



Buka i vibracije – priručnik za laboratorijske vežbe

Momir Praščević

Darko Mihajlov

Univerzitet u Nišu, 2022.



BUKA I VIBRACIJE

Priručnik za laboratorijske vežbe

Momir Praščević

Darko Mihajlov

Ova publikacija je razvijena i štampana u okviru Erasmus+ projekta 598241-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP „Jačanje obrazovnih kapaciteta kroz izgradnju kompetencija i saradnje u oblasti inženjerstva buke i vibracija“, akronim SENVIBE

This publication is developed and printed as the part of Erasmus+ project 598241-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP „Strengthening Educational Capacities by Building Competences and Cooperation in the Field of Noise and Vibration Engineering“, acronym SENVIBE



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Univerzitet u Nišu
2022.

Prof. dr Momir Praščević, dipl. inž. el.
Prof. dr Darko Mihajlov, dipl. inž. maš.

BUKA I VIBRACIJE – priručnik za laboratorijske vežbe

Prvo izdanje 2022.

Na osnovu odluke Senata Univerziteta u Nišu, broj 8/16-01-003/22-034 od 16. 5. 2022. rukopis je odobren za štampu kao pomoćni udžbenik u kategoriji priručnika za laboratorijske vežbe.

Izdavač:

Univerzitet u Nišu
Niš, Univerzitetski trg 2

Za izdavača:

Prof. dr Dragan Antić, rektor Univerziteta u Nišu

Recenzenti:

Prof. dr Ivana Kovačić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu

Prof. dr Branko Radičević, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu

Tehnički urednik:

Autori

Štampa:

Atlantis doo Niš

Tiraž: 300

ISBN: 978-86-7181-115-6

SADRŽAJ

1. ODREĐIVANJE IZOLACIJE OD VAZDUŠNOG ZVUKA U TERENSKIM USLOVIMA.....	11
1.1 Teorijske osnove	13
1.1.1 Zvučna izolacija i izolaciona moć.....	13
1.1.2 Izražavanje izolacione moći jednim brojem	15
1.2 Postupak za određivanje izolacije od vazdušnog zvuka	19
1.2.1 Položaji izvora zvuka.....	21
1.2.2 Položaji mikrofona	21
1.2.3 Vreme usrednjavanja.....	22
1.2.4 Merenje vremena reverberacije.....	22
1.3 Merni lanac i povezivanje.....	23
1.4 Kalibracija mernog sistema	27
1.5 Podešavanje mernih instrumenata	30
1.5.1 Podešavanje merila nivoa zvuka 2270.....	30
1.5.2 Podešavanje pojačala snage 2734B	43
1.6 Postupak merenja	43
1.6.1 Simultano merenje L1&L2.....	43
1.6.2 Merenje pozadinske buke u prijemnoj prostoriji	44
1.6.3 Merenje vremena reverberacije u prijemnoj prostoriji.....	44
1.6.4 Prenos i obrada rezultata merenja.....	45
1.7 Zadatak	48
1.8 Literatura	48
1.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna	49
1.9.1 Očitane vrednosti sa merila nivoa zvuka 2270.....	49
1.9.2 Proračun građevinske izolacione moći.....	50
1.9.3 Proračun merodavne građevinske izolacione moći	54
1.9.4 Proračun članova za spektralnu korekciju.....	55
2. ODREĐIVANJE IZOLACIJE OD ZVUKA UDARA U TERENSKIM USLOVIMA.....	57
2.1 Teorijske osnove	59
2.1.1 Zvuk udara	59
2.1.2 Određivanje izolacije od zvuka udara.....	59
2.1.3 Izražavanje izolacije od zvuka udara jednim brojem	60

