

Nadaljnje ugotovitve merjenja hrupa s pametnimi telefoni v SNG Nova Gorica

Franc Policardi^{1,2}, Martin Peternel¹

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Elektrotehniko, Tržaška cesta 25, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

²Università degli Studi dell'Aquila, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica, e Gestionale - Italy

E-pošta: franc.policardi@fe.uni.lj.si^{1,2}, martin5ernel@gmail.com¹

Ključne besede: pametni telefon, fonometer, hrup, meritve, mednarodni standardi, kalibracija

Further findings in noise measurements in SNG Nova Gorica through smart phones

Modern smart mobile telephones allow sound and noise measurements through free application use. In 2013 we tested Sound Meter application and smart phones noise measurement precision in Velika dvorana SNG Nova Gorica and although interesting results, some deficiencies appeared in measurement procedure. Experiments were revised during 2014 improving measurement approach, complying with international standards and determining how calibration procedure influences app reliability. Second measurement set includes 100Hz, 1kHz and 10kHz for 40, 70 and 85 dB SPL levels, allowing better app understanding. Findings show that noise and sound measurement through smart mobile phones before calibration differ up to -12/+40dB and after calibration up to -14/+44dB, showing calibration procedure bad influence on objective results. Frequency analysis shows small enough differences for calibration frequency 1kHz and basing on overall results we do not recommend smart phones as sound SPL and frequency measurement tools.

1 Uvod

Sodobne pametne mobilne telefone (PMT) s pomočjo brezplačnih aplikacij uporabljamo za številne dejavnosti, med drugim tudi za merjenje jakosti zvoka in hrupa. Leta 2013 smo izvedli poizkus in preverjali natančnost pametnih PMT v vlogi merilcev hrupa. Meritve smo izvaljali v veliki dvorani SNG Nova Gorica in ugotovitve 1. poizkusa so objavljene v [1]. Cilj 1. poizkusa je bila analiza meritev in pridobljenih podatkov ter primerjava teh s profesionalno opremo za merjenje jakosti zvoka. Z analizo 1. poizkusa smo prišli do določenih zaključkov, s katerimi smo se zavedali določenih napak in možnih izboljšav. Cilj 2. poizkusa je odpraviti pomanjkljivosti in si zagotoviti natančnejše rezultate v skladu z mednarodnimi standardi [3], [4] in [5].

2 Prvi Poizkus

Pri 1. poizkusu smo merili hrup na različnih pozicijah odra in parterja v veliki dvorani SNG Nova Gorica. Med meritvami so se kolegi s svojimi PMT v roki postavili

na poljubno pozicijo na odru in brez zvočnega vira merili hrup preko aplikacije Sound Meter (SM) [2]. Prvi set 5 meritev je potekal na odru, drugi set meritev smo izvajali v parterju, 3 krat pri odprti odrski zavesi in 3 krat pri zaprti. Pozicijo merjenja so študenti po vsaki meritvi naključno zamenjali. Kontrolne meritve so bile izvedene v skladu z mednarodnimi standardi [3], [4] in [5] preko kalibriranega profesionalnega fonometra v središču odra pri 1. in središču parterja pri 2. skupini meritev. Analiza rezultatov 1. poizkusa je pokazala na veliko raznolikost (do več kot 24dB) delovanja enake aplikacije na različnih PMT [1]. Obenem smo odkrili pomanjkljivosti pri izvedbi 1. poizkusa, katere smo letos odpravili.

2.1 Pomanjkljivosti prvega poizkusa

Cilj vsake meritve mora biti natančen opis realne situacije pod najboljšimi pogoji. Analiza 1. poizkusa je pokazala na napake pri izvajanju meritev oz.: 1) nestandardizirana drža merilne opreme, 2) študentje in gledališko ozvočenje so med merjenjem proizvajali šum, 3) vnaprej nedoločene pozicije izvajanja posameznih meritev, 4) neefektivno beleženje in zbiranje rezultatov in 5) neizvedena kalibracija aplikacije SM. Ugotovili smo tudi, da potrebujemo za dobro primerjavo aplikacije in profesionalne merilne opreme, poleg meritev hrupa tudi meritve pri različnih frekvencah ter jakostih signala (SPL).

