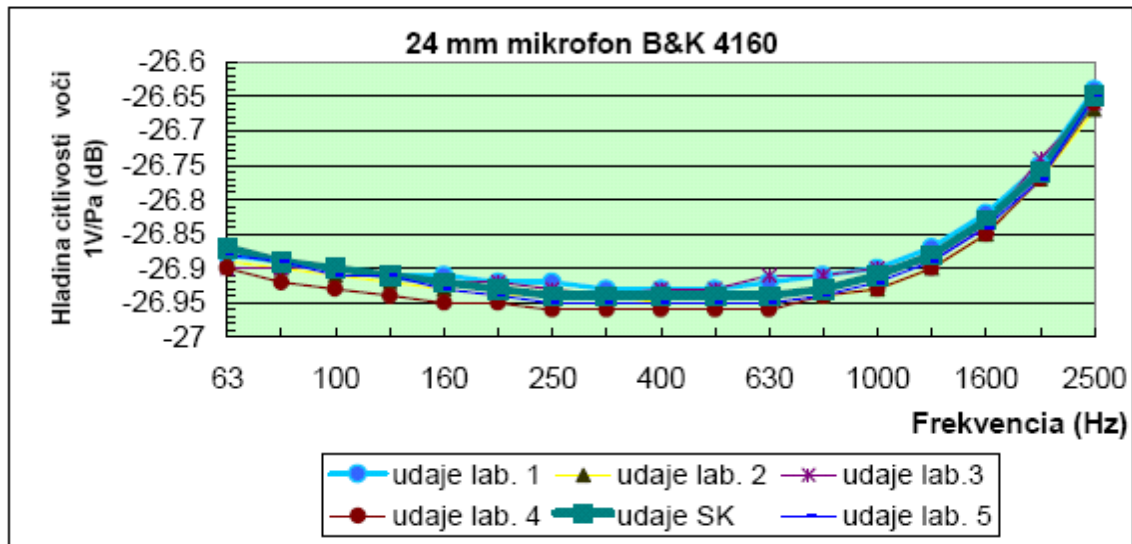
Najnáročnejšou fázou prác, kedy je nutné hodnoty meraných veličín a ich neistôt vyjadrených množinou premenných transformovať do štatistického modelu, je vyhodnotenie porovnávacích meraní. Vybraný správny štatistický model musí úplne a transparentne popísať množinu získaných výsledkov a stanoviť mieru ekvivalencie medzi účastníkmi porovnania.

Riadiace pilotné pracovisko akustiky spracúvalo výsledky merania v priebehu roka 2003 a 2004. Predbežné výsledky boli predložené na 4. zasadaní konzultatívneho výboru pre akustiku, ultrazvuk a vibrácie (CCAUV) Bureau International des Poids et Mesures v Sévri koncom septembra 2004 [10].

Konečné oficiálne výsledky neboli zatiaľ pilotným laboratóriom dané k dispozícii. Úplné ukončenie aj s porovnaním a vyhodnotením jednotlivých výsledkov hodlá pilotné laboratórium vykonať v prvej polovici roku 2005.

Prezentácia predbežných výsledkov.

Predbežné výsledky, ktoré boli zatiaľ dané k dispozícii ukazujú, že merania v danom pracovnom frekvenčnom rozsahu na národnom etalóne akustického tlaku SMU sú vo výbornej zhode s meraniami ostatných účastníkov.

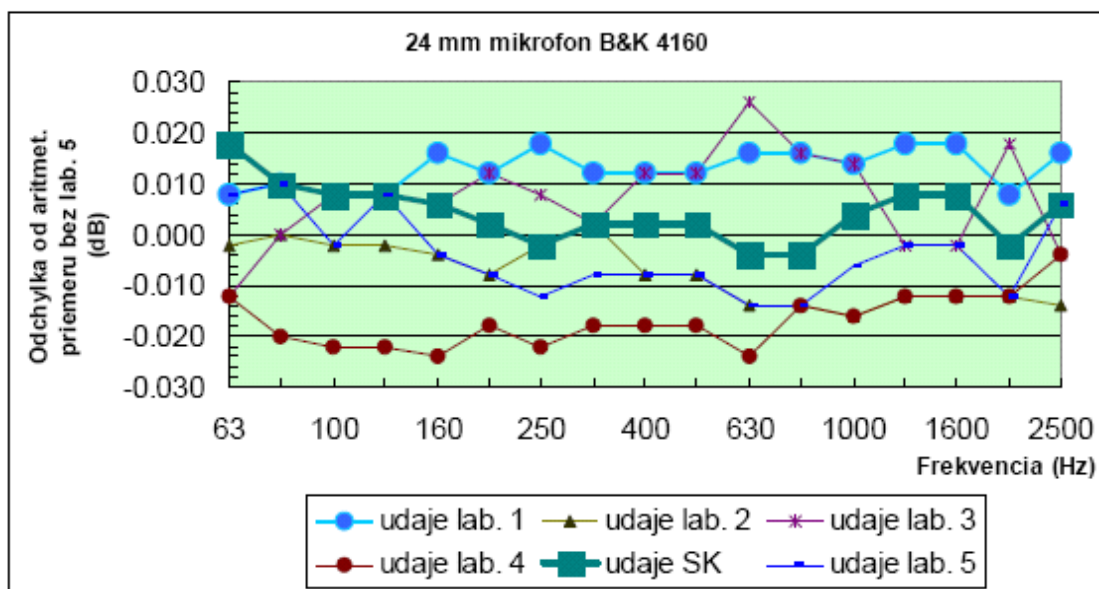


Graf 1 Výsledná frekvenčná závislosť tlakovej citlivosti jedného z mikrofónov určená rôznymi laboratóriami

Graf 1 uvádza výslednú frekvenčnú závislosť tlakovej citlivosti jedného z mikrofónov, ktoré poskytlo pilotné laboratórium, a ktorá bola vyhodnotená laboratóriom akustiky SMU. V legende sú ostatné laboratóriá zámerne nešpecifikované. Meranie v SMU

bolo vykonané s rozšírenou neistotou kalibrácie hladiny citlivosti mikrofónu $U = 0,04$ dB vo frekvenčnom rozsahu od 63 Hz do 2000 Hz a $U = 0,05$ dB pri frekvencii 2500 Hz.

Pre podrobnejšie znázornenie výsledkov meraní je na grafe 2 priebeh odchýlok hodnôt hladiny citlivosti jednotlivých laboratórií od referenčnej hodnoty získanej aritmetickým priemerom piatich laboratórií, bez laboratória 5, ktoré bolo predbežne vyhodnotené v SMU. Údaje z laboratória 5 neboli z dôvodu nekonzistentnosti výsledkov zatiaľ pri výpočte referenčnej hodnoty brané do úvahy. Nie je predpoklad, že by sa priebeh frekvenčnej závislosti tlakovej citlivosti určenej v SMU v závislosti od zvolenej štatistiky vyhodnotenia, uvážením všetkých laboratórií, význačne zmenil.



Graf 2 Odchýlky hodnôt hladiny citlivosti jednotlivých laboratórií od referenčnej hodnoty získanej aritmetickým priemerom bez uváženia laboratória 5

Záver

Predbežné výsledky, ktoré sme mali k dispozícii, a ktoré sa v laboratóriu akustiky SMU vyhodnotili, poukazujú, že merania na národnom etalóne akustického tlaku SMU sú v danom pracovnom frekvenčnom rozsahu, pri použití klasického štatistického prístupu, blízko k referenčnej hodnote. Opäť sa potvrdzujú výsledky, ktoré sa získali i pri vyhodnotení predchádzajúceho kľúčového porovnávacieho merania v rámci Projektu P 399 EUROMET.A-K1 [11].

Medzinárodným porovnaním národného etalónu akustického tlaku SMU, ktorý využíva metódu reciprocity v aktívnej komôrke sa konfrontovaním s metódami kalibrácií ostatných akustických laboratórií euroregiónu potvrdzuje oprávnenosť použitia, ako aj porovnateľnosť výsledkov merania získaných týmto spôsobom. Zároveň sa potvrdzuje aj oprávnenosť presadenia a zavedenia použitia pomocného zdroja zvuku- aktívnej komôrky v modifikáciách princípov reciprocity v medzinárodnej normalizácii.

Literatúra

- [1] Šebok, J.: Primárny etalón akustického tlaku na kalibráciu meracích mikrofónov, Č. ú. 200160, SMU, Bratislava, december 2000
- [2] Šebok, J.: Uchovávanie a zdokonaľovanie primárneho etalónu akustického tlaku na kalibráciu meracích mikrofónov, Č. ú. 200161, SMU, Bratislava, január 2002
- [3] Šebok, J.: Uchovávanie a zdokonaľovanie etalónov akustiky a ultrazvuku, Č. ú. 250160, Záverečná správa -Úloha plánu výskumu a vývoja na rok 2002, SMU Bratislava, január 2003
- [4] Šebok, J.: Národný etalón akustického tlaku, Č. ú. 200160, SMU, Bratislava, december 1999
- [5] Nehnevaj, D.: Návrh aplikácie metódy reciprocity na overovanie meracích mikrofónov, Záverečná správa č. 2011 úlohy technického rozvoja R 406-34 ČSMÚ, Bratislava 1974
- [6] Salava, T.: Elektroakustická a elektromechanická měření, SNTL, Praha 1979
- [7] Richter, K.: Česko-slovenský štátny etalón akustického tlaku, Správa pre záverečnú oponentúru úlohy štátnej štandardizácie č. 2, 1/361-90, Č-SMU, Bratislava, november 1990
- [8] STN EN 61094-2:1992, Meracie mikrofóny. Časť 2.: Primárna metóda na tlakovú kalibráciu laboratórných etalónových mikrofónov metódou reciprocity
- [9] Šebok, J.: Uchovávanie národného etalónu akustického tlaku, Č.ú.250160 Záverečná správa- Úloha plánu výskumu a vývoja na rok 2003, SMU Bratislava, december 2003
- [10] Šebok, J.: Národný etalón akustického tlaku, Č. ú. 210160, Záverečná správa Úloha plánu výskumu a vývoja na rok 2004, SMU, Bratislava, január 2005
- [11] Šebok, J.: Primárny etalón akustického tlaku SMU v systéme národných etalónov Európy. Zborník referátov z IX. Medzinárodného akustického seminára, Kočovce2004

Resumé

The contribution **The reciprocity method with active coupler in the SMU face with other acoustic laboratories methods in the euroregion** describes a general principles of pressure calibration by reciprocity method and gives information about preliminary results related to the last comparison measurement of microphones in the euroregion. It also introduces the result of the SMU acoustics laboratory which taken part in this project as the only using the modified reciprocity technique with active piezoelectric coupler. Relevant results will be published after the concluding evaluation and official publication of the pilot laboratory will be realised and also after the agreement of other participants taken part in the project will be reached.

Tentative results which are available and have been evaluated in the SMU laboratory of acoustics substantiate, that measurements at the SMU national standard of sound pressure are within the given working frequency range very close to the reference value, when the classic statistic process is used. International comparison of the SMU national standard of sound pressure (using the reciprocity method in the active coupler) within comparison with calibration methods of other acoustic laboratories of euroregion confirms its suitability and comparability of measurements results reached by this way as well. Also the justification of application of additive sound source – active coupler in reciprocity principles modifications in international standardisation is confirmed.



8th INTERNATIONAL
ACOUSTICS
CONFERENCE

IX. MEDZINÁRODNÝ
AKUSTICKÝ
SEMINÁR

Kočovce, 2.-3. júna 2003

**Meranie efektívneho objemu etalónových kondenzátorových mikrofónov
s nominálnym priemerom 24 mm.**

Ján Šebok, SMU Bratislava, Karloveská 63
sebok@smu.gov.sk

Úvod

Kalibrácia etalónových kondenzátorových mikrofónov sa vykonáva najpresnejšie absolútnou primárnou tlakovou kalibráciou metódou reciprocity podľa normy IEC 61094 – 2, resp. STN EN 61094 – 2, ktorá je v procese spracovania [1].

Pre zistenie tlakovej citlivosti mikrofónu je nutné poznať akustickú prenosovú impedanciu systému väzbovej aktívnej komôrky a akusticky viazaných mikrofónov, ktorú je možné pri nízkych frekvenciách, keď je komôrka podstatne menšia ako dĺžka vlny, vyjadriť analyticky prostredníctvom akustickej prenosovej admitancie rovnej súčtu akustických admitancií dvoch akusticky viazaných mikrofónov a akustickej admitancie meracej komôrky ako

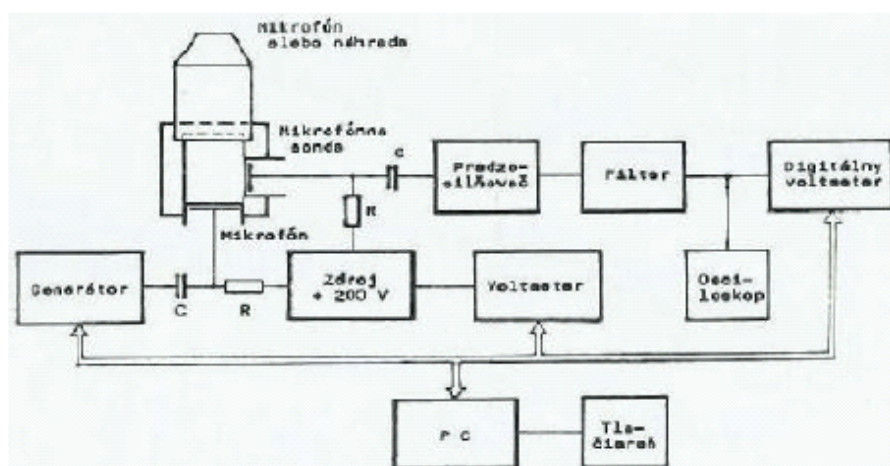
$$\frac{1}{Z_{a,12}} = \frac{1}{Z_{a,V}} + \frac{1}{Z_{a,1}} + \frac{1}{Z_{a,2}} = j \cdot \omega \cdot \left(\frac{V}{\kappa \cdot p_s} + \frac{V_{eq,1}}{\kappa_{ref} \cdot p_{s,ref}} + \frac{V_{eq,2}}{\kappa_{ref} \cdot p_{s,ref}} \right),$$

kde V je celkový geometrický objem komôrky, $V_{eq,1}$ a $V_{eq,2}$ sú ekvivalentné objemy mikrofónov 1 a 2 v komplexnom tvare, $Z_{a,V}$ akustická impedancia plynu uzavretého v dutine komôrky o geometrickom objeme V , daná $Z_{a,V} = \kappa p_s / j\omega V$, ω je uhlová frekvencia, p_s je statický tlak, κ je pomer merných tepiel (resp. merných tepelných kapacít) za podmienok okolia v čase merania a κ_{ref} je pomer merných tepiel (resp. merných tepelných kapacít) za referenčných podmienok. Hodnoty κ sa určujú z tabuliek. Akustická prenosová impedancia v systéme dvoch akusticky viazaných mikrofónov reprezentuje pomer akustického tlaku na membráne mikrofónu pracujúceho ako prijímač k objemovej akustickej rýchlosti vytvárajanej mikrofónom pracujúcim ako akustický vysielateľ.