2.2 Postupak za određivanje izolacije od zvuka udara	62
2.2.1 Položaji izvora zvuka udara	63
2.2.2 Položaji mikrofona	64
2.2.3 Vreme usrednjavanja	64
2.2.4 Merenje vremena reverberacije	64
2.3 Merni lanac i povezivanje	65
2.4 Kalibracija mernog sistema.....	66
2.5 Podešavanje mernih instrumenata.....	66
2.5.1 Podešavanje merila nivoa zvuka 2270	66
2.5.2 Podešavanje pojačala snage 2734B	71
2.6 Postupak merenja	71
2.6.1 Merenje L2	71
2.6.2 Merenje pozadinske buke u prijemnoj prostoriji.....	71
2.6.3 Merenje vremena reverberacije u prijemnoj prostoriji	72
2.6.4 Prenos i obrada rezultata merenja	72
2.7 Zadatak	73
2.8 Literatura	73
2.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna	74
2.9.1 Rezultati merenja nivoa zvuka u prijemnoj prostoriji.....	74
2.9.2 Rezultati merenja nivoa pozadinske buke i vremena reverberacije	76
2.9.3 Rezultati proračuna standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara	77
2.9.4 Rezultati proračuna merodavnog standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara i člana za spektralnu korekciju	78
2.9.5 Grafički prikaz proračuna	79
3. MERENJE VREMENA REVERBERACIJE U SLUŠAONICAMA.....	81
3.1 Teorijske osnove	83
3.2 Metode za merenje vremena reverberacije u dvoranama za javne nastupe.....	84
3.2.1 Merenje vremena reverberacije metodom isključenja izvora buke.....	84
3.2.2 Položaji izvora zvuka	85
3.2.3 Položaji mikrofona	85
3.2.4 Merna nesigurnost.....	86
3.3 Merni lanac i povezivanje	86
3.4 Kalibracija mernog sistema.....	86
3.5 Podešavanje mernih instrumenata.....	87
3.5.1 Podešavanje merila nivoa zvuka 2270	87
3.5.2 Podešavanje pojačala snage 2734B	92

3.6 Postupak merenja	92
3.6.1 Priprema radne površine merila nivoa zvuka	92
3.6.2 Merenje i memorisanje rezultata merenja	93
3.6.3 Očitavanje mernih rezultata	94
3.7 Zadatak	95
3.8 Literatura	95
3.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna	96
3.9.1 Amfiteatar bez slušalaca – izmerene vrednosti	96
3.9.2 Amfiteatar sa slušaocima – izmerene vrednosti	97
3.9.3 Vreme reverberacije	98
4. ODREĐIVANJE ZVUČNE SNAGE IZVORA BUKE	101
4.1 Teorijske osnove	103
4.1.1 Pojam zvučne snage	103
4.1.2 Metode za određivanje zvučne snage	104
4.2 Standardizovane metode za određivanje zvučne snage	107
4.2.1 Inženjerska metoda za približno slobodno polje iznad refleksione ravni	108
4.2.2 Informativna metoda	113
4.3 Merni lanac i povezivanje	116
4.3.1 Merenje vremena reverberacije	116
4.3.2 Merenje zvučnog pritiska	116
4.4 Kalibracija mernog sistema	117
4.5 Podešavanje mernih instrumenata	117
4.5.1 Podešavanje mernih instrumenata za merenje vremena reverberacije	117
4.5.2 Podešavanje merila nivoa zvuka za merenje nivoa zvučnog pritiska	117
4.6 Postupak merenja	120
4.6.1 Merenje, memorisanje i očitavanje vremena reverberacije	120
4.6.2 Merenje, memorisanje i očitavanje nivoa zvučnog pritiska	120
4.7 Zadatak	123
4.8 Literatura	123
4.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna	124
4.9.1 Određivanje graničnog radijusa prostorije, apsorpcione površine prostorije i korekcije za okolinu	124
4.9.2 Određivanje zvučne snage inženjerskom metodom	125
4.9.3 Određivanje zvučne snage informativnom metodom	128
4.9.4 Određivanje zvučne snage metodom reverberacione prostorije	129