3 Drugi poizkus

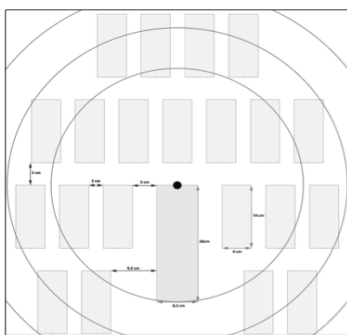
3.1 Izvedba in merilna oprema

Drugi poizkus smo zopet izvedli v veliki dvorani SNG Nova Gorica v sledečem vrstnem redu: 1) meritve hrupa z nekalibriranimi PMT, 2) kalibracija, 3) meritve hrupa s kalibriranimi PMT in 4) merjenje 3 glavnih frekvenc pri 3 jakostih. Meritve smo izvajali s 17 PMT različnih proizvajalcev, kateri so imeli naložen operacijski sistem Android. Vse meritve so izmerjene z aplikacijo SM, ki je brezplačno dosegljiva na spletni trgovini Google Play. Kontrolne meritve smo izvajali s profesionalnim fonometrom Rion NL-18 (class 1) [1]. Fonometer je bil pred poizkusom ustrezno kalibriran v skladu z mednarodnimi standardi [3], [4] in [5]. Da bi preprečili hrup, ki bi lahko nastajal zaradi potencialnega vibrirnjata lesenih tal, smo merilno opremo med merjenjem

postavili na posebej izdelano in oštevilčeno 5 mm tanko, mehko penasto podalگو. Ta je hkrati dovolj tanka in gladka, da akustične valove čim manj absorbira in odbija ter ne povzroča akustičnih senc. Debelino 5 mm smo izbrali, ker je enaka četrtini najvišje merjenje valovne dolžine 2 cm, oz. frekvence 17 kHz (1), katera je nad zgornjega limita občutljivosti PMT mikrofonov uporabljenih v poizkusu.

$$340\text{m/s} : 17\text{kHz} : 4 = 5\text{mm} \quad (1)$$

Referenčna točka RT meritev je membrana fonometra, okoli katere so narisani prostori za fonometer in PMT, vsak s svojo zaporedno številko. PMT so okoli membrane fonometra postavljeni v krogu, glede na razdaljo med RT in centrom spodnje stranice PMT (slika 1).



Slika 1: Podlaga

PMT so med seboj in od relativno debelega fonometra oddaljeni dovolj, da ne povzročajo neželenih akustičnih senc. Z oštevilčeno podlago smo si zagotovili da je bila med vsemi merjenji, kljub dviganju zaradi odčitavanja, oprema enako postavljena.

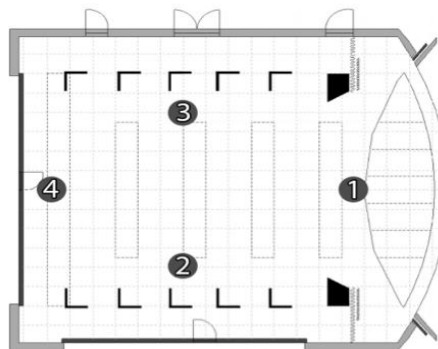
3.2 Postavitev opreme

Namen 2. poizkusa so natančne meritve hrupa v prostoru in primerjava med obnašanjem neprofesionalne merilne opreme s profesionalnim fonometrom pri zaznavanju hrupa. PMT in fonometer smo pri vseh meritvah usmerili proti parterju, ker nas bolj od hrupa na odru zanima hrup, ki ga zaznava občinstvo. Mednarodni standardi [3], [4], [5] in [6] narekujejo, da mora biti fonometer med merjenjem v pokončnem položaju. Zaradi prve predpostavke smo zmanjšali razdaljo med RT in PMT tako, da smo fonometer postavili v ležeč položaj. Natančni polarni odziv PMT mikrofonov je industrijska skrivnost, vemo le, da mikrofoni dobro zaznavajo glas govorca ter slabo signale iz okolice. S tem lahko sklepamo, da je smerna karakteristika vseh PMT mikrofonov enosmerna. PMT smo se zato odločili postaviti v ležeč položaj, s predpostavko, da se mikrofoni pri vsakem PMT nahaja na sredini spodnjega dela PMT.