Celkový geometrický objem komôrky V takto uzavretého systému predstavuje súčet objemov vlastnej komôrky a dvoch predmembránových objemov mikrofónu. Predmembránový objem laboratórnych etalónových kondenzátorových mikrofónov predstavuje krátka valcová dutina pred membránou, ktorej plášť je zvyčajne tvorený závitom, čím sú sťažené podmienky na presný výpočet tohto objemu jednoduchým výpočtom pomocou prierezu a hĺbky dutiny. V dôsledku výrobných tolerancií má každý mikrofón rozdielny priemer a preto pri presnej kalibrácii je individuálne zistenie predmembránového objemu jednotlivých mikrofónov dôležité. Súčet predmembránového a ekvivalentného objemu mikrofónu tvorí efektívny objem mikrofónu.

Meranie a určenie efektívneho objemu

Meranie efektívneho objemu mikrofónov sa realizuje porovnávacou metódou, porovnávaním známych geometrických objemov zaslepovacích zátok nahrádzajúcich mikrofón s objemom meraného mikrofónu. Základom zariadenia je prípravok so zdrojovou časťou a držiakom pomocného mikrofónu, ktorý generuje akustickú vlnu a meracia komôrka, do ktorej zasahuje meracia sonda. Sondou sa meria veľkosť akustického tlaku v dutine komôrky, ktorá sa postupne zakončuje etalónovými porovnávacími objemami a meraným mikrofónom. Výstupné napätie z meracej sondy sa meria digitálnym voltmetrom. Bloková schéma meracieho zariadenia na meranie efektívneho objemu mikrofónu je znázornená na obrázku. Interpoláciou sa určí efektívny objem meraného mikrofónu [2]. Meranie sa vykonáva pri jednej frekvencii v rozsahu od 250 Hz do 400 Hz.



Obr.1 Schéma meracej zostavy na meranie efektívnych objemov mikrofónov

Meranie v SMU je riadené počítačom pomocou programu metro58.exe Ver 1EOB [Lic. No # 003] a vykonáva sa poloautomaticky. Pre dodržanie limitov hlučového pozadia je vytvorený programový produkt [Lic. No # HP 58 + S7081] s programovou verziou Version 1.0 (Ef Vol S7081), ktorý meria efektívne objemy digitálnym voltmetrom Schlumberger Solartron 7081, ktorého chladiace zariadenie produkuje nižšiu úroveň hluku než pôvodné s voltmetrom HP 3458.

Zariadenie na meranie efektívneho objemu mikrofónov v SMU tvorí:

1. Prípravok so zdrojovou časťou a držiakom pomocného mikrofónu (uchytenie mikrofónu s tienením podľa normy STN EN 61094-1, vlastné vyhotovenie)

2. Malá pasívna komôrka s tlakovým vyrovnávacím otvorom a otvorom pre mikrofónovú sondu s držiakom (vlastné vyhotovenie)
3. Sada etalónových zaslepovacích zátok - náhrad, s definovaným objemom (vlastné vyhotovenie)
4. Pomocný merací mikrofón Brüel & Kjær typ 4160 ako zdroj zvuku
5. Mikrofónová sonda s priemerom 2 mm s tlakovým mikrofónom nominálneho priemeru 12 mm typ Brüel & Kjær 4134, predzosilňovač B&K 2645T
6. Merací zosilňovač typ Brüel & Kjær 2610
7. Pásmový priepust typ Brüel & Kjær 1617
8. Generátor sínusového napätia s ultra nízkym skreslením Stanford Research System Model DS 360
9. Číslicový voltmeter DC Metra MIT 330
10. Digitálny voltmeter Schlumberger Solartron 7081

Podmienky merania

Pri meraní efektívneho objemu, z hľadiska zistenia hodnôt efektívnych objemov, nie je potrebné poznať absolútnu hodnotu vygenerovaného akustického tlaku pomocným mikrofónom. Nezanedbateľná je však veľkosť výstupného napätia zo snímacieho mikrofónu pri zaťažení komôrky rôzne veľkými akustickými impedanciami poddajnostného charakteru. Poznanie tejto hodnoty je z dôvodov zabezpečenia takých podmienok merania, aby sa získal potrebný odstup užitočného napätia od parazitných šumov, ktoré môžu znehodnotiť meranie. Neblahý vplyv môže mať aj vonkajší rušivý akustický zdroj, ktorý najmä pri nízkych frekvenciách môže spôsobiť zníženie hodnôt citlivosti mikrofónu aj napr. dôsledkom prípadnej netesnosti meracieho systému. Pri týchto meraniach teoreticky optimálny a praxou potvrdený je (35 – 40) dB odstup rušivých zložiek od užitočného signálu. Hodnoty dosiahnuteľných hladín akustických tlakov vygenerovaných v pracovnej komôrke zariadenia SMU sú okolo (76 - 77) dB.

Vplyv vysokej hodnoty hladiny rušivého vonkajšieho zvukového poľa na toto meranie je značný, čo potvrdzuje aj hodnota korelačného faktora r pri meraní. Teoretická hodnota korelačného faktora, vyjadrujúceho správnosť merania, resp. tesnosť funkčných vzťahov pri štatistickom vyhodnocovaní počítačom z meraní, je 1; praktická 0,9999, dosiahnuteľná pri meraniach s pozadím hluku s hladinami menšími ako 30 dB. Táto hodnota sa dosahovala v minulosti pri umiestnení zariadenia v niekdajších priestoroch laboratória akustiky v Podunajských Biskupiciach. V súčasných priestoroch laboratória H je pri ideálnych podmienkach možné dosiahnuť hodnotu korelačného faktora 0,999. Pre ešte správne meranie je limitná hodnota korelačného faktora 0,99. Pri značnom hluku je nemožnosť vykonávať tieto merania. Z analýz meraní vyplýva potreba zabezpečiť také podmienky merania, aby boli dodržané maximálne prípustné hladiny pozadia hluku.

Výsledky merania

Pôvodne sa meranie vykonávalo pomocou menej presného digitálneho voltmetra RFT, pri vypnutej klimatizácii laboratória, s neistotou určenia efektívneho objemu okolo 40 mm³. Novšia verzia bola zameraná na meranie napätia presnejším HP voltmetrom, ktorý však pre svoju konštrukciu a potrebné chladenie využíva ventilátor s vyššou hlučnosťou. Neistota merania efektívnych objemov pri tejto konfigurácii je nižšia, avšak vzrastá pri nepriaznivých podmienkach okolia a môže dosiahnuť hodnotu 50 mm³ až 60 mm³, čo v relatívnom vyjadrení predstavuje pri mikrofónoch s nominálnym priemerom 24 mm neistotu až 10 %.

Použitím voltmetra Solartron Schlumberger sa zabezpečilo presnejšie meranie efektívnych objemov mikrofónov a neistota merania sa pri mikrofónoch s nominálnym priemerom 24 mm³ znížila o polovicu. Pri presných meraniach počas vypnutej klimatizácie je výrazné zníženie fluktuácie hodnôt napätia a neistota merania efektívnych objemov mikrofónov môže klesnúť na 10 mm³. Kontrola merania je zabezpečená meraním mikrofónových náhrad, objem ktorých sa veľmi málo mení. Takéto meranie predstavuje validáciu metódy a verifikáciu samotného merania. Potvrdenie správnosti výsledkov s najvyššou mierou zabezpečuje až medzinárodné porovnávacie meranie. Výsledky medzinárodného porovnania impedančných parametrov etalónových kondenzátorových mikrofónov B&K 4160 v. č. 1248073 a B&K 4160 v. č. 1144841, ktoré sú súčasťou národného etalómu akustického tlaku SNE č.019/99, pri referenčných podmienkach - statickom tlaku 101325 Pa, teplote 23 °C, polarizačnom napätí 200 V a frekvencii 250 Hz sú v nasledujúcich tabuľkách.

Tabuľka 1. Impedančné parametre etalónového mikrofónu B&K 4160 v. č. 1248073

Laboratórium	Certifikát č.	Predmembránový objem (mm ³)	Ekvivalentný objem (mm ³)	Efektívny objem (mm ³)
SMÚ Bratislava	č. 9/ 233/98	536 ± 10	131 ± 10	667 ± 10
PTB Braunschweig	č.1.41-17365/97	537	124	661
DPLA Dánsko	č.M1.00-0158-3.2	537	129	666

Tabuľka 2. Impedančné parametre etalónového mikrofónu B&K 4160 v. č. 1144841

Laboratórium	Certifikát č.	Predmembránový objem (mm ³)	Ekvivalentný objem (mm ³)	Efektívny objem (mm ³)
SMÚ Bratislava	č. 9/ 233/98	530 ± 10	132 ± 10	662 ± 10
PTB Braunschweig	č.1.41-17365/97	532	127	659
DPLA Dánsko	č.M1.00-0158-3.2	536	130	666

Merania boli vykonané v rokoch 1997 a 1998. Súčasnú merania z rokov 2001 a 2002 sa pri mikrofóne s výrobným číslom 1144841 nezmenili, hodnoty efektívneho objemu mikrofónu v. č. 1248073 sú 662 mm³, resp. 663 mm³, s neistotou 10 mm³.

Resumé

The goal of this contribution „The measurement of the effective volume of the standard condenser microphones with nominal diameter 24 mm” is mention on the method employed in the SMU as well as a results of the intercomparison measurements. The effective volume of the microphone (a front cavity volume and the equivalent volume) is evaluated using an acoustical method for the comparison of a microphone under test with a number of cavities with known volumes. A live microphone and dummies are inserted into the cavity, indicating sound pressure changes by probe, during the microphone testing. The intercomparison of the effective volume of the laboratory standard microphones have shown mutual deviation of less than 6 mm³ between the Slovak Institute of Metrology and the PTB Germany and the DPLA Denmark.

Literatúra

- [1] STN EN 61094-2 Meracie mikrofóny. Časť 2.: Primárna metóda na tlakovú kalibráciu laboratórných etalónových mikrofónov metódou recipacity.
- [2] Richter K. a kolektív: Výskum etalonáže akustickej impedancie meracích mikrofónov, Záverečná správa č. 1173, ČSMÚ Bratislava 1988.



12th INTERNATIONAL
ACOUSTICS
CONFERENCE

XII. MEDZINÁRODNÝ
AKUSTICKÝ
SEMINÁR

Kočovce, 4.-5. júna 2007

Uncertainty budget of the SMU type LS 1 standard microphone measurement

Ján Šebok, SMU Bratislava, Karloveská 63
sebok@smu.gov.sk

This paper evaluated the uncertainty of the Slovak metrology type LS 1 standard microphone measurement in calibration in accordance with recommendation EA-4/02 [1] over the operating frequency range of the national sound pressure standard.

Introduction

The Slovak Institute of Metrology use for pressure calibration of the LS 1 standard microphones the primary method by the reciprocity technique, which is described in IEC 61094-2 how the method using two microphones and auxiliary sound source [2].

If only two microphones and an auxiliary sound source are used, the final expression for the modulus of the pressure sensitivity is as follows:

$$|M_{p,1}| = \left\{ \frac{M_{p,1}}{M_{p,2}} \cdot \frac{Z_{a,12}}{Z''_{a,12}} \cdot \Delta_C \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

where the ratio of the two pressure sensitivities is measured by comparison against the auxiliary source. First, in general principles, let the two microphones are connected acoustically by a coupler and the product of the pressure sensitivities of the two microphones could be determined. Next, let the two microphones be presented to the same sound pressure, set up by the auxiliary sound source. The ratio of the two output voltages will then equal the ratio of the two pressure sensitivities. Thus from the product and the ratio of the pressure sensitivities of the two microphones, an expression for the pressure sensitivity of each of the two microphones can be derived.

If we take into an account the equation (1) the pressure sensitivity of the one microphone is [3]

$$M_1 = \sqrt{\frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{Z_{e12}}{Z_{a12}}} \cdot k_{HC} \cdot k_t \cdot k_p, \quad (2)$$

where the U_1/U_2 is the ratio of the output voltage of the two acoustically coupled microphones under the same acoustics pressure and the ratio of the electrical and acoustic in the frequency range from 63 Hz to 2,5 kHz is:

$$\frac{Z_{e12}}{Z_{a12}} = \frac{U_M}{U_g} \frac{S \cdot \sin(k \cdot l_e)}{C_{mer} \cdot \rho \cdot c_0^2 \cdot k \cdot l_e} = \frac{U_M}{U_g} \cdot IR. \quad (3)$$

where U_M is the voltage from the receiver microphone, U_g is the voltage from generator which supply the source microphone, S is the membrane area, k is wave number $2\pi f/c_0$, l_e is the equivalent length of the cavity, which is specified from overall cavity volume including equivalent volume of the microphones (acoustic impedance of the microphones), C_{mer} is the capacity of the measuring capacitor, ρ is the air density, c_0 is the sound velocity, k_{HC} , k_t a k_p are the heat conduction, temperature and pressure corrections, IR is the reciprocity parameter.

Other expression of the some physical quantities

The sound velocity can be calculated from the formula (see below), where are function dependency from static pressure, adiabatic coefficient and air density:

$$c_0 = \sqrt{\frac{p_s \cdot \kappa}{\rho}}. \quad (4)$$

The air density uncertainty is estimated from the uncertainties the corresponding environmental quantities – pressure, temperature and humidity using the empirical formula [3]:

$$\rho = \frac{1}{273,15 + t_s} [3,48 \cdot 10^{-3} \cdot p_s \cdot 1,316 \cdot \varphi \cdot 10^{(0,6609 + 7,5 \cdot t_s / (273,3 + t_s)) - 3}] \quad (5)$$

An equivalent length of the cavity is used. This length is calculated by the geometrical volume of the measuring cavity, the front cavity volumes and equivalent volumes of measured microphones

$$l_e = \frac{V_c}{S}, \quad (6)$$

where $V_c = V_k + 2V_{pr} + 2V_{eq}$. Then V_k is the geometrical volume of the cavity, V_{pr} is the front cavity volume (its value is being estimated individually for each measured microphone) and V_{eq} is equivalent microphone volume.