5. MERENJE I OCENA BUKE U RADNOJ SREDINI	133
5.1 Teorijske osnove	135
5.1.1 Buka kao profesionalna štetnost	135
5.1.2 Veličine za ocenu buke u radnoj sredini	135
5.1.3 Granične i akcione vrednosti nivoa dnevne izloženosti buci i kriterijumi za ocenu ...	136
5.1.4 Veličine za ocenu slabljenja lične zaštite opreme za zaštitu sluha.....	137
5.1.5 Procena efektivnosti korišćenja lične zaštitne opreme	138
5.2 Određivanje izloženosti buci u radnoj okolini	139
5.2.1 Merne strategije	139
5.2.2 Merna mesta	139
5.2.3 Strategija merenja zasnovana na radnim zadacima	140
5.2.4 Merna nesigurnost kod strategije merenja zasnovane na radnim zadacima.....	141
5.3 Merni lanac i povezivanje	142
5.4 Kalibracija mernog sistema.....	143
5.5 Podešavanje merila nivoa zvuka.....	143
5.6 Postupak merenja	143
5.7 Zadatak	144
5.8 Literatura	144
5.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna	145
5.9.1 Rezultati merenja	145
5.9.2 Dnevni nivo izloženosti buci za nominalni radni dan bez primene lične zaštitne opreme za zaštitu sluha	145
5.9.3 Dnevni nivo izloženosti buci za nominalni radni dan sa primenom lične zaštitne opreme za zaštitu sluha	147
6. MERENJE I OCENA VIBRACIJA ŠAKA-RUKA	149
6.1 Teorijske osnove	151
6.1.1 Vrste vibracija koje se prenose na čoveka	151
6.1.2 Veličine za ocenu vibracija šaka-ruka.....	151
6.1.3 Granične i akcione vrednosti vibracija šaka-ruka	153
6.2 Određivanje izloženosti vibracijama šaka-ruka	154
6.2.1 Montiranje akcelometra	154
6.2.2 Lokacija i orijentacija akcelometra	155
6.2.3 Vremenski interval merenja.....	155
6.3 Merni lanac i povezivanje	156

6.4 Kalibracija mernog sistema	158
6.4.1 Podešavanje napajanja	158
6.4.2 Podešavanje ulaznog signala	158
6.4.3 Podešavanje tipa merenja	158
6.4.3 Izbor tipa kalibracije	159
6.4.4 Kalibracija	159
6.5 Podešavanje analizatora	160
6.5.1 Podešavanje tipa merenja	160
6.5.2 Podešavanje jedinice za prikaz rezultata merenja	160
6.6 Merenje i očitavanje rezultata merenja	160
6.6.1 Postupak merenja	160
6.7 Zadatak	162
6.8 Literatura	162
6.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna	163
6.9.1 Rezultati merenja	163
6.9.2 Rezultati proračuna	166

PREDGOVOR

Publikacija **BUKA I VIBRACIJE – priručnik za laboratorijske vežbe** je nastala u okviru projekta „Jačanje obrazovnih kapaciteta kroz izgradnju kompetencija i saradnje u oblasti inženjerstva buke i vibracija“, čiji je akronim SENVIBE. Projekat SENVIBE pripada grupi Erasmus+ projekata namenjenih jačanju kapaciteta u visokom obrazovanju, finansira ga Evropska komisija, a koordinira Univerzitet u Novom Sadu. Širi cilj SENVIBE projekta je poboljšanje i izgradnja nacionalnih obrazovnih kapaciteta, saradnje i kompetencija u rešavanju inženjerskih pitanja vezanih za buku i vibracije u životnoj i radnoj sredini u skladu sa tekućim strategijama integracije u EU i potrebama identifikovanim u Srbiji.

Publikacija **BUKA I VIBRACIJE – priručnik za laboratorijske vežbe** predstavlja rezultat projektne aktivnosti 3.3 pod nazivom „Razvoj materijala za učenje“ u okviru radnog paketa „Razvoj modula i kurseva za različite inženjerske discipline“.

Potreba za ovakvom publikacijom je proistekla nakon modifikacije predmeta „Buka i vibracije“ koji se realizuje na Fakultetu zaštite na radu u Nišu na studijskom programu „Inženjerstvo zaštite na radu“. Predmet je modifikovan u okviru projektne aktivnosti 3.1 pod nazivom „Modifikacija postojećih predmeta“ i na taj način usklađen sa zajedničkim ciljevima i ishodima za studijske programe u okviru oblasti „Inženjerstva zaštite na radu“, koji su definisani u okviru projektne aktivnosti 1.2 pod nazivom „Definisanje ishoda učenja po meri studenata šest inženjerskih disciplina“. Modifikacijom predmeta „Buka i vibracije“ su po prvi put od njegovog uspostavljanja kao oblik nastave predviđene laboratorijske vežbe i to primenom laboratorijske opreme koja je nabavljena u okviru programske aktivnosti 2.2 pod nazivom „Nabavka, instaliranje i aktivacija opreme“ (osim laboratorijske vežbe broj 6).

Značajan doprinos u kreiranju ove publikacije su imale obuke na Institutu za buku i vibracije Univerziteta u Sautemptonu i na Kraljevskom tehnološkom institutu KTH u Stokholmu, realizovane u okviru projektne aktivnosti 2.3 pod nazivom „Obuka srpskih predavača i tehničara“. Autori ove publikacije se zahvaljuju predavačima na idejama za realizaciju laboratorijskih vežbi koje su dobili u toku obuka.