3.3 Pozicije merilne opreme na odru

Pozicije meritev so bile določene vnaprej, kar je pospešilo izvajanje in olajšalo analizo rezultatov. Pozicija 1 se nahaja v ospredju odra, na vertikalni

sredini odra med zavesami. Poziciji 2 in 3 sta samo prezrcaljeni čez sredino odra in stojita levo in desno na vodoravni sredini odra (od zaves do zaves) z RT (mikrofonska membrana fonometra) oddaljeno 410 cm od stene. Pozicija 4 leži na sredini zadnje stene odra z RT od zadnje stene odmaknjena za 130 cm (slika 2).



Slika 2: Pozicije izvajanja meritev

Akustični vplivi na poziciji 1 prihajajo tako iz odra kot iz parterja: s tem si zagotovimo meritev hrupa kjer je med gledališko predstavo ponavadi največ dogajanja. Stene ob katerih ležita poziciji 2 in 3 so iz različnih materialov, kar bo verjetno lahko vplivalo na dobljene rezultate pri merjenju 3 frekvenc. Na poziciji 4 so akustični vplivi iz parterja minimalni.

3.4 Meritve hrupa

Meritve hrupa smo izvajali najprej z namenoma nekalibriranimi in kasneje s kalibriranimi PMT na vseh štirih pozicijah. Pri vsakem merjenju smo se za minuto odstranili iz dvorane in se s tem znebili neželenih шумov. Za razliko 1. poizkusa je bilo med meritvami ozvočenje v dvorani izklopljeno, s čimer smo si zagotovili najtišje akustične pogoje.

3.5 Beleženje rezultatov

Nekateri študenti so pri 1. poizkusu nepravilno ali nerazumljivo beležili rezultate; letos smo vnaprej izdelali obrazce, olajšali beleženje rezultatov in pospešili njihovo analizo. Na PMT SM samodejno zabeleži minimalno, povprečno in maksimalno izmerjeno vrednost. Potrebovali smo še način beleženja rezultatov fonometra. Fotoaparat na stojalu je celotno podlago snemal z višine in s tem zagotovil kompletno beleženje rezultatov. Med snemanjem fotoaparat ni oddajal nobenega šuma, prav tako ozke noge stojala niso vplivane na propagacijo akustičnih valov.

3.6 Rezultati pred kalibracijskim procesom PMT

Iz tabele 1 razberemo, da se občutljivost PMT na hrup pred kalibracijo močno razlikuje, saj je med najvišjo in najnižjo izmerjeno vrednostjo kar 52 dB (telefona 2 in 9). Od rezultatov fonometra posamezni telefoni odstopajo med -12 in 40 dB, razlika med skupnim povprečjem PMT in rezultatov fonometra je približno 12 dB.

Tabela 1: Meritev hrupa z nekalibriranimi PMT

	pred 1	pred 2	pred 3	pred 4
1	28	28	28	28
2	64	64	64	64
3	30	31	31	31
4	30	30	30	30
5	31	31	30	31
6	29	29	29	29
7	41	41	41	41
8	40	40	40	40
9	15	12	13	13
10	31	31	31	31
11	36	35	35	35
12	32	31	32	31
13	37	37	37	37
14	39	38	38	38
15	46	46	47	46
16	50	50	50	50
17	32	31	31	31
max-min	49	52	51	51
P	35,94	35,59	35,71	35,65
F	24,6	23,5	23,5	23,6
P-F	11,34	12,09	12,21	12,05

3.7 Kalibracijska procedura

Vpliv kalibracije smo ugotavljali s primerjavo rezultatov merjenja hrupa pred in po kalibraciji. Kalibracijo smo izvajali na frekvenci 1 kHz pri jakosti 94 dB. Jakost 94 dB je za kalibracijo primerna, ker je dovolj visoka, da preglasi potencialne hrupe v prostoru in dovolj nizka da ne povzroča motenj v merilni opremi. Utežni frekvenčni filtri so pri 1 kHz dovolj linearni in skupaj z jakostjo kalibracije ustrezata zahtevam mednarodnih standardov [3], [4], [5] in [6]. Referenčni mikrofoni je bil med kalibracijo od zvočnika oddaljen 1 m in pozicioniran na center ter usmerjen proti zvočniku. Mikrofone PMT smo pozicionirali neposredno ob mikrofoni fonometra v ležečem položaju in so bili usmerjeni proti zvočniku s spodnjim robom.