The correction to the heat conduction is following:

$$k_{HCG} = \frac{\kappa}{1 + (\kappa - 1) \cdot E_V} \quad (7)$$

κ is the coefficient of adiabatic expansion and E_V is the complex temperature transfer function [2].

The others correction is given by $K_x = 1 + k_x$ (actual value of parameter – reference value of parameter), e.g. for the static pressure

$$K_p = 1 + k_p \cdot (p_a - p_r). \quad (8)$$

Measurement principle

The ratio of microphone output voltage (arithmetical average 10 repeated scanned voltage data) and that of the generator that drive the microphone transmitter (arithmetical average 10 repeated scanned voltage data) is measured at each measured frequency. The arithmetical average is calculated by both characteristic curves of the microphones (in position receiver also transmitter) which representing the frequency standard pressure sensitivity dependency both of microphones joined to measurement.

The transmission between the both microphones is given by the calculable measuring chamber transfer impedance. Including all the corrections the measuring process starting from measuring mode set-up through data acquisition and results evaluation is controlled by a PC. (Corrections due to own mode of the active coupler are performed at frequency range from 630 Hz to 800 Hz).

The voltages represent the measurement quantities. All the other quantities are count as constant during the measurement at one frequency. The measurement is automatically repeated twenty times. In general the microphone frequency pressure sensitivity dependency or the microphone pressure level sensitivity M represents the result of the measurement.

Type A standard uncertainty

The microphone pressure sensitivity M experimental standard deviation of the mean is used as the type A standard uncertainty using the following equation:

$$u_{A,M} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (9)$$

The measuring data for every measurement frequency are taken during rather narrow time gap. This results in the value of the type A standard uncertainty that does not exceed 0,01%, which corresponds to 0,001 dB. This value corresponds to $u_{A,M} = 0,005$ mV/Pa for nominal microphone sensitivity of 50 mV/Pa, or 0,001 dB for the sensitivity level comparing with the level of 1 V/Pa.

Type A standard uncertainty the next value 0,003 dB by frequency 250 Hz is included, which represents the uncertainty from repeating the measurement result under the microphone position changed.

Type B standard uncertainty

Type B standard uncertainty evaluation starts from the mathematical model analysis that is represented by the equation for the pressure sensitivity of microphone being calibrated using reciprocity method (see relations (2), (3)). Following uncertainties follows from the error sources z_j and the sensitivity coefficients are evaluated by the expression

$$A_{M,z_j} = \partial M(U,v) / \partial z_j. \quad (10)$$

The sensitivity coefficients determine the partial uncertainty contribution of the final uncertainty estimation of the microphone pressure sensitivity ($z_j = z$ is representing the actual value of z_j). Using these coefficients the partial microphone pressure sensitivities are evaluated with

$$u_{M,z_j} = A_{x,z_j} \cdot u_{z_j}, \quad (11)$$

The contribution to the partial uncertainty of the pressure sensitivities are presented in the following type B uncertainty budgeted on the **Table 1** (see below). **Table 2** shows the view of the evaluation the pressure sensitivity coefficients by partial derivation by the expression (5)

Table 2 – Evaluation the pressure sensitivity coefficients by partial derivation

Quantity	Sensitivity coefficient
Voltage $u_{M,u1}$	$\frac{\partial M(\bar{U}, \bar{V})}{\partial U_1} = M/2U_1$
Voltage $u_{M,u2}$	$\frac{\partial M(\bar{U}, \bar{V})}{\partial U_2} = -M/2U_2$
Voltage $u_{M,uM}$	$\frac{\partial M(\bar{U}, \bar{V})}{\partial U_M} = M/2U_M$
Voltage $u_{M,uG}$	$\frac{\partial M(\bar{U}, \bar{V})}{\partial U_g} = -M/2U_g$
Capacity of the measured cond. $u_{M,Cmer}$	$A_{M,C} = -\frac{M}{2C}$
Air density $u_{M,\rho}$	$A_{M,\rho} = -\frac{M}{2\rho}$
Sound velocity $u_{M,c0}$	$A_{M,c} = -\frac{M}{2c_0} \cdot \left(1 + \frac{\text{tg}(k \cdot l_e)}{k \cdot l_e}\right)$
Cross area the cavity $u_{M,S}$	$A_{M,S} = \frac{M}{2S}$
Equivalent length of the cavity u_{M,l_e}	$A_{M,l_e} = -\frac{M}{2l_e} \cdot \left(1 + \frac{\text{tg}(k \cdot l_e)}{k \cdot l_e}\right)$
Measuring frequency $u_{M,f}$	$A_{M,f} = \frac{\partial M}{\partial f} = -\frac{M}{f} \cdot \left(1 + \frac{\text{tg}(k \cdot l_e)}{k \cdot l_e}\right)$
Pressure correction $u_{M,kp}$	$\frac{\partial M}{\partial k_p} = M \cdot (p_a - p_r)$
Temperature correction $u_{M,kt}$	$\frac{\partial M}{\partial k_t} = M \cdot (t_a - t_r)$
Polarization voltage $u_{M,up}$	From the graph (plotted by the manufacturer) $A_{M,u_p} = \frac{18,4\text{dB}}{(200-25)\text{V}}$
Heat conductivity in the closed cavity $u_{M,kHCG}$	$A_{M,kHCG} = \frac{\partial M}{\partial k_{HCG}} = M$

Combined uncertainty

Combined uncertainty of microphone sensitivity determination which using the reciprocity method is measured is given as the root sum square according the Gaussian uncertainty propagation law as

$$u_M = \sqrt{u_{dM}^2 + u_{bM}^2} = \sqrt{0,0009^2 + 0,003^2 + 0,018^2 + 0,001^2 + 0,005^2} = 0,019\text{dB}, \quad (12)$$

The type B uncertainty includes uncertainty contribution due to results rounding evaluation in dB, which is 0,001 dB and uncertainty contributions of the empiric equations and that of the physical constants, which represents 0,005 dB.

Expanded uncertainty

The expanded uncertainty is evaluated from the corresponding combined uncertainty using expansion coefficient (coverage factor) $k = 2$, which corresponds to the reliability level of approximately 95 %. The microphone level pressure sensitivity determination expanded uncertainty for the frequency of 250 Hz is then $U = 0,038$ dB (i.e. rounded $U = 0,04$ dB) [4].

Table 1 - Type B standard uncertainty of the microphone pressure sensitivity

Quantity	Estimation	Max. permitted error (%)	Probability distribution	Distribution coefficient k_g	Source of the uncertainty estimation of the relevant quantity u_g	Sensitivity coefficient A_{ij}	Dimension of the sensitivity coefficient (mV.Pa ⁻¹ /dimension of the quantity)	Partial uncertainty estimation of the pressure sensitivity by relevant quantity u_{ij} (mV/Pa)
Voltage u_{U_A}	50.0	0.0034	rectangular	$\sqrt{3}$	0.0020	0.500	Pa ⁻¹	0.0036
Capacity of the measured cond. $u_{U_{Cond}}$	58.0	0.012	normal	2	0.0050	-0.431	mV/Pa.pF	-0.0026
Air density $u_{U_{\rho}}$	1.171	0.0026	rectangular	1.73	0.0015	-21.346	mV.Pa ⁻¹ kg ⁻¹ .m ³	-0.0324
Sound velocity $u_{U_{c_0}}$	346.18	0.48	rectangular	1.73	0.28	-0.0727	mV.Pa ⁻¹ .m ⁻¹ .s	-0.0203
Cross area the cavity $u_{U_{S_0}}$	271.72	0.28	rectangular	1.73	0.16	0.0920	mV.Pa ⁻¹ .mm ²	0.0147
Equiv.length of the cavity $u_{U_{L_0}}$	16.046	0.087	rectangular	1.73	0.052	-1.545	mV.Pa ⁻¹ .mm ⁻¹	-0.0809
Measuring frequency $u_{U_{f_0}}$	250.0	0.0003	normal	2	0.000013	-0.198307	mV.Pa ⁻¹ .Hz ⁻¹	-0.0000026
Pressure correction $u_{U_{p_0}}$	1.000002	0.000004	normal	2	-0.0000184	1000.000	mV	-0.0184
Temperature correction $u_{U_{T_0}}$	1.00035	0.000007	normal	2	-0.0000035	1000.000	mV.°C.Pa ⁻¹	-0.0035
Polarization voltage $u_{U_{p_0}}$	200.00	0.05	rectangular	1.73	0.02887	0.01218	mV/Pa/V	0.00035
Heat conductivity in the closed cavity $u_{U_{k_0}}$	1.0094	0.0000112	rectangular	1.73	0.0000017	50.00	mV/Pa	0.00008
Type B merged uncertainty in mV/Pa								0.10
Type B merged uncertainty in dB								0.018

The level pressure sensitivity determination estimate

The analysis and the evaluation was performed for the frequency of 250 Hz. Keeping the suitable condition within certain limits it is possible to determine the microphone level pressure sensitivity value for low and middle frequencies using reciprocity calibration with the corresponding uncertainty of approximately 0.04 dB. The uncertainty value rises for the type LS1P microphones is at the level of 0.05 dB for the frequency of 2.5 kHz. Following **Table 3** demonstrates for the measured frequency range the rounded up expanded uncertainty values U in decibels.

Table 3 – The frequency dependency of the expanded uncertainty values of the LS1 standard microphone

Frequency (Hz)	63	80	100	125	160	200	250	315	400
Expanded uncertainty U (dB)	0.040	0.040	0.040	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038
(continue)									
Frequency (Hz)	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	
Expanded uncertainty U (dB)	0.038	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.045	

Summary

As per calculation, the most significant contribution to the uncertainty of sensitivity of type B is the uncertainty of determination of the equivalent length of the measured chamber and the air density. The decrease of the first of uncertainties would require more precise determination of the equivalent microphone volumes. The expanded uncertainty of the pressure sensitivity level of standard microphones of the type LS1 varies from 0,03 to 0,05 dB for this frequency range in other countries.

References

- [1] EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, EAL TaskForce for revision of WECC Doc. 19/1990, December 1999
- [2] IEC 61094-2:1992 Measurement microphones Part 1: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique
- [3] Šebok, J.: Slovenský národný etalón akustického tlaku, Záverečná správa úlohy č. 200160, SMÚ Bratislava, apríl 1999
- [4] Šebok, J.: Pracovný postup na kalibráciu meracích mikrofónov č.19/250/02, SMU Bratislava 2002

Resumé

Bilancia neistoty merania etalónového mikrofónu SMU typu LS 1 v procese kalibrácie na národnom etalóne akustického tlaku v rámci jeho pracovného frekvenčného rozsahu v tomto príspevku zohľadňuje odporúčanie EA-4/02 pre akreditované laboratória. Rozšírená neistota hladiny tlakovej citlivosti etalónových mikrofónov typu LS 1 zo zostavy národného etalónu akustického tlaku SMU Bratislava je vo frekvenčnom rozsahu od 63 Hz do 2000 Hz 0,04 dB. Smerom k nižším a vyšším frekvenciám sa hodnota neistoty zvyšuje, čo je v súlade s bilanciou neistôt merania mikrofónov typu LS 1 v iných krajinách. Odlišné sú len prístupy jednotlivých krajín k analýze zdrojov neistôt a z toho vyplývajúce príspevky k čiastkovým neistotám typu B.



13th INTERNATIONAL
ACOUSTICS
CONFERENCE

XIII. MEDZINÁRODNÝ
AKUSTICKÝ
SEMINÁR

Kočovce, 2.-3. júna 2008

Zabezpečenie unifikácie merania elektrických parametrov meracích kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm pri určovaní akustickej impedancie nepriamou metódou.

Ján Šebok, SMU Bratislava, Karloveská 63
sebok@smu.gov.sk

Úvod

Pri stanovovaní citlivosti kondenzátorových mikrofónov metódou reciprocity jednou zo zložiek impedančných parametrov meracieho systému je akustická impedancia mikrofónu. Tzn. akustická impedancia každého mikrofónu tvorí významnú časť akustickej prenosovej impedancie sústavy viazaných mikrofónov, prostredníctvom ktorej sa stanoví citlivosť etalónových kondenzátorových mikrofónov. Prvkami so sústredenými parametrami, ktoré reprezentujú akustickú impedanciu mikrofónu, môžu byť akustická hmotnosť, akustická poddajnosť a akustický odpor, prípadne rezonančná frekvencia, ekvivalentný objem pri nízkych frekvenciách a stratový činiteľ membrány [1].

Teoretický model

Závislosť citlivosti mikrofónu od akustickej impedancie mikrofónu Z_a , ak sú elektrické svorky naprázdno, možno matematicky vyjadriť z rovnice elektroakustického dvojbranu ako

$$M_p = \left| \frac{U}{P} \right|_{I=0} = \frac{\Phi}{j\omega \cdot C_{e0}} \cdot \frac{1}{Z_a}, \quad (1)$$

kde Φ je frekvenčne nezávislý väzbový faktor a C_{e0} je elektrická kapacita mikrofónu pri zabrzdenej membráne ($C_{e0} = C_{100 \text{ kHz}}$ pre mikrofóny s nominálnym priemerom 24 mm, $C_{e0} = C_{250 \text{ kHz}}$ až $C_{400 \text{ kHz}}$ pre mikrofóny s nominálnym priemerom 12 mm), tzn. etalón akustického tlaku, realizovaný na báze metódy reciprocity, je v podstate definične založený na akustickej impedancii, pričom sa akustická impedancia mikrofónov určuje nepriamou metódou výpočtom z meraní elektrických parametrov [2].

Uvažovaním zjednodušení, ktoré predpokladajú adiabatickú stavovú zmenu plynu akusticky viazaných mikrofónov v metóde reciprocity, možno takýto systém vyjadriť aj prostredníctvom recipročnej hodnoty impedancie, čiže admitanciou Y . Takto zviazaný merací systém etalónu akustického tlaku môžeme vyjadriť súčtom akustických admitancií akusticky viazaných mikrofónov a akustickej admitancie väzbovej komôrky. Pri nízkych akustických frekvenciách sa plyn v dutine komôrky chová ako čistá poddajnosť a akustická admitancia mikrofónu je potom vyjadriteľná ako:

$$\frac{1}{Z_{a,1}} = j \cdot \omega \cdot \left(\frac{V_{eq,1}}{\kappa_{ref} \cdot p_{s,ref}} \right), \quad (2)$$

kde $V_{eq,1}$ je ekvivalentný objem jedného z mikrofónov 1, ω je uhlová frekvencia, p_s je statický tlak a κ_{ref} je podiel mernej tepelnej kapacity pri stálom tlaku a mernej tepelnej kapacity pri stálom objeme za referenčných podmienok. Ekvivalentný objem mikrofónu vyjadrený v komplexnom tvare je objem plynu, ktorý je uzavretý v tuhej dutine, podliehajúci adiabetickej stavovej zmene pri danej frekvencii, ktorej akustická impedancia je rovná akustickej impedancii mikrofónu.