Publikacija obuhvata šest laboratorijskih vežbi. Svaka laboratorijska vežba sadrži: teorijske osnove tretiranog problema, kratak prikaz standardizovanih mernih postupaka, opise mernog lanca, povezivanja i podešavanja instrumenata, pregled literature, definisan zadatak za studenta, adekvatnu formu za beleženje mernih rezultata i obrasce za proračun potrebnih veličina.

Za izradu Publikacije su korišćeni materijali koje su autori ove publikacije pripremali u okviru realizacije pojedinih aktivnosti SENVIBE projekta.

Publikacija je namenjena studentima na studijskim programima u okviru oblasti „Inženjerstva zaštite na radu“, ali se preporučuje kao dodatna literatura i studentima iz ostalih oblasti inženjerskih nauka koji izučavaju probleme buke i vibracija.

Autori

PREFACE

The publication **NOISE AND VIBRATION – Laboratory Exercise Manual** was developed within the project "Strengthening Educational Capacities by Building Competences and Cooperation in the Field of Noise and Vibration Engineering", whose acronym is SENVIBE. The SENVIBE project belongs to the group of Erasmus+ projects aimed to encourage capacity building in higher education, funded by the European Commission and coordinated by the University of Novi Sad. The overall aim of the SENVIBE project is to improve and build national educational capacities, cooperation and competencies in solving engineering issues related to noise and vibration in the living and working environment in accordance with ongoing EU integration strategies and the needs identified in Serbia.

The publication **NOISE AND VIBRATIONS - Laboratory Exercise Manual** is the outcome of the project activity 3.3 "Development of learning materials" within the work package "Development of modules and courses for different engineering departments".

This publication appeared to be a much-needed resource after the modification of the course Noise and Vibration offered in the study programme Occupational Safety Engineering at the Faculty of Occupational Safety in Nis. The course modification was carried out during the project activity 3.1 "Redesign of existing courses" and thus harmonized with the common goals and outcomes of the study programmes within the field of Occupational Safety Engineering, which has been defined under project activity 1.2 "Defining tailor-made learning outcomes for students of six engineering department". The modification of Noise and Vibration course assumed the introduction of laboratory exercises, as a teaching method, where new laboratory equipment that was purchased under the activity 2.2 "Procure, install and activate the equipment" (except laboratory exercise number 6) was used for the first time.

The trainings at the Institute of Sound and Vibration Research (ISVR) at the University of Southampton and the KTH Royal Institute of Technology in Stockholm, realized within the project activity 2.3 "Training of Serbian teacher and technicians", made a remarkable contribution during the preparation of this publication. The authors would like to thank the lecturers for the ideas on laboratory exercises they shared during the trainings.

This publication comprises six laboratory exercises. Each laboratory exercise contains the following: theoretical basis of the given problem, a brief overview of standardized measurement procedures, descriptions of the measuring process, connecting and adjusting instruments, literature review, a task for the student, an appropriate framework for recording measurement results, and patterns for calculating required quantities.

Authors' materials developed during the implementation of SENVIBE project activities were used while preparing this publication.

To sum up, the publication is primarily intended for students at the study programmes of Occupational Safety Engineering; however, it is recommended as additional literature for students of other engineering fields who deal with the issue of noise and vibration.

Authors

ODREĐIVANJE IZOLACIJE OD VAZDUŠNOG ZVUKA U TERENSKIM USLOVIMA

1

1.1 Teorijske osnove

1.1.1 Zvučna izolacija i izolaciona moć

Pojam zvučne izolacije se definiše za prostorije koje su međusobno odvojene pregradnim zidom (sl. 1.1). Prostorija u kojoj se nalazi izvor zvuka naziva se *predajna prostorija*, dok se prostorija u koju se prenosi energija zvuka naziva *prijemna prostorija*.