3.8 Rezultati kalibriranih PMT

Iz rezultatov kalibriranih PMT (tabela 2) razberemo, da se občutljivost na hrup razlikuje še v večji meri, kot pri meritvah pred kalibracijsko proceduro: razlika med najvišjo in najnižjo izmerjeno vrednostjo znaša presenetljivih 58 dB, kar je za 6 dB več kot vrednost pred kalibracijo.

Tabela 2: Meritev hrupa s kalibriranimi telefoni

	po 1	po 2	po 3	po 4
1	12	12	12	12
2	68	68	68	68
3	39	38	39	39
4	41	41	41	41
5	39	39	39	39
6	37	37	37	37
7	48	47	48	48
8	51	49	49	49
9	11	10	11	10
10	64	64	64	64
11	51	51	51	51
12	46	46	46	46
13	39	39	39	39
14	44	44	36	36
15	64	63	64	63
16	42	42	42	42
17	36	35	35	35
max-min	57	58	57	58
P	43,06	42,65	42,41	42,29
F	24,7	23,6	23,3	23,5
P-F	18,36	19,05	19,11	18,79

Od rezultatov fonometra posamezni PTM odstopajo med -13 in 44 dB. Povprečje PMT je od rezultatov fonometra višje za približno 19 dB, kar je 7 dB več kot pred kalibracijsko proceduro.

3.9 Meritev določenih frekvenc

Človeške zmogljivosti pri zaznavanju akustičnih frekvenc so standardizirane med 20 Hz in 20 kHz [6], vendar se najbolj pomemben razpon za razumevanje govora giblje okoli 1 kHz +/-1 dekada. Delovanje kalibrirane aplikacije smo želeli preizkusiti pri širokem frekvenčnem razponu, zato smo se odločili meriti pri srednji frekvenci 1 kHz, za PMT zelo nizki frekvenci 100 Hz in dovolj visoki frekvenci 10 kHz. 100 Hz smo izbrali, ker je najnižja osnovna frekvenca govora in ker jo zelo majhna membrana mikrofona vgrajenega v PMT še zaznava brez prevelikih popačenj. Frekvenca 1 kHz se nahaja na sredini uradnega frekvenčnega razpona govora med 250 Hz in 4 kHz in se nanjo mednarodni standardi sklicujejo že vsaj iz časov zgodovinskih raziskav Fletcherja in Munsona iz leta 1933 [7]. Frekvenco 10 kHz smo izbrali, ker se nahaja na zgornjem limitu govora in je nad njo zelo malo resno uporabnega signala. Omenjene frekvence smo predčasno ustvarili s programom Audacity in jih zapisali na zgoščenko z uzorčenjem 44.1 kHz in 16 bit. Frekvence smo predvidevali meriti pri jakostih 40, 70 in 100 dB, vendar je bil zvočnik prešibak, da bi proizvedel jakost zvoka 100 dB pri 100 Hz in 10 kHz; zato smo ti frekvenci merili pri 85 dB. Med merjenjem frekvenc je bila merilna oprema postavljena na 1. lokaciji, zvočnik je bil postavljen na sredini šeste vrste parterja naravnost pred merilno opremo. Da bi minimalno vplivali na akustične lastnosti prostora, smo vsi sodelujoči zapustili oder in rezultate zopet nadzirali preko fotoaparata. Analiza frekvenčnih meritev ne zajema PMT 3, 10, 12 in 13, ker so se jim med merjenjem izpraznile baterije.