Akustickú impedanciu mikrofónu možno iteráciou vypočítať zo vzťahu:

$$\underline{Z}_a = \frac{\underline{Z}_{e,0} - \underline{Y}^{-1}}{\underline{M}_p^2}, \quad (3)$$

kde $\underline{Z}_{e,0}$ je elektrická impedancia pri zabrzdenej membráne a \underline{M}_p je citlivosť mikrofónu [1]. Rezonančná frekvencia je frekvencia, pri ktorej imaginárna časť akustickej impedancie sa rovná nule.

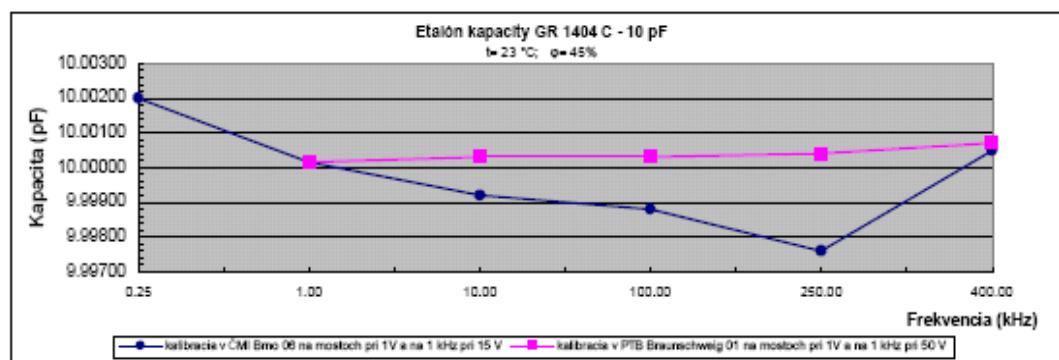
Kalibrácia etalónu kapacity

Unifikácia nepriamej metódy založenej na meraní elektrickej admitancie Y mikrofónu, ktorý je akusticky zakončený štvrtvlnovým uzavretým vlnovodom, na meracom zariadení na zisťovanie ekvivalentných objemov mikrofónov [3], ako aj meraní elektrickej impedancie $\underline{Z}_{e,0}$ pri zabrzdenej membráne pri dostatočne vysokých frekvenciách, predstavuje najprv kalibráciu meracieho zariadenia s nadväznosťou na rekalibrovaný etalón kapacity s kalibračnou hodnotou kapacity a stratového činiteľa. Rekalibrácia etalónu kapacity GR 1404-C 10 pF v.č. 2379, v požadovanom frekvenčnom rozsahu, sa realizovala v laboratóriu ss a nf elektrických veličín v ČMI Brno. Etalón kapacity bolo potrebné kalibrovať v širokom frekvenčnom rozsahu od 250 Hz do 400 kHz. SMU nemá zabezpečenú kalibráciu v tomto rozsahu, preto sa nadväznosť realizovala na blízky zahraničný metrologický ústav [4].

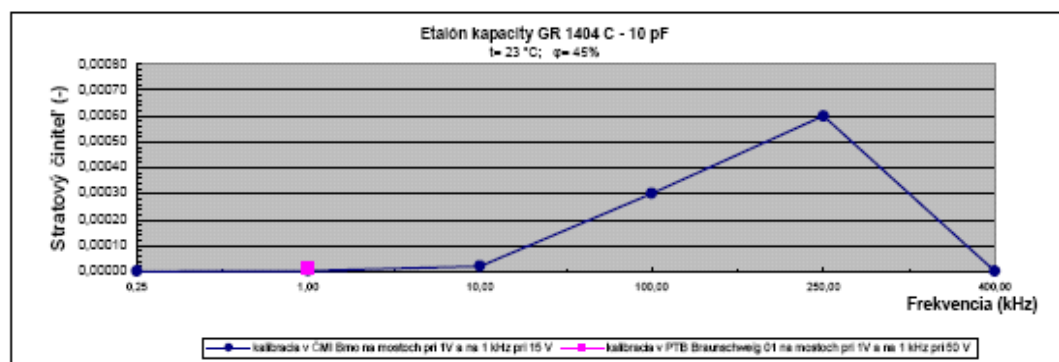
Výsledky merania z kalibračného listu č. 6011-KL-H464-06 boli spracovávané v laboratóriu akustiky SMU v programovom prostredí Excel a sú uvedené v **Grafe 1a**, **1b** a **2**. V grafoch sú porovnávané výsledky rekalibrácie s predchádzajúcou kalibráciou vykonanou v PTB Braunschweig v roku 2001. **Graf 1a** znázorňuje frekvenčný priebeh kapacity, **Graf 1b** frekvenčný priebeh stratového činiteľa a **Graf 2** znázorňuje kalibračné hodnoty s uvedením neistôt kalibrácie príslušných veličín etalónu kapacity. Najpresnejšia je kalibrácia na 1 kHz, ktorú zabezpečuje aj SMU.

Etalón kapacity s nominálnou hodnotou 10 pF fy General Radio má vďaka svojej konštrukcie výbornú teplotnú stabilitu. Takto rekalibrovaný etalón kapacity sa používa na kalibráciu LCR mosta QuadTech 7400, ktorým sa meria frekvenčný priebeh kapacity a stratového činiteľa akusticky skratovaného mikrofónu. Meranie prebieha pri nízkych frekvenciách 250 Hz,

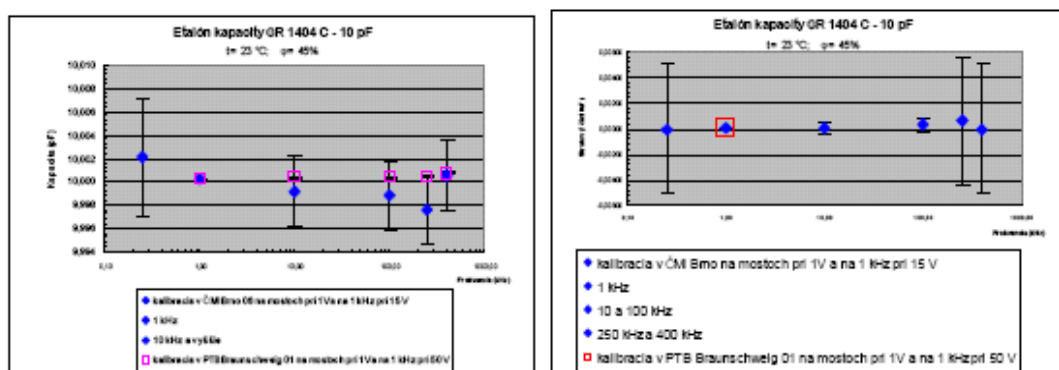
pri frekvenciách okolo rezonančnej frekvencie mikrofónov (8 kHz – 20 kHz pre 24 mm mikrofóny) a pri frekvenciách, kde sa simuluje veľká tuhosť membrány mikrofónu (100 kHz, 250 kHz, 400 kHz). Rozsah frekvencií je závislý od nominálneho priemeru mikrofónu. Najväčší rozdiel hodnôt kapacity medzi kalibráciou v ČMI a v PTB má 10 pF etalón na frekvencii 250 kHz, i keď porovnanie nie je práve na tejto frekvencii plne objektívne, pretože hodnota nameraná v PTB je na frekvencii 200 kHz. Odchýlka hodnôt kapacity však neprevyšuje hodnotu 0,003 pF.



Graf 1a Kalibrácia 10 pF etalónu kapacity - frekvenčný priebeh kapacity



Graf 1b Kalibrácia 10 pF etalónu kapacity - frekvenčný priebeh stratového činiteľa



Graf 2 Kalibrácia 10 pF etalónu kapacity - frekvenčný priebeh kapacity a frekvenčný priebeh stratového činiteľa s uvedenou neistotou

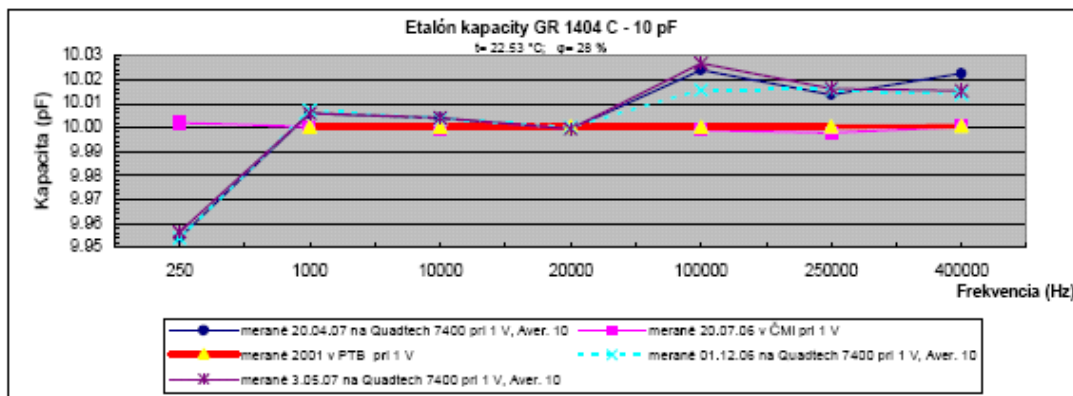
Kalibrácia etalónu kapacity je uskutočnená pri napätí 1V, okrem frekvencie 1 kHz, kde je v prípade PTB aplikované napätie 50 V a v prípade ČMI napätie 15 V, pričom merania

mikrofónov na kapacitnom moste sa uskutočňujú na napätí 5 V. Preto je potrebné určiť aj tento rozdiel pri rôznych napätiach a použiť príslušné korekcie na jednotlivých frekvenciách na elimináciu chýb.

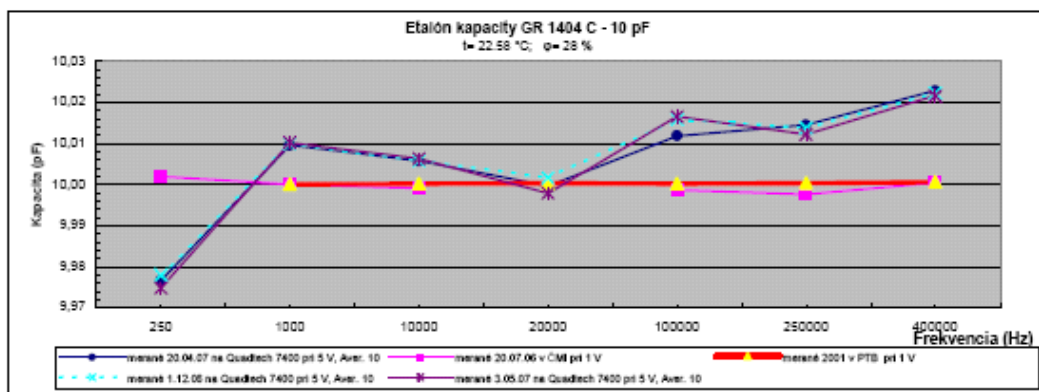
Okrem kalibrácie etalónu kapacity s nominálnou hodnotou 10 pF sa realizovala aj rekalkulácia etalónov kapacity fy Keithley Model 5900 s nominálnou hodnotou 18 pF a 47 pF [4]. Etalón kapacity 18 pF je užitočný, pretože simuluje kapacitu mikrofónov s nominálnym priemerom 12 mm a etalón kapacity 47 pF zodpovedá hodnotou bližšie kapacite etalónových kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm. V dôsledku horšej teplotnej stability však odchýlka kapacity na etalóne kapacity o nominálnej hodnote 47 pF je už pri základnej frekvencii 1 kHz o hodnote 0,02 pF, čo je pre ďalšie použitie nepostačujúce.

Kalibrácia meracieho reťazca

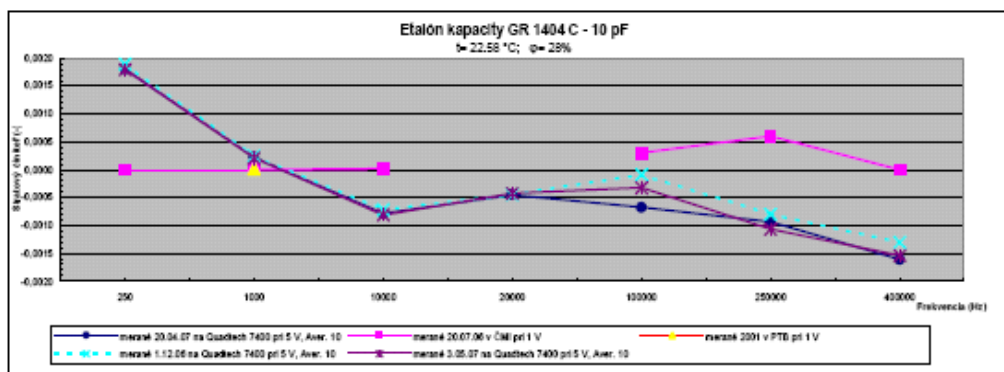
Pomocou etalónu kapacity s nominálnou hodnotou 10 pF sa kalibruje LCR most QuadTech 7400, ktorým sa následne merajú elektrické parametre etalónových mikrofónov. Výsledné meranie je závislé od zistenia korekcií LCR mostu pre jednotlivé frekvencie, ktoré je nutné použiť pri meraní elektrickej impedancie mikrofónov. V dôsledku toho presné merania na kapacitnom LCR moste berú v úvahu jeho kalibráciu s nadväznosťou na etalón kapacity s hodnotami kapacity a stratového činiteľa. Merania sú pre výsledok určenia rezonančnej frekvencie mikrofónu, od ktorej je závislá najmä akustická hmotnosť mikrofónu esenciálne.