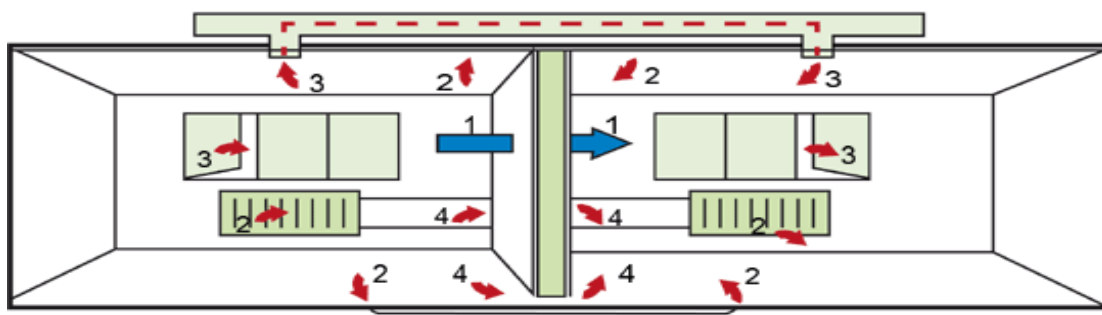
Zvučna izolacija, D [dB], predstavlja karakteristiku zvučne izolovanosti između dve prostorije i definiše se kao razlika nivoa zvuka u predajnoj i prijemnoj prostoriji:

$$D = L_1 - L_2, \quad (1.1)$$

gde je: L_1 – nivo zvuka u predajnoj prostoriji,

L_2 – nivo zvuka u prijemnoj prostoriji.

Energija zvuka koju generiše izvor zvuka u predajnoj prostoriji se prenosi iz predajne u prijemnu prostoriju različitim putevima koji su prikazani na sl. 1.1. Pored direktnog prenošenja kroz pregradni zid, postoje i putevi bočnog prenošenja energije: kroz bočne zidove prostorija, kroz bočne zidove na pregradni zid pa zatim u prijemnu prostoriju i kroz pregradni zid na bočne zidove pa u prijemnu prostoriju kroz ventilacione kanale, instalacije u prostorijama, prozore i sl. Ako se zanemari efekat bočnog provođenja, energija zvuka se iz predajne u prijemnu prostoriju prenosi samo direktnim putem kroz pregradni zid.



Izvor: <https://www.ets-insulation.com/services-Sound-insulation>

Sl. 1.1 Putevi prenošenja energije zvuka između dve prostorije [1]

Izvor zvuka, zvučne snage P_a [W], smešten u predajnoj prostoriji apsorbirane površine A_1 [m²], formira homogeno difuzno zvučno polje sa jednakim intenzitetom u svim tačkama:

$$I_1 = \frac{4P_a}{A_1}. \quad (1.2)$$

Energija koja u jedinici vremena padne u predajnoj prostoriji na pregradni zid površine S_{12} [m²], može se izračunati primenom jednačine:

$$P_1 = \frac{I_1 S_{12}}{4}. \quad (1.3)$$

Deo energije zvuka koji se direktnim putem prenosi u prijemnu prostoriju određen je koeficijentom prenošenja zvuka:

$$P_2 = \tau P_1. \quad (1.4)$$

Ulogu izvora zvuka u prijemnoj prostoriji preuzima pregradni zid čija je zvučna snaga P_2 . Pregradni zid, kao izvor zvuka, formira u prijemnoj prostoriji apsorpcione površine A_2 homogeno difuzno zvučno polje sa jednakim intenzitetom zvuka u svim tačkama:

$$I_2 = \frac{4P_2}{A_2}. \quad (1.5)$$

Energija zvuka koja se u jedinici vremena izrači u prijemnu prostoriju može se izračunati iz jednačine:

$$P_2 = \frac{I_2 A_2}{4}. \quad (1.6)$$

Odnos energija u jedinici vremena datih jednačinama (1.6) i (1.3) definiše koeficijent prenošenja zvuka:

$$\tau = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{I_2 A_2}{4}}{\frac{I_1 S_{12}}{4}} = \frac{I_2}{I_1} \frac{A_2}{S_{12}}.$$

Izolaciona moć (eng. *sound reduction index*) pregradnog zida jednaka je:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} = 10 \log \frac{I_1}{I_2} \frac{S_{12}}{A_2} = 10 \log \frac{I_1}{I_2} + 10 \log \frac{S_{12}}{A_2},$$

odakle se može izvesti veza izolacione moći sa zvučnom izolacijom:

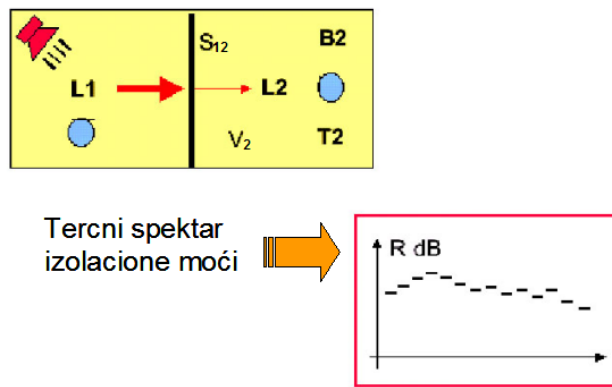
$$R = D + 10 \log \frac{S_{12}}{A_2}. \quad (1.7)$$

Metoda određivanja izolacione moći pregradnog zida je zasnovana na jednačini (1.7) i podrazumeva merenje sledećih veličina:

- nivoa zvučnog pritiska u predajnoj prostoriji, L_1 ,
- nivoa zvučnog pritiska u prijemnoj prostoriji, L_2 , i
- vremena reverberacije prijemne prostorije T_2 u cilju određivanja njene apsorpcione površine A_2 primenom Sabinovog obrasca.

Merenja se vrše primenom tercnih filtara sa centralnim frekvencijama u standardom definisanom frekvencijskom opsegu, najčešće od 100 do 3150 Hz, sa izvorom zvuka lociranim u predajnoj prostoriji (sl. 1.2). Izolaciona moć pregradnog zida se dobija iz modifikovane jednačine (1.7):

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S_{12} T_2}{0.162 \cdot V_2}. \quad (1.8)$$



Sl. 1.2 Merenje izolacione moći pregradnog zida [1]

Na rezultat merenja kod terenskog ispitivanja izolacione moći značajno utiču bočni putevi prenošenja (označeni sa 2, 3 i 4 na sl. 1.1), tako da se u takvim uslovima dobija izolaciona moć pregradnog zida sa bočnim provođenjem, tzv. građevinska izolaciona moć (eng. *apparent sound reduction index*). Građevinska izolaciona moć, R' , se definiše kao desetostruka vrednost dekadnog logaritma količnika upadne energije zvuka, W_1 , i zbira energije zvuka koja se prenosi direktno kroz pregradni zid (kroz poroznu strukturu pregradnog zida i vibriranjem pregradnog zida), W_2 , i energije zvuka koja se prenosi kroz bočne puteve prenošenja, W_3 :

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3} . \quad (1.9)$$

1.1.2 Izražavanje izolacione moći jednim brojem

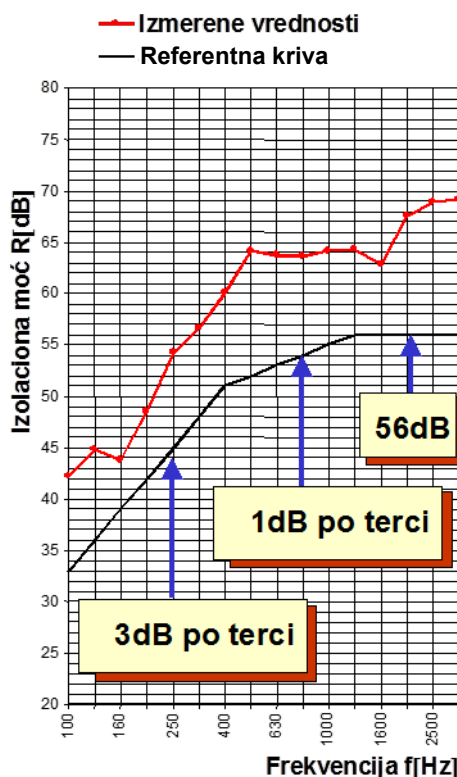
Izolaciona moć pregradnog zida je frekvencijski zavisna veličina. Merenjem ili proračunom se dobija kriva izolacione moći u funkciji frekvencije. U cilju ocene izolacione moći pregradnih zidova različitih konstrukcija, pogodnije je raspolagati jednim podatkom koji bi karakterisao izolacionu moć pregradnog zida. U tu svrhu se izolaciona moć pregradnog zida ocenjuje jednim brojem, postupkom koji je međunarodno standardizovan (SRPS EN ISO ISO 717-1 [2]) i zasnovan na upoređivanju krive izračunate ili izmerene izolacione moći pregradnog zida sa referentnom krivom (sl. 1.3). Izolaciona moć pregradnog zida se zaokružuje na prvu decimalu.