3.10 Rezultati frekvenčnih meritev

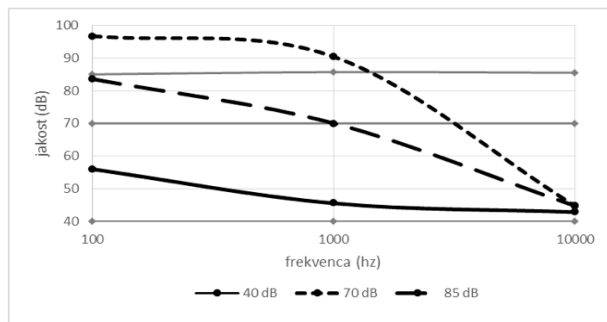
Pri večini frekvenčnih meritev se rezultati PMT med seboj močno razlikujejo, kakor tudi od referenčnega fonometra (tabela 3).

Tabela 3: Rezultati frekvenčnih meritev

	100 Hz			1.000 Hz			10.000 Hz		
dB	40	70	85	40	70	85	40	70	85
1	21	72	94	18	66	92	15	16	14
2	70	88	94	68	74	88	68	68	68
4	64	83	100	42	73	90	43	57	57
5	44	83	94	48	80	94	41	40	42
6	44	82	94	43	72	94	39	39	39
7	62	91	94	51	65	86	48	49	49
8	57	81	98	53	66	86	52	51	51
9	50	90	101	13	56	88	13	26	26
11	61	85	99	54	73	89	52	51	52
14	90	78	95	43	67	89	39	39	38
15	68	91	103	64	72	90	64	64	64
16	47	80	98	45	68	96	43	42	43
17	50	83	94	50	79	94	40	40	40
P	56	83,7	96,8	45,5	70,1	90,5	42,9	44,8	44,9
F	40	70	85	40	70	85,7	40	70	85,5

Pri frekvenci 100 Hz in referenčni jakosti 40 dB znaša razlika med posameznimi PMT kar 69 dB; povprečje se od rezultatov referenčnega fonometra razlikuje za 16 dB. Pri enaki frekvenci in jakosti 70 dB je razlika med

rezultati 19 dB, razlika med povprečjem in referenčnim fonometrom 13,7 dB. Pri jakosti 85 dB je razlika med rezultati 9 dB, razlika med povprečjem in referenčnim fonometrom 11,8 dB. Razlika med PMT pri frekvenci 1 kHz in jakosti 40 dB znaša 55 dB in zanimivo je, da se povprečje PMT od rezultatov fonometra razlikuje le za 5,5 dB. Pri enaki frekvenci in jakosti 70 dB je razlika med rezultati 24 dB, razlika med povprečjem in referenčnim fonometrom 0,1 dB. Pri jakosti 85,7 dB je razlika med rezultati 10 dB, razlika med povprečjem in referenčnim fonometrom 4,8 dB. Pri frekvenci 10 kHz in jakosti 40 dB znaša razlika med posameznimi PMT 55 dB; povprečje se od rezultatov referenčnega fonometra razlikuje za 2,9 dB. Pri isti frekvenci in jakosti 70 dB je razlika med rezultati PMT 52 dB; razlika med povprečjem in referenčnim fonometrom 25,2 dB. Pri jakosti 85,5 dB je razlika med rezultati PMT 54 dB; razlika med povprečjem in referenčnim fonometrom znaša 40,6 dB. Slika 3 prikazuje povprečno odstopanje med referenčnim fonometrom in PMT.



Slika 3: Odstopanje med referenčnim fonometrom in telefoni

4 Ugotovitve

Cilj 2. poizkusa je bil izboljšati merilni pristop, ugotoviti kako kalibracija vpliva na delovanje aplikacije SM, primerjati rezultate neprofesionalne in profesionalne opreme pri merjenju hrupa ter pri 3 glavnih frekvenc pri 3 jakostih. Z izkušnjami 1. poizkusa in boljšim predčasnim načrtovanjem meritev smo merilni pristop uspešno izpopolnili in si zagotovili natančne in kakovostne rezultate. Popravili smo vse napake oz.: 1) v poglavju 3.2, 2) v poglavju 3.4, 3) v poglavju 3.3, 4) v poglavju 3.5 ter 5) v poglavju 3.7.

Ugotovitve analize meritev hrupa pred kalibracijsko proceduro kažejo, da se dobljeni rezultati nekalibriranih PMT med seboj razlikujejo do 52 dB in v povprečju od referenčnega fonometra odstopajo do 12 dB.