Graf 3a Meranie priebehu kapacity 10 pF etalónu kapacity LCR mostom QuadTech 7400 na 1 V



Graf 3b Meranie priebehu kapacity 10 pF etalónu kapacity LCR mostom QuadTech 7400 na 5 V



Graf 3c Meranie priebehu stratového činiteľa 10 pF etalónu kapacity LCR mostom QuadTech 7400 na 5 V

Na to, aby sme zistili ako správne meria samotný most, sme najprv vykonali merania okalibrovaného etalónu kapacity v potrebnom frekvenčnom rozsahu, čím sme zistili príslušné korekcie. **Graf 3a** reprezentuje meranie priebehu kapacity 10 pF etalónu kapacity LCR mostom na napätí 1 V, ktoré bolo aplikované i pri kalibrácii 10 pF etalónu kapacity. **Graf 3b** znázorňuje to isté meranie priebehu kapacity 10 pF etalónu kapacity LCR mostom v tom istom časovom rozpätí na napätí 5 V. **Graf 3c** znázorňuje meranie priebehu stratového činiteľa 10 pF etalónu kapacity LCR mostom na napätí 5 V [5]. Hodnoty pre výpočet ekvivalentného objemu mikrofónu sa použili z meraní získaných meraním 10 pF etalónu na napätí 5 V. Z priložených grafov je vidieť nepatrný rozdiel merania pri rozdielnych napätiach, ako aj zachovanie priebehov meraní, uskutočnených v decembri 2006 až v máji 2007. Výsledky merania poukazujú na to, že LCR most Quadtech 7400 meria kapacitu na 250 Hz, a tým udáva hodnotu merania kapacity oveľa nižšiu, ako sú hodnoty na ostatných frekvenciách. Preto korekcia pri tejto hodnote bude kladná a zodpovedá hodnote asi $0,030 \text{ pF} \pm 0,015 \text{ pF}$. Hodnota stratového činiteľa pri 250 Hz má tiež inú polaritu ako kalibračné hodnoty na ostatných frekvenciách. Potvrdzujú to i ďalšie merania vykonané iný deň, ako aj merania vykonané pod iným napätím, naloženým na etalón kapacity. Merania sme vykonali v tej istej zostave počas roka 2007 [5], ako aj počas roka 2006 [4], čím sme verifikovali predchádzajúce merania. Frekvenčné závislosti tak kapacity, ako aj stratového činiteľa majú podobné priebehy. Korekcia pre 100 kHz predstavuje hodnotu $-0,017 \text{ pF} \pm 0,010 \text{ pF}$, a korekcia pre 400 kHz predstavuje hodnotu $-0,022 \text{ pF} \pm 0,010 \text{ pF}$, pričom korekcie okolo rezonančnej frekvencie mikrofónu s nominálnym priemerom 24 mm sú zanedbateľné ($-0,006 \text{ pF}$). Opäť z výsledkov meraní môžeme evidentne predpokladať, že chybu merania kapacity a stratového činiteľa spôsobuje samotný kapacitný most.

Prvky elektrických parametrov

Kalibráciou mosta sme zistili korekcie mosta na jednotlivých frekvenciách, ktoré sme aplikovali do ďalších meraní elektrických parametrov etalónových kondenzátorových mikrofónov pomocou mosta. Taktu sme premerali frekvenčnú závislosť sériovej kapacity akusticky skratovaného mikrofónu s nominálnym priemerom 24 mm vo frekvenčnom rozsahu od 1,5 kHz do 11 kHz. Frekvencia nad 100 kHz bola potrebná pri stanovení elektrickej impedancie pri zabrzdenej membráne, keď zotrvačná hmotnosť membrány už účinne bránila jej pohybu na týchto frekvenciách. Pomocou nej sa určila rezonančná frekvencia mikrofónu, ako aj hodnota stratového činiteľa membrány pri rezonančnej frekvencii. Metóda analytického výpočtu rezonančnej frekvencie je kontrolovateľná zistením tejto frekvencie

grafickou metódou. Z týchto meraní a výpočtom sme takto nepriamou metódou v ďalšom kroku zistili jednotlivé prvky so sústredenými parametrami, reprezentujúce akustickú impedanciu mikrofónov.

Prvky akustickej impedancie

Pre samotný výpočet prvkov akustickej impedancie so sústredenými parametrami, ako aj im zodpovedajúcim neistotám, a z nich vypočítateľného ekvivalentného objemu mikrofónu, bol vytvorený program v prostredí Excel. Výpočty sme vykonali pre oba etalónové kondenzátorové mikrofóny zo zostavy národného etalónu akustického tlaku, pričom výsledok je blízky hodnotám nameraným počas medzinárodných porovnávacích meraní v roku 1998 a v roku 2002. Výsledky meraní a výpočty vykazujú po rekalibráciách v roku 2006 výbornú zhodu s výsledkami týchto porovnávacích meraní, čím možno predpokladať, že unifikácia merania elektrických impedančných parametrov mikrofónov bola týmto zabezpečená [4].

Záver

Na určenie akustickej impedancie mikrofónu nepriamou metódou je potrebné zistiť rezonančnú frekvenciu a stratový činiteľ mikrofónu pri rezonančnej frekvencii. Tieto sa zisťujú meraním frekvenčnej závislosti kapacity a stratového činiteľa mikrofónu v širokom rozsahu a následne výpočtom. Presné merania na kapacitnom LCR moste berú v úvahu jeho kalibráciu s nadväznosťou na etalón kapacity a etalón stratového činiteľa. Takáto kalibrácia bola vykonaná v roku 2001 v PTB Braunschweig s rekalibráciou v ČMI Brno v roku 2006, nakoľko frekvenčné rozsahy potrebné pre laboratórium akustiky (od 250 Hz do 400 kHz) nezabezpečuje laboratórium kapacity SMU.

Literatúra

- [1] STN EN 61094-2:1992, Meracie mikrofóny. Časť 2.: Primárna metóda na tlakovú kalibráciu laboratórných etalónových mikrofónov metódou reciprocity
- [2] Brinkmann K., Obermayr K., Lager G.: Die Bestimmung des Druck-Lehrlauf-Übertragungsmaßes von 1-Zoll-Kondensatormikrofonen in der Physikalisch-Technische Bundesanstalt. PTB Bericht, März 1984
- [3] Šebok, J.: Pracovný postup na kalibráciu meracích mikrofónov PP č. 019/250/02, SMU Bratislava, december 2001, 53 s.
- [4] Šebok, J.: Národný etalón akustického tlaku na báze metódy reciprocity, Č. ú. 210160, Záverečná správa Úloha plánu výskumu a vývoja na rok 2006, SMU, Bratislava, január 2007
- [5] Šebok, J.: Národný etalón akustického tlaku v procese revízie, Č. ú. 210160, Záverečná správa Úloha plánu výskumu a vývoja na rok 2007, SMU, Bratislava, január 2008

Resumé

The goal of the article „Unification provision of the measurement of the electrical parameters of the standard condenser microphones with nominal diameter 24 mm by acoustics impedance determination with indirect method” is analysis of the provision of the traceability of the measurement apparatus and estimation correction values for indirect acoustics impedance measurement method. The equivalent volume of the microphone is evaluated using an electrical method for the resonance frequency and loss factor determination. The intercomparison of the acoustic impedance parameters of the laboratory standard microphones has shown small mutual deviation between the Slovak Institute of Metrology and the PTB Germany.



14th INTERNATIONAL ACOUSTICS CONFERENCE

XIV. MEDZINÁRODNÝ AKUSTICKÝ SEMINÁR

Kočovce, 1.-2. júna 2009

Zistenie ekvivalentného objemu meracích etalónových kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm.

RNDr. Ján Šebok, SMU Bratislava, Karloveská 63
sebok@smu.gov.sk

Úvod

Národný etalón akustického tlaku, realizovaný na báze modifikovanej metódy reciprocity, ktorým sa stanovuje citlivosť meracích etalónových kondenzátorových mikrofónov [1], je definíčne založený na akustickej impedancii. Jednou zo zložiek systému akustiky viazaných dvojíc mikrofónov je akustická impedancia mikrofónu, ktorá sa určuje nepriamou metódou výpočtom z meraní elektrických parametrov [2], [3], [4].

Pri nízkych akustických frekvenciách akustická impedancia mikrofónu predstavuje prevažne jeho ekvivalentný objem. Ekvivalentný objem mikrofónu, vyjadrený v komplexnom tvare, reprezentuje objem plynu, ktorý je uzavretý v tuhej dutine, podliehajúci adiabatickej stavovej zmene pri danej frekvencii, ktorej akustická impedancia je rovná akustickej impedancii mikrofónu. Tento ekvivalentný objem jedného z mikrofónov je pri referenčných podmienkach daný vzťahom:

$$V_{eq,1} = \kappa_{ref} \cdot p_{s,ref} / (j \cdot \omega \cdot Z_{a,1}), \quad (1)$$

kde κ_{ref} je pomer mernej tepelnej kapacity za stáleho tlaku k mernej tepelnej kapacite za stáleho objemu (koeficient adiabatickej expanzie) pri referenčných podmienkach podľa normy STN EN 61094-2:1992, $p_{s,ref}$ je statický tlak pri referenčných podmienkach, ω je uhlová frekvencia a $Z_{a,1}$ je akustická impedancia jedného z mikrofónov [1]. Ekvivalentný objem mikrofónu je možné vypočítať aj z rozdielu efektívneho objemu a predmembránového objemu, ktorý predstavuje krátka valcová dutina pred membránou [5].

Pre zistenie tlakovej citlivosti mikrofónu je nutné poznať akustickú prenosovú impedanciu systému väzbovej aktívnej komôrky a akusticky viazaných mikrofónov, ktorú je možné pri nízkych frekvenciách, keď je komôrka podstatne menšia ako dĺžka vlny, vyjadriť analyticky prostredníctvom akustickej prenosovej admitancie, rovnej súčtu akustických admitancií dvoch akusticky viazaných mikrofónov a akustickej admitancie meracej komôrky, ako

$$\frac{1}{Z_{a,12}} = \frac{1}{Z_{a,V}} + \frac{1}{Z_{a,1}} + \frac{1}{Z_{a,2}} = j \cdot \omega \cdot \left(\frac{V}{\kappa \cdot p_s} + \frac{V_{eq,1}}{\kappa_{ref} \cdot p_{s,ref}} + \frac{V_{eq,2}}{\kappa_{ref} \cdot p_{s,ref}} \right), \quad (2)$$

kde V je celkový geometrický objem komôrky, $V_{eq,1}$ a $V_{eq,2}$ sú ekvivalentné objemy mikrofónov 1 a 2 v komplexnom tvare, $Z_{a,V}$ akustická impedancia plynu uzavretého v dutine komôrky o geometrickom objeme V , daná $Z_{a,V} = \kappa \cdot p_s / j\omega V$, kde ω je uhlová frekvencia, p_s je statický tlak, κ je pomer merných tepelných kapacít za podmienok okolia v čase merania a κ_{ref} je pomer merných tepelných kapacít za referenčných podmienok.

Akustickú impedanciu mikrofónu možno tiež vyjadriť prvkami so sústredenými parametrami ako je akustická hmotnosť, akustická poddajnosť a akustický odpor, prípadne rezonančná frekvencia, ekvivalentný objem pri nízkych frekvenciách a stratový činiteľ membrány [1]. Prvky, rezonančnú frekvenciu a stratový činiteľ, získame meraním elektrickej admitancie mikrofónu, ktorý je zakončený štvrtvlnovým uzavretým vlnovodom na nižšie popísanom zariadení, ako aj meraním elektrickej impedancie pri zabrzdenej membráne pri dostatočne vysokých frekvenciách [2],[6].

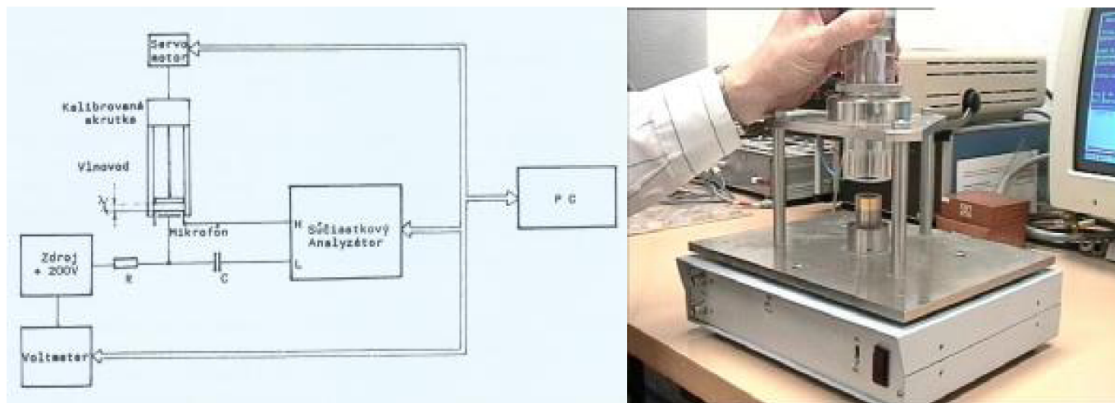
Zostava zariadenia na meranie impedančných parametrov a určenie ekvivalentného objemu

Základom doplnkového zariadenia na určenie akustickej impedancie, resp. elektrickej admitancie, elektrickou cestou je vlnovod, ktorým sa zakončuje akustický vstup meraného kondenzátorového mikrofónu, umiestneného v držiaku mikrofónu spolu so zdrojovou časťou. Vo vlnovode je nastaviteľná vzdialenosť medzi uzatváracím piestom a membránou mikrofónu na veľkosť $\lambda/4$, podľa frekvencie, pri ktorej sa robí meranie. Pri meraní sa rešpektujú parametre prostredia, najmä teplota a vlhkosť, od ktorých je závislé nastavenie vlnovej dĺžky pre danú frekvenciu. Impedančným analyzátorom, v našom prípade presným LCR kapacitným mostom (v obrázku označeným ako súčiastkový analyzátor), sa meria elektrická impedancia mikrofónu v závislosti od meracej frekvencie. Piest vo vlnovode predstavuje, pri správnom nastavení vzdialenosti medzi piestom a membránou na $\lambda/4$, akustický skrat vstupu mikrofónu. Analyzátorom sa meria frekvenčný priebeh sériovej kapacity a stratového činiteľa. Bloková schéma meracieho zariadenia na meranie elektrickej impedancie mikrofónov je znázornená na obrázku 1. Výpočtom sa určia prvky so sústredenými parametrami, z ktorých sa ďalším výpočtom určí ekvivalentný objem meraného mikrofónu [2], [3]. Meranie sa vykonáva vo frekvenčnom rozsahu od 250 Hz do 100 kHz.