Za izražavanje izolacione moći pregradnog zida jednim brojem se definišu:

- ✓ ponderisana ili merodavna izolaciona moć, R_w , i
- ✓ ponderisana ili merodavna građevinska izolaciona moć, R'_w .

Referentna kriva ima oblik A-ponderacione frekvencijske krive. Kod nje se mogu uočiti tri oblasti sa različitim nagibima (sl. 1.3):

- 100 ÷ 400 Hz: porast 3 dB po terci,
- 400 ÷ 1250 Hz: porast 1 dB po terci,
- 1250 ÷ 3150 Hz: konstantna vrednost od 56 dB.



Sl. 1.3 Poređenje izračunate/izmerene izolacione moći sa referentnom krivom [1]

Posmatra se odstupanje krive izračunatih/izmerenih vrednosti izolacione moći od referentne krive. U opštem slučaju, mogu se uočiti dve oblasti:

- Oblast povoljnih (pozitivnih) odstupanja - vrednosti izračunate/izmerene izolacione moći su iznad referentne krive.
- Oblast nepovoljnih (negativnih) odstupanja - vrednosti izračunate/izmerene izolacione moći su ispod referentne krive.

Ako je zbir nepovoljnih odstupanja manji od 32 dB, referentna kriva se pomera naviše u koracima po 1 dB sve dok se ne zadovolji uslov utvrđen standardom: **zbir svih nepovoljnih odstupanja treba da bude manji od 32 dB, ali takođe treba da bude što je moguće bliži ovoj vrednosti [2].**

Ukoliko je zbir nepovoljnih odstupanja veći od 32 dB, referentna kriva se pomera naniže u koracima od po 1 dB sve dok se ne zadovolji prethodno navedeni uslov [2].

Merodavna izolaciona moć, R_w , ima vrednost pomerene referentne krive (koja zadovoljava definisani uslov za zbir nepovoljnih odstupanja) na 500 Hz.

Primer tabelarnog proračuna merodavne izolacione moći dat je u tabeli 1.1 [2]. Izračunavanje merodavne izolacione moći je zasnovano na poređenju izračunatih vrednosti izolacione moći pregradnog zida (2. kolona) sa vrednostima referentne krive (3. kolona). Razlika vrednosti je prikazana u 4. koloni. Kako je zbir nepovoljnih odstupanja (izračunate vrednosti manje od referentnih) 17,3 dB manji od 32 dB, referentna kriva se pomera za 1 dB naviše. Vrednosti tako pomerene krive (5. kolona) se porede sa izračunatim vrednostima. Razlika je data u 6. koloni. Zbir nepovoljnih odstupanja od 24 dB je ponovo manji od 32 dB, pa se referentna kriva pomera za još

1 dB naviše. Vrednosti tako pomerene krive (7. kolona) se ponovo porede sa izračunatim vrednostima izolacione moći. Nakon izračunavanja razlike (8. kolona), dobijeni zbir nepovoljnih odstupanja od 31.4 dB je približan 32 dB, čime je ispunjen uslov definisan standardom SRPS EN ISO 717-1 [2]. Provera ispunjenosti uslova je urađena pomeranjem referentne krive za još 1 dB, čime je dobijen zbir nepovoljnih odstupanja veći od 32 dB.

Merodavna izolaciona moć ima vrednost pomerene referentne krive na 500 Hz, koja zadovoljava uslov da je zbir nepovoljnih odstupanja manji, ali što je moguće više približan 32 dB:

$$R_w = 54 \text{ dB}.$$

Tabela 1.1 Proračun merodavne izolacione moći [1]