V nasprotju z našimi pričakovanji so se po izvedbi kalibracijske procedure rezultati meritev hrupa poslabšali: razlika med posameznimi PMT se je povečala za 6 dB; razlika med skupnim povprečjem PMT ter rezultati fonometra za 7 dB (slika 3).

Z analizo frekvenčnih meritev smo ugotovili, da je neprofesionalna merilna oprema najbolj natančno merila frekvenco 1 kHz. Razlike med posameznimi PMT so pri tej frekvenci najmanjše pri najvišji jakosti merjenja (85,7 dB). Kalibracijo smo izvajali pri 1 kHz in 94 dB,

torej pri enaki frekvenci in zelo blizu jakosti najbolj natančnih frekvenčnih meritev.

Meritveni postopek 3 frekvenc se je kot pričakovano izkazal za bolj kompliciranega, saj smo se, zaradi potrebe zmanjšanja jakosti nezmogljivega zvočnega izvira, morali odločiti za jakost 85 dB namesto zaželenih 100 dB. Pri frekvenci 100 Hz je referenčni fonometer zabeležil točno 85 dB, pri frekvenci 1 kHz je referenčni fonometer zabeležil 85,7 dB in pri frekvenci 10 kHz je referenčni fonometer zabeležil 85,5 dB. Odstopanje med zaželeno jakostjo 85 dB do 85,7 dB je zelo majhno in v skladu s toleranco meritvenih postopkov [3], [4], [5] in [6].

Na podlagi analize rezultatov lahko trdimo, da aplikacija SM ni primerna za akustične meritve, saj na različnih PMT podaja zelo različne rezultate, ki se v večini primerov močno razlikujejo od rezultatov profesionalne merilne opreme. Kalibracija aplikacije zagotovi korektne rezultate samo kadar so pogoji meritev (frekvence in jakost merjenega signala) enaki pogojem kalibracije.

Zelo velika odstopanja (do 69 dB) med rezultati PMT opazimo pri frekvenčnih meritvah jakosti 40 dB. Pogovor preko PMT se ponavadi dogaja z zelo kratke razdalje, kar pomeni da je jakost signala pri mikrofONU visoka. Iz tega lahko sklepamo, da mikrofoni PMT dobro zaznavajo visoke jakosti in slabo nizke jakosti signala ter tako zajamejo čimveč govora in čimmanj hrupa iz okolice.

Rezultati frekvenčnih meritev pri jakosti 70 dB in 85 dB kažejo, da PMT precej natančno merijo frekvenci 100 Hz in 1 kHz; frekvenca 10 kHz je za razumljivost govora manj pomembna in so tu razlike med rezultati posameznih telefonov zelo velike, kar nas pripelje do ugotovitve, da uporabljajo visokopasovni frekvenčni filter.

5 Zahvala

Avtorji se iskreno zahvaljujejo vodstvu in zvočnim tehnikom SNG Nova Gorica za topel sprejem in konstruktivno sodelovanje pri izvajanju projekta in vsem kolegom iz VŠŠ MMK v Vrtojbi.

6 Literatura

- [1] F. Policardi, M. Peternel, *Merjenja hrupa s pametnimi telefoni v SNG Nova Gorica*, ERK 2013, 22th International Electrotechnical and Computer Science Conference, Portorož - Slovenija 2013;
- [2] Sound Meter, <http://androidboy1.blogspot.com/2010/11/smart-sound-ver-10-manual.html>, 17. junij 2014;
- [3] IEC 60942 – Electroacoustics & Sound calibrators, Genève 2003;
- [4] IEC 61672 Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications, Genève 2013, ISBN 978-2-8322-1087-1;
- [5] ISO Standard 1996-2: 2007, *Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of environmental noise levels*, Genève 2007;
- [6] ISO 3382 - Acoustics - Measurement of room acoustic parameters, Part 1, 2, 3, Genève 2008, 2009, 2013;
- [7] Fletcher, H. and Munson, W.A. "Loudness, its definition, measurement and calculation", *Journal of the Acoustic Society of America* 5, 82-108 (1933).