Zariadenie na meranie elektrickej impedancie mikrofónov pri skratovanom akustickom vstupe mikrofónu tvorí [6]:

1. Prípravok so zdrojovou časťou a držiakom mikrofónu (uchytenie mikrofónu s tienením podľa normy STN EN 61094-1, vlastné vyhotovenie)
2. Vlnovod $\lambda/4$ (priemer 18,6 mm, dĺžka min. 80 mm, vlastné vyhotovenie) s mikrometrickou skrutkou Mitutoyo – vlastná kalibrácia (delenie stupnice – Kontroltech s.r.o.)
3. Posuvné meradlo Somet (rozšírená neistota 0,02 mm)- kalibrácia SLM, n.o.
4. Kapacitný most- presný LCR merač Quad Tech 7400- CE, (frekvenčný rozsah od 5 Hz do 500 kHz, neistota merania 0,1 %) – kalibrácia centrom SMU 240
5. Etalón kapacity 10 pF GR 1404-C neistota $\pm 0,005$ pF (resp. 47 pF Keithley Instruments Model 5905 diel 5900-301-5 neistota kapacity 0,05 %, neistota stratového činiteľa 0,0005) – kalibrácia ČMI Brno

6. Číslicový voltmeter DC Metra MIT 330 (200,00 V, neistota merania 0,01 V) – kalibrácia centrom SMU 240
7. Čítač frekvencie Tesla BM 641– kalibrácia centrom SMU 210
8. Dvojkanálový teplomer Testo 950 so snímačom teploty Pt 100 (merací rozsah od -100 °C do +300 °C, rozšírená neistota 0,02 °C) – kalibrácia centrom SMU 270
9. Merač vlhkosti Assmanov psychrometer– kalibrácia centrom SMU 270
10. Číslicový barometer DRUCK typ DPI-141 (rozsah od 80 kPa do 110 kPa s neistotou merania 15 Pa) – kalibrácia centrom SMU 220



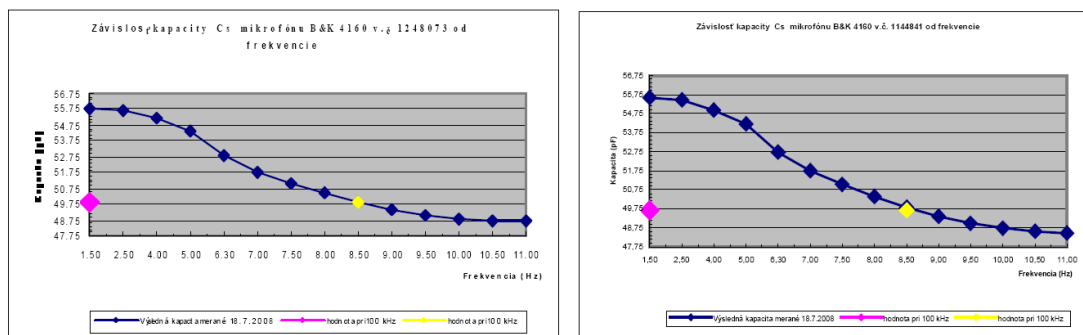
Obr.1 Schéma a snímok meracej zostavy na meranie elektrickej impedancie mikrofónov

Priebeh merania

Údaje pre výpočet akustickej impedancie (ekvivalentného objemu) mikrofónu pre meraný mikrofón, s nominálnym priemerom 24 mm, určíme meraním na zariadení na meranie elektrickej impedancie mikrofónu pri skratovanom akustickom vstupe mikrofónu (obrázok 1).

- 1) Najprv vykonáme kalibráciu kapacitného mosta a zistíme príslušné korekcie, následne
- 2) zmeriame parametre prostredia a hĺbku vnorenia piesta pre referenčnú nulovú hodnotu mikrometrickej skrutky. Výpočtom zistíme hodnotu korekcie nastavenia skrutky a tým zodpovedajúce nastavenia skrutky pre meraný frekvenčný rozsah a reálnu hodnotu štvrtvlny v závislosti od aktuálnych podmienok okolia.
- 3) Zmeriame hodnotu elektrickej sériovej kapacity a stratového činiteľa na elektrických svorkách mikrofónu pri frekvencii 250 Hz pri privedenom polarizačnom napätí a následne
- 4) frekvenčný priebeh týchto veličín v rozsahu od 1500 Hz do 11000 Hz. Pri meraní frekvenčného priebehu je akustická strana mikrofónu zaťažená valcovým vlnovodom $\lambda/4$ (pre každú frekvenciu sa nastavuje vlnová dĺžka $\lambda/4$ na vypočítanú hodnotu podľa aktuálnych podmienok okolia).
- 5) Meranie končí zmeraním kapacity mikrofónu pre frekvencii 100 kHz. Pri tejto frekvencii sa membrána chová ako zabrzdená.
- 6) Zo získaných výsledkov merania priebehu kapacity mikrofónu v závislosti od frekvencie sa buď graficky (Graf 1a, 1b) alebo výpočtom, podľa verifikovaného programu Vzor Ekvol 24 Vypocet.xls, určí rezonančná frekvencia mikrofónu a hodnota stratového činiteľa $\text{tg } \delta$ pri rezonančnej frekvencii. Frekvencia, pri ktorej nameraná hodnota kapacity, v oblasti do frekvencie 15 kHz, má rovnakú hodnotu ako kapacita mikrofónu pri 100 kHz, je rezonančnou frekvenciou. Pri tejto frekvencii odčítame tiež hodnotu stratového činiteľa $\text{tg } \delta$ [6].
- 7) Z nameraných hodnôt impedancie a zistenej rezonančnej frekvencie a jej prislúchajúcemu stratovému činiteľu sa vypočítajú náhradné akustické parametre mikrofónu.

Graf 1a, 1b Priebehy závislosti kapacity etalónových kondenzátorových mikrofónov od frekvencie



Podmienky merania

Pri meraní elektrických parametrov mikrofónu je potrebné zabezpečiť také podmienky merania, týkajúce sa hladiny hluku pozadia, aby sa získal potrebný odstup užitočného napätia od parazitných šumov, ktoré môžu spôsobiť väčší rozptyl hodnôt merania, prípadne znehodnotiť meranie, najmä pri frekvencii 250 Hz, keď sa meria kapacita a stratový činiteľ bez prítomnosti vlnovodu, nakoľko jeho dĺžka je nepostačujúca pre tak dlhú vlnovú dĺžku generovanej akustickej vlny. Hodnoty meraní kapacity pri tejto frekvencii sú preto udávané s väčšou neistotou merania cca $\pm 0,05$ pF oproti hodnote $\pm 0,006$ pF pri rezonančnej frekvencii. Táto hodnota má vplyv na určenie akustickej poddajnosti a akustického odporu výpočtom. Druhý extrém predstavuje presnosť merania na frekvencii 100 kHz, ktorá je ovplyvnená zvyčajne presnosťou kalibrácie meracieho zariadenia na tejto frekvencii, kde neistota merania kapacity je $\pm 0,007$ pF až $\pm 0,01$ pF. Tým je limitovaný rozsah určenia rezonančnej frekvencie, ktorý sa v dôsledku rôznej strmosti frekvenčnej závislosti kapacity mikrofónu môže líšiť až o stovky Hz. Z analýz meraní vyplýva potreba zabezpečiť také podmienky merania, aby boli dodržané maximálne prípustné hladiny hluku pozadia.

Zistenie ekvivalentného objemu výpočtom

Zo štvorpólovej rovnice mikrofónu a zo zjednodušenia vedúcich k náhradnej schémy mikrofónu možno vypočítať prvky so sústredenými parametrami podľa nasledovných vzťahov

$$c_a = \frac{C_{100\text{kHz}} \cdot C_{250\text{Hz}} \cdot M_{p\ 250\text{Hz}}^2}{C_{250\text{Hz}} - C_{100\text{kHz}}} \quad (3)$$

$$m_a = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{rez}})^2 \cdot c_a} \quad (4)$$

$$r_a = \frac{\left(\frac{C_{250\text{Hz}} - C_{100\text{kHz}}}{M_{p\ 250\text{Hz}} \cdot C_{250\text{Hz}}} \right)^2}{(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{rez}} \cdot C_{100\text{kHz}})^2 \cdot \frac{\text{tg } \delta}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{rez}} \cdot C_{100\text{kHz}}}} \quad (5)$$

kde m_a je akustická hmotnosť, c_a je akustická poddajnosť, r_a je akustický odpor, $C_{250\text{Hz}}$ a $C_{100\text{kHz}}$ sú kapacity na jednotlivých frekvenciách, f_{rez} je rezonančná frekvencia a $\text{tg } \delta$ je stratový činiteľ pri rezonančnej frekvencii [3]. $M_{p\ 250\text{Hz}}$ je citlivosť mikrofónu pri frekvencii 250 Hz, ktorú zistíme porovnávacím meraním príslušného mikrofónu s etalónovým. Presnosť

prvkov m_a , c_a , r_a je daná neistotou merania kapacity a stratového činiteľa vo frekvenčnom rozsahu od 250 Hz do 100 kHz.

Ekvivalentný objem má komplexnú hodnotu a vypočítava sa zo vzťahu

$$V_{eq} = \frac{-\kappa \cdot p_s \cdot \left(\omega^2 \cdot m_a - \frac{1}{c_a} \right) - j \cdot \kappa \cdot p_s \cdot \omega \cdot r_a}{\left(\omega^2 \cdot m_a - \frac{1}{c_a} \right)^2 + \omega^2 \cdot r_a^2} \quad (6)$$

Frekvenčná závislosť ekvivalentného objemu mikrofónu sa prejavuje pri frekvenciách nad 1000 Hz. Tým sa komplikuje aj stanovovanie neistôt určenia ekvivalentného objemu na týchto frekvenciách. Z predchádzajúcich meraní v laboratóriu a z porovnávacích meraní v zahraničí možno súčasnú neistotu stanovenia ekvivalentného objemu odhadnúť na 10 mm^3 .

Výsledky merania a výpočtov

V Tabuľke 1 sú uvedené nominálne hodnoty niektorých parametrov, ktoré špecifikoval výrobca mikrofónov.

Tabuľka 1. Hodnoty uvedených parametrov etalónových kondenzátorových mikrofónov špecifikované výrobcom

Typ B&K 4160	1248073	1144841
Kapacita mikrofónovej vložky	56,0 pF	55,8 pF
Rezonančná frekvencia	8,5 kHz	8,5 kHz
Ekvivalentný objem	0,15 cm ³	0,14 cm ³

Potvrdenie správnosti výsledkov s najvyššou mierou zabezpečuje až medzinárodné porovnávacie meranie. Výsledky medzinárodného porovnania zložiek impedančných parametrov etalónových kondenzátorových mikrofónov B&K 4160 v. č. 1248073 a v. č. 1144841, ktoré sú súčasťou národného etalónu akustického tlaku SNE č.019/99, pri referenčných podmienkach - statickom tlaku 101325 Pa, teplote 23 °C, polarizačnom napätí 200 V a frekvencii 250 Hz sú v tabuľke 2. Merania boli vykonané v rokoch 1997 a 1998 v rámci EUROMET Projectu P 399 (EU.AUV.A-K1) [5].

Tabuľka 2. Impedančné parametre etalónových mikrofónov B&K 4160 namerané počas medzinárodných porovnávacích meraní v rokoch 1997 a 1998

Laboratórium	Certifikát č.	Mikrofón B&K 4160 1248073			Mikrofón B&K 4160 1144841		
		Ekvivalentný objem (mm ³)	Efektívny objem (mm ³)	Predmembránový objem (mm ³)	Ekvivalentný objem (mm ³)	Efektívny objem (mm ³)	Predmembránový objem (mm ³)
SMÚ Bratislava	č.9/233/98	131 ± 10	667 ± 10	536 ± 10	132 ± 10	662 ± 10	530 ± 10
PTB Braunschweig	č.1.41-17365/97	124	661	537	127	659	532
DPLA Kopenhagen	č.M1.00-0158-3.2	129	666	537	130	666	536

Neskoršie merania etalónových mikrofónov SMU Bratislava typu B&K 4160 z roku 2002 v rámci porovnávacieho merania s PTB Braunschweig (CCAUV.COOMET.AUV.A-K1) potvrdili dobrú zhodu s predošlými meraniami. Vypočítaná hodnota ekvivalentného objemu pre mikrofón B&K 4160 v.č.1248073 bola 131 mm³ s neistotou $U_{rel} = 10 \%$ a pre mikrofón B&K 4160 v.č.1144841 bola 132 mm³ s neistotou $U_{rel} = 10 \%$. Databáza vstupných údajov s jednotlivými parametrami je uvedená v Tabuľke 3 [6].

Tabuľka 3. Namerané hodnoty v SMU použité v databáze z medzinárodného porovnávacieho merania CCAUV.COOMET.AUV.A-K1z roku 2002

Typ B&K 4160	1248073	1144841
Kapacita mikrofónovej vložky pri 250 Hz	55,96 pF	55,73 pF
Kapacita mikrofónovej vložky pri 100 kHz	49,87 pF	49,65 pF
Rezonančná frekvencia	8,1 kHz	8,23 kHz
Stratový činiteľ membrány pri rezonančnej frekvencii	0,0985	0,0983
Efektívny objem	0,662 cm ³	0,662 cm ³

Súčasnú hodnotu merania akustických impedančných parametrov meracích etalónových kondenzátorových mikrofónov typu LS 1 sú uvedené v Tabuľke 4 [6].

Tabuľka 4. Akustické impedančné parametre meracích mikrofónov typ B&K 4160

	Mikrofón B&K 4160 1248073		Mikrofón B&K 4160 1144841	
Rezonančná frekvencia	8,1 kHz	$U_{frel} = 1,5 \%$	8,23 kHz	$U_{frel} = 1,5 \%$
Stratový činiteľ membrány	0,0985 (-)	$U_{igrrel} = 13 \%$	0,0983 (-)	$U_{igrrel} = 13 \%$
Akustická poddajnosť	$8,65 \cdot 10^{-13} \text{ m}^4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2$	$U_{crel} = 3 \%$	$8,78 \cdot 10^{-13} \text{ m}^4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2$	$U_{crel} = 3 \%$
Akustická hmotnosť	446 m ⁴ kg	$U_{mrel} = 8 \%$	426 m ⁴ kg	$U_{mrel} = 8 \%$
Akustický odpor	$2,51 \cdot 10^6 \text{ m}^4 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$	$U_{rrel} = 12 \%$	$2,45 \cdot 10^6 \text{ m}^4 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$	$U_{rrel} = 12 \%$
Ekvivalentný objem	$1,23 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$	$U_{veqrel} = 8 \%$	$1,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$	$U_{veqrel} = 8 \%$
Predmembránový objem	$5,41 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$	$U_{veqrel} = 2 \%$	$5,38 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$	$U_{veqrel} = 2 \%$

V minulosti sa meranie vykonávalo s neistotou určenia ekvivalentného objemu okolo 15 mm³. Neistota určenia ekvivalentného objemu v súčasnosti sa zmenou prístrojového vybavenia znížila na 10 mm³, čo v relatívnom vyjadrení predstavuje pri mikrofónoch s nominálnym priemerom 24 mm neistotu 8 %, avšak pri nepriaznivých podmienkach okolia a nesprávnej kalibrácii zariadenia môže vzrásť a dosiahnuť hodnotu 15 mm³ až 20 mm³.

Literatúra

[1] STN EN 61094-2:1992, Meracie mikrofóny. Časť 2.: Primárna metóda na tlakovú kalibráciu laboratórných etalónových mikrofónov metódou reciprocity.; [2] Šebok,J: Zabezpečenie unifikácie merania elektrických parametrov meracích kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm pri určovaní akustickej impedancie nepriamou metódou, In: Hluk a kmitanie v praxi : Zborník referátov z XIII. medzinárodného akustického seminára, 2.-3. júna 2008, Kočovce, s.101-106.; [3] Brinkmann K., Obermayr K., Lager G.: Die Bestimmung des Druck-Lehrlauf- Übertragungsmaßes von 1-Zoll-Kondensatormikrofonen in der Physikalisch-Technische Bundesanstalt. PTB Bericht, März 1984; [4] Salava,T: Measurement of the Acoustic Impedance of Standard Laboratory Microphones, The Acoustics Laboratory, Technical University of Denmark, Report no. 18, 1976; [5] Šebok,J: Meranie efektívneho objemu etalónových kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm, In: Hluk a kmitanie v praxi : Zborník referátov z VIII. medzinárodného akustického seminára, 2.-3. júna 2003, Kočovce, s.75-78.; [6] Šebok,J: Národný etalón akustického tlaku, číslo etalónu 019/99. Súhrnná správa pre revíziu národného etalónu akustického tlaku, Bratislava, marec 2009, 159 s.

Resumé

The goal of this contribution „**The determination of the equivalent volume of the standard condenser microphones with nominal diameter 24 mm**” is mention on the equipment and method employed in the SMU Bratislava as well as results of the intercomparison measurements. Lumped parameters, representing acoustic impedance, are obtained through an indirect method based upon the measurement of the electrical admittance of the microphone, by means of a capacitance bridge, while the microphone is acoustically terminated with a closed quarter-wavelength tube. The values of the equivalent volume are calculated. The mutual deviation of the equivalent volume of the laboratory standard microphones from the intercomparison measurements the sensitivity of microphones between the Slovak Institute of Metrology and the PTB Germany and the DPLA Denmark have show of less than 10 mm³.



**15th INTERNATIONAL
ACOUSTICS
CONFERENCE**

**XIV. MEDZINÁRODNÝ
AKUSTICKÝ
SEMINÁR**

Kočovce, 31. máj -1. jún 2010

**Postavenie NE akustického tlaku SMU Bratislava z hľadiska
medzinárodných porovnávacích meraní**

Ján ŠEBOK, RNDr.

SMU, Slovenský metrologický ústav Bratislava
e-mail: sebok@smu.gov.sk

Tento článok nadväzuje na pôvodné články „Primárny etalón akustického tlaku SMÚ v systéme národných etalónov Európy“ a “Metóda reciprocity s aktívnou komôrkou v SMU v konfrontácii s metódami akustických laboratórií euroregiónu“ uvedených v rokoch 2004 a 2005 v zborníku referátov z Medzinárodného akustického seminára, Kočovce [1], [2]. Bližšie špecifikuje záverečné výsledky posledných dvoch medzinárodných porovnávacích meraní etalónových kondenzátorových meracích mikrofónov typu LS1P, a tým určuje význam a postavenie NE akustického tlaku SMU Bratislava v systéme etalónov ostatných krajín.

Úvod

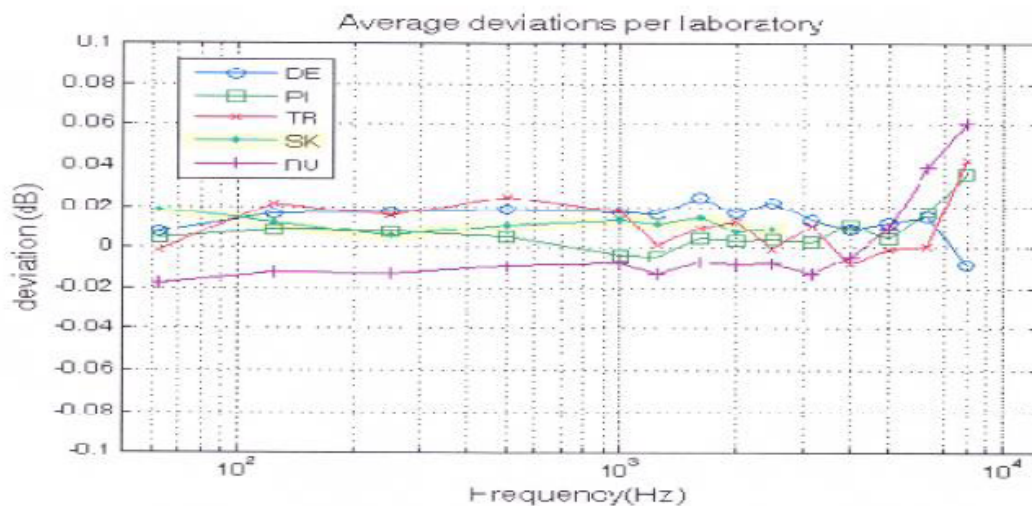
NE – národný etalón reprezentuje etalón prijatý rozhodnutím kompetentného národného orgánu krajiny, aby slúžil ako základ na odovzdanie hodnôt iným etalónom príslušnej veličiny. Primárny etalón je určený alebo všeobecne uznávaný ako etalón s najvyššími metrologickými kvalitami, a ktorého hodnota je akceptovaná bez odvolania sa na etalóny tej istej veličiny. Na tento etalón sa nadväzujú ostatné etalóny s nižšími metrologickými kvalitami. Z hľadiska medzinárodného je možné uskutočniť vzájomné porovnanie primárnych etalónov. Porovnávacie meranie je preto dôležité pre verifikáciu primárneho etalónu, t.j. potvrdenie správnosti daného etalónu a uvádzania výsledkov fyzikálnej veličiny, a pomocou ktorého je možné určiť zároveň mieru ekvivalencie vzájomného porovnania. Výsledky porovnania sú o to cennejšie, že NE akustického tlaku SMU Bratislava je jedinečný vo svete svojou svojpomocne postavenou konštrukciou a porovnáva sa s komerčne dodávanými etalónmi

ostatných krajín [3]. Je založený na modifikovanej metóde reciprocity v aktívnej komôrke vo vzdušnom prostredí s dvoma mikrofónmi a špeciálnymi mikrofónovými predzosilňovačmi, pomocou ktorej sa kalibráciou mikrofónov zisťuje ich hodnota tlakovej citlivosti, resp. hodnota hladiny tlakovej citlivosti.

Tento príspevok sa vracia k už oficiálne uverejneným výsledkom medzinárodného kľúčového porovnávacieho merania COOMET.AUV.A-K1 [5], ktoré nebolo doposiaľ možné, s uvedením jednotlivých participantov, oficiálne publikovať a k výsledkom kľúčového porovnania EUROMET.AUV.A-K1 [7], ktoré bolo neskôr prepojené s výsledkami kľúčového porovnania CCAUV.A-K1 na výslednú KCRV (key comparison reference value)- referenčnú hodnotu kľúčového porovnávacieho merania [6]. Napriek tomu, že samotné meranie v rámci Coometu prebehlo v roku 2002 výsledky boli zverejnené až v októbri 2008, zverejnenie výsledkov v rámci Eurometu bolo až v marci 2005 a samotné prepojenie na KCRV hodnotu celosvetového porovnania až v júli 2009 [8]. Istým spôsobom je v dôsledku takéhoto časového posunu každé primárne laboratórium nutné participovať na ďalších medzinárodných porovnávacích meraniach, pretože súčasný stav etalónov už nemusí zodpovedať stavu v čase vykonania týchto porovnávacích meraní. Záverečné správy a výsledky kľúčových porovnávacích meraní sú uvedené v databáze na stránkach BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) v Prílohe B pod <http://kcdb.bipm.org/AppendixB/>.

Výsledok porovnávacieho merania COOMET.AUV.A-K1

Naše predbežné vyhodnotenie frekvenčnej závislosti tlakovej citlivosti jedného z meraných mikrofónov, ako aj odchýlok hodnôt hladiny citlivosti jednotlivých laboratórií od referenčnej hodnoty získanej aritmetickým priemerom, ktoré sme uviedli na medzinárodnom akustickom seminári v Kočovciach v roku 2005, sa málo odlišuje od vyhodnotení pilotného laboratória PTB Braunschweig [2].

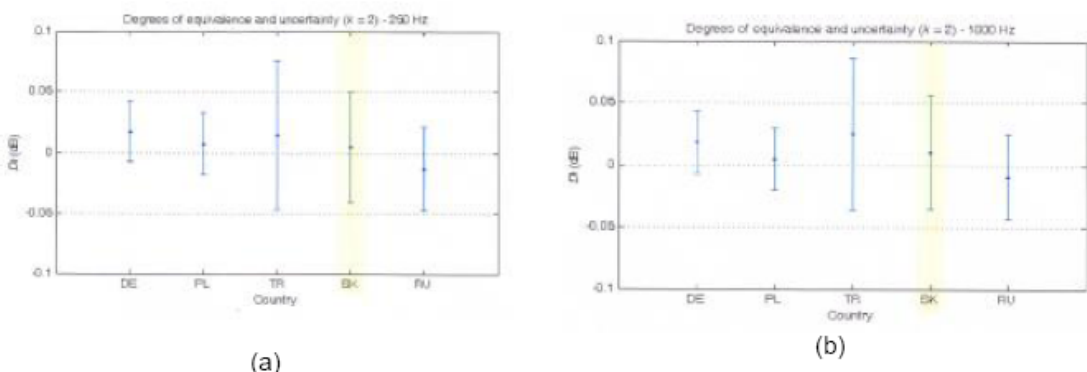


Graf 1 Stredná hodnota odchýlok pre jednotlivé laboratória.

Na Grafe 1 je znázornená stredná hodnota odchýlok stanovenia hladiny citlivosti dvoch kondenzátorových mikrofónov s nominálnym priemerom 24 mm, ktorá bola uverejnená pilotným laboratóriom v záverečnej správe medzinárodného porovnávacieho merania v rámci COOMETu [5]. Priebeh odchýlok hladiny citlivosti

vyhodnotených z meraní na NE akustického tlaku SMÚ Bratislava (SK) je vyznačený malými kosoštvorcami. Najväčšia odchýlka je 0,02 dB pri frekvencii 63 Hz, kde prevyšuje odchýlku ostatných laboratórií zapojených v tomto projekte, a to Ruska (RU), Turecka (TR), Poľska (PL) a Nemecka (DE). V ostatnom frekvenčnom pásme sú odchýlky našich meraní menšie a sú „priaznivejšie“ pre nás dokonca v porovnaní s výsledkami pilotného laboratória PTB Braunschweig (označené oválom), ktorých hodnota sa pohybuje tesne nad našou na línii 0,02 dB.

Pre lepšiu názornosť sa porovnal stupeň ekvivalencie pri frekvenciách 250 Hz a 1 kHz pre jednotlivé laboratória. Z Grafu 2 je evidentné, že hodnota stupňa ekvivalencie pri frekvencii 250 Hz je najmenej odchýlená od nulovej hodnoty pre laboratórium SMU (SK). Pri frekvencii 1 kHz je hodnota o málo väčšia. Hodnota 0 dB zodpovedá KCRV – referenčnej hodnote kľúčového porovnania.

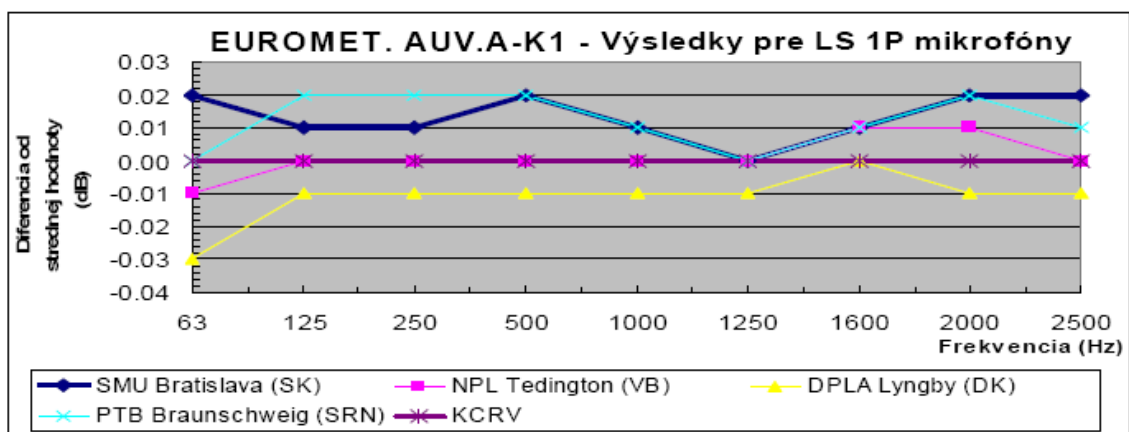


Graf 2 Stupeň ekvivalencie s hodnotou KCRV pri frekvencii (a) 250 Hz a (b) 1 kHz.

Z vyššie uvedených výsledkov je vynikajúce umiestnenie laboratória akustiky SMU v kľúčovom porovnávacom meraní COOMET.AUV.A-K1 zreteľné.

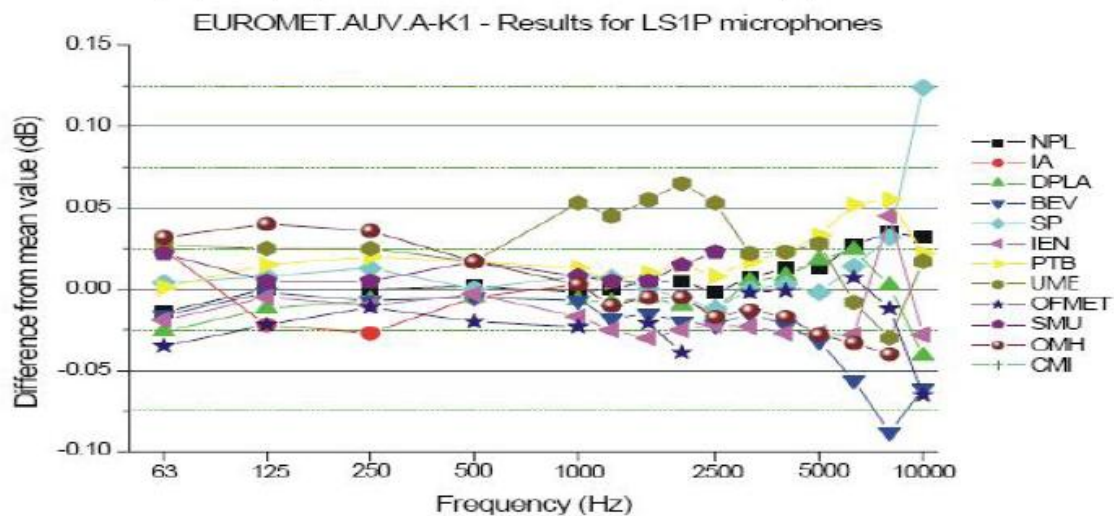
Výsledok porovnávacieho merania EUROMET.AUV.A-K1

Predbežné výsledky skoršieho porovnávacieho merania mikrofónov typu LS 1, vykonané ešte v rokoch 1997 a 1998 v rámci participácie na projekte EUROMET.AUV.A-K1, ktoré taktiež dopadli priaznivo, boli nami uvedené ešte v roku 2004 [1]. Graf 3 znázorňuje výsledok vyhodnotenia jednotlivých laboratórií v užšom frekvenčnom pásme od 63 Hz do 2500 Hz.



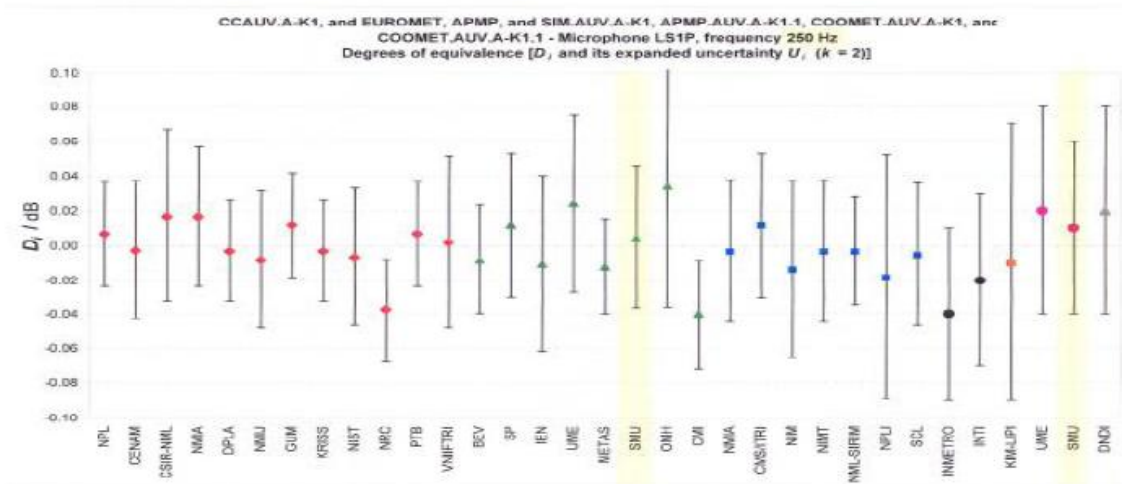
Graf 3 Stredná hodnota odchýlok jednotlivých laboratórií v projekte EUROMET.AUV.-K1

Celkový výsledok porovnania prezentovaný graficky (Graf 4), bol uvedený v záverečnej správe projektu Eurometu č. 399 z roku 2005 [8].

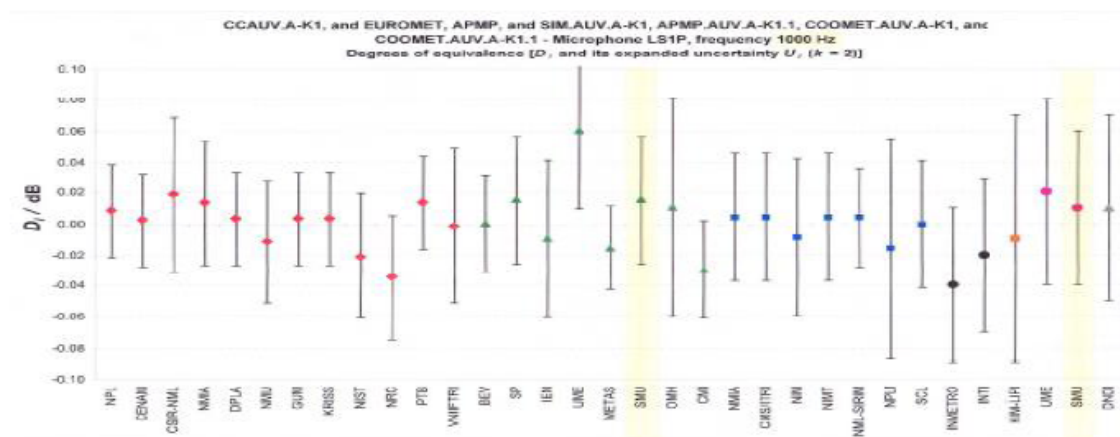


Graf 4 Výsledok porovnania mikrofónov typu LS1

Pre konečné celkové vyhodnotenie a stav NE akustického tlaku SMU Bratislava má nesmierny význam výsledný súhrn „linkovania“ - prepojenia sa na referenčnú hodnotu KCRV výsledkov meraní ostatných svetových laboratórií rôznych regionálnych zoskupení v rámci projektu CCAUV.AUV.AK-1, prostredníctvom vyššie uvedených porovnávacích meraní EUROMET.AUV.A-K1 a COOMET.AUV.A-K1, na ktorých sme participovali. Takéto súhrnne vyhodnotenie svetových laboratórií, ktoré sa zúčastnili meraní s etalónovými kondenzátorovými meracími mikrofónmi nominálneho priemeru 24 mm, vyšlo na stránkach BIPM v júli 2009 [9]. Opäť sú porovnávané výsledky meraní ohodnotených stupňom ekvivalencie a príslušnými neistotami pri frekvencii 250 Hz a pri 1000 Hz v nižšie uvedených Grafoch 5a a 5b. Iba dva štáty (okrem Austrálie), Turecko a Slovensko, majú uvedené dva výsledky v dôsledku zapojenia sa do medzinárodných meraní jednak v rámci Eurometu, ako aj v rámci Coometu.



Graf 5 a Stupeň ekvivalencie etalónov jednotlivých štátov pri frekvencii 250 Hz



Graf 5 b Stupeň ekvivalencie etalónov jednotlivých štátov pri frekvencii 1kHz

Výsledky merania v SMU znázornené vľavo sú z vyhodnotenia meraní v rokoch 1997 a 1998, ktoré sa konali medzi SMU Bratislava, PTB Braunschweig a DPLA Kodaň [7]. Vtedy pracoval etalón ešte s multimetrami vyrobenými v bývalej NDR (Nemeckej demokratickej republike). Po nákupe a výmene za multimetre HP 3458A nasledovalo v roku 2002 porovnávacie meranie v rámci Coometu [5]. Výsledky hodnôt stupňa ekvivalencie v oboch Grafoch 5a a 5b nás utvrdzujú v oprávnenosti použitia nami postaveného etalónu a v tom, že prenos veličiny hladiny akustického tlaku z primárneho, národného etalónu na etalóny nižších rádov je na Slovensku zabezpečený správne, čo zároveň posilňuje akceptovateľnosť nášho etalónu vo svete a podporuje dohody v rámci MRA medzi jednotlivými signatármi.

Kvôli špecifikácii jednotlivých krajín vynesenej na x osi sú nižšie uvedené jednotlivé metrologické ústavy zastúpené nasledovne:

NPL - National Physical Laboratory - Veľká Británia (UK), CENAM- Centro Nacional de Metrologia - Mexiko (MX), CSIR-NML- National Metrology Laboratory of South Africa - Južná Afrika (ZA), NMI – National Metrology Institute Australia – Austrália, DPLA – Danish Primary Laboratory for Acoustics – Dánsko (DK), NMU- Japonsko ((JP) predtým ETL (Electrotechnical laboratory), GUM- Glówny Urzad Miar - Poľsko (PL), KRIS- Korea Research Institute of Science and Standards- Korea (KR), NIST- National Institute of Standards and Technology - Spojené štáty americké (USA), NRC- National Research Council- Kanada (CA), PTB- Physikalisch- Technische Bundesanstalt- Nemecko (DE), VNIPTI- All Russian Scientific and Research Institute for Physical-Technical and Radiological Measurement- Ruská federácia (RU), BEV- Bundesamt fur Eichung - Rakúsko (A), SP- Swedisch National Testing and Research Institute - Švédsko (S), IEN- Istituto di Metrologia „G. Colonnetti“- Taliansko (I), UME – Ulusal Metroloji Enstitusu - Turecko(TK), METAS- Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation -Švajčiarsko (CH), SMU- Slovenský Metrologický Ústav - Slovensko (SK), OMH- Országos Mérésugyi Hivatal - Maďarsko (H), ČMI- Český Metrologický Institut - Česká republika (CS), CMS/ITRI- Center for Measurement Standards Industrial Technology Research Institute- Tchajwan, NIM- National Institute of Metrology- Čína (Beijing), NIMT- National Institute of Metrology (Thailand)- Thajsko, NML-SIRIM- National Metrology Laboratory SIRIM Berhad- Malajzia, NPLI- National Physical Laboratory- India, SCL – Standard and Calibration Laboratory- Hong Kong, INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia Normalizacio e Qualidade Industrial – Brazília, INTI- Instituto Nacional de Tecnologia Industrial – Argentína, KIM-LIPI- Research and Development Center for Calibration Instrumentation and Metrology – Indonézia a DNDI- State Scientific Research Institute DNDI Systema- Ukrajina.

Primárnymi štátnymi pomocou ktorých sa vzájomne porovnávali jednotlivé štáty boli Dánsko, Nemecko, Veľká Británia, Spojené štáty americké a Japonsko [6], [7].

Záver

Z výsledkov oboch meraní je evidentné, že sa výsledkami umiestňujeme v prvej tretine štátov, ktoré sú najbližšie k referenčnej hodnote kľúčového porovnania. Z týchto výsledkov, ktoré boli publikované a sú aj oficiálne zverejnené na stránkach BIPM vyplýva, že revízia etalónu je akceptovateľná [3]. Najväčším nedostatkom takéhoto systému "kontroly" stavu etalónu je časové opozdenie, s ktorým sa dozvedáme o tom, kde sa vlastne so správnou hodnotou veličiny nachádzame. V súčasnosti už to nemusí byť pravda, a preto neustále sledovanie stavu etalónu je nevyhnutné. K tomu je potrebné okrem neustáleho obnovovania prístrojovej základne aj dostatočné personálne zabezpečenie, vyplývajúce z povahy etalónu, ktorý je závislý od veľa fyzikálnych veličín. V inakšom prípade by sa stratila kontinuita dlhoročného zabezpečenia tejto technickej veličiny, ktorá je sledovaná celosvetovo i predpismi EHS a legislatívou vyúsťujúcou k stanoveniu viacerých určených meradiel v tejto oblasti. Akákoľvek snaha o „dovoz“ tejto veličiny by mala väčšie finančné následky na celom národnom hospodárstve štátu, ako je investícia vložená do uchovávanía tohto etalónu. Nesmie sa zabúdať hlavne na to, že táto veličina je dynamická a existuje iba v čase jej realizácie, tzn. nie je možné ju uchovávať v podobe etalónov artefaktov [4].

Literatúra

- [1] Šebok, J.: Primárny etalón akustického tlaku SMÚ v systéme národných etalónov Európy In: Hluk a kmitanie v praxi: Zborník referátov z IX. medzinárodného akustického seminára, Kočovce 2004. – ISBN: 80-227-2066-6, s. 97-102
- [2] Šebok, J.: Metóda reciprocity s aktívnou komôrkou v SMU v konfrontácii s metódami akustických laboratórií euroregiónu. In: Hluk a kmitanie v praxi: Zborník referátov z X. medzinárodného akustického seminára, Kočovce 2005. – ISBN: 80-227-2245-6, s. 73-78
- [3] Šebok, J. : Národný etalón akustického tlaku, číslo etalónu 019/99. Súhrnná správa pre revíziu národného etalónu akustického tlaku, SMU Bratislava, november 2009, s. 1-179.
- [4] Šebok, J. : Národný etalón akustického tlaku na báze modifikovanej metódy reciprocity. Záverečná správa úlohy plánu výskumu a vývoja na rok 2009 č. 21160-0, SMU Bratislava, január 2010, s. 9-14.
- [5] Fedtke, T.: Final report on key comparison COOMET.AUV.A-K1. Metrologia: 46 (2009), Tech.Suppl., 09004 [Online only], 30 S., (coomet.auv.a-k1_final_report.pdf)
- [6] Barham, R.: Report on key comparison CCAUV.A-K1 Final Report, NPL Report CAIR 02, August 2003, ISSN 1740-0953
- [7] Barham, R.: Euromet project 399. An international comparison of sound pressure standards, NPL Report DQL-AC-005, March 2005, (euromet.auv.a-k1_final_report.pdf)
- [8] The BIPM key comparison database, July 2009 (http://kcdb.bipm.org/AppendixB/appresults/ccauv_a-k1_july09.pdf)

Resumé

This contribution **The status of the SMU Bratislava sound pressure national standard in term of international comparison measurements** interlock on the previous papers with contributions "The primary standard the sound pressure of the SMU at the system of the Europe national standard" and "The reciprocity method with active coupler in the SMU face with other acoustic laboratories methods in the euroregion" referred to in the Proceedings of the International acoustic conference in Kočovce in the years 2004 and 2005. This article specifies the final results of the two last international comparative measurements of standard reference measurement condenser microphone type LS1P, recognizing the importance and status of sound pressure NS SMU Bratislava in the system of standards of other countries.

PodĎakovanie

Úprimné poďakovanie patrí všetkým účastníkom zapojeným v oboch projektoch medzinárodného porovnania, špeciálne spracovateľom záverečných správ Dr. Richardovi Barhamovi a Dr. Thomasovi Fedtkemu.