f [Hz]	R [dB]	S [dB]	$R - S$ [dB]	$S' = S + 1$ [dB]	$R - S'$ [dB]	$S'' = S + 2$ [dB]	$R - S''$ [dB]	$S''' = S + 3$ [dB]	$R - S'''$ [dB]
100	38.0	33.0	+5.0	34.0	+4.0	35.0	+3.0	36.0	+2.0
125	38.0	36.0	+2.0	37.0	+1.0	38.0	+0.0	39.0	-1.0
160	38.0	39.0	-1.0	40.0	-2.0	41.0	-3.0	42.0	-4.0
200	38.0	42.0	-4.0	43.0	-5.0	44.0	-6.0	45.0	-7.0
250	41.1	45.0	-3.9	46.0	-4.9	47.0	-5.9	48.0	-6.9
315	44.4	48.0	-3.6	49.0	-4.6	50.0	-5.6	51.0	-6.6
400	47.6	51.0	-3.4	52.0	-4.4	53.0	-5.4	54.0	-6.4
500	50.6	52.0	-1.4	53.0	-2.4	54.0	-3.4	55.0	-4.4
630	53.3	53.0	+0.3	54.0	-0.7	55.0	-1.7	56.0	-2.7
800	55.6	54.0	+1.6	55.0	+0.6	56.0	-0.4	57.0	-1.4
1000	57.8	55.0	+2.8	56.0	+1.8	57.0	+0.8	58.0	-0.2
1250	59.8	56.0	+3.8	57.0	+2.8	58.0	+1.8	59.0	+0.8
1600	61.8	56.0	+5.8	57.0	+4.8	58.0	+3.8	59.0	+2.8
2000	63.9	56.0	+7.9	57.0	+6.9	58.0	+5.9	59.0	+4.9
2500	65.9	56.0	+9.9	57.0	+8.9	58.0	+7.9	59.0	+6.9
3150	67.9	56.0	+11.9	57.0	+10.9	58.0	+9.9	59.0	+8.9
		$z = -17.3$		$z' = -24.0$		$z'' = -31.4$		$z''' = 40.6$	

Da bi bili uzeti u obzir različiti spektri izvora buke, uvedeni su članovi za spektralnu korekciju. Član za spektralnu korekciju C se koristi kada izvor buke ima spektar sličan A-ponderisanom spektru roze šuma, dok se član za spektralnu korekciju C_{tr} koristi kada izvor buke ima spektar sličan A-ponderisanom spektru drumskog saobraćaja.

Članovi za spektralne korekcije se ne uključuju u jednobrojne vrednosti za ocenu izolacije od vazdušnog zvuka, već se iskazuju odvojeno, kao npr:

$$R_w(C; C_{tr}) = 41(0; -5) \text{ dB}.$$

U tabeli A.1 standarda SRPS EN ISO 717-1 [2] dati su odgovarajući članovi za spektralnu korekciju za različite izvore buke.

Član za spektralnu korekciju C definisan je kao:

$$C = X_{A,1} - X_w, \quad (1.10)$$

gde je: X_w – jednobrojna veličina za ocenu izolacije od vazdušnog zvuka ($R_w, R'_w, \dots$);

$X_{A,1}$ – razlika A-ponderisanih nivoa zvuka u predajnoj i prijemnoj prostoriji za roze šum (spektar br. 1) kao izvor buke u predajnoj prostoriji:

$$X_{A,1i} = -10 \log \sum_i 10^{(L_{1i} - X_i)/10}, \quad (1.11)$$

i – indeks za tercne pojaseve od 100 Hz do 3150 Hz;

L_{1i} – vrednost nivoa spektra 1 za i -tu tercu (vrednosti date u tabeli 1.2);

X_i – vrednosti izračunate/izmerene izolacione moći ($R, R', \dots$) za i -tu tercu;

Član za spektralnu korekciju C_{tr} definisan je kao:

$$C_{tr} = X_{A,2} - X_w, \quad (1.12)$$

gde je: $X_{A,2}$ – razlika A-ponderisanih nivoa zvuka u predajnoj i prijemnoj prostoriji za drumski saobraćaj (spektar br. 2) kao izvor buke:

$$X_{A,2i} = -10 \log \sum_i 10^{(L_{2i} - X_i)/10}, \quad (1.13)$$

L_{2i} – vrednost nivoa spektra 2 za i -tu tercu (vrednosti date u tabeli 1.2).

Primer proračuna merodavne izolacione moći i članova za spektralnu korekciju je prikazan u tabeli 1.2.

Tabela 1.2 Primer proračuna merodavne izolacione moći i članova za spektralnu korekciju [3]

f [Hz]	R' [dB]	S' [dB]*	$R' - S'$ [dB]	L_1 [dB]	$L_1 - R'$ [dB]	$10^{(L_1 - R')} \times 10^{-5}$	L_2 [dB]	$L_2 - R'$ [dB]	$10^{(L_2 - R')} \times 10^{-5}$
100	25.4	28.0	-2.6	-29.0	-54.4	0.363	-20.0	-45.4	2.886
125	26.3	31.0	-4.7	-26.0	-52.3	0.588	-20.0	-46.3	2.340
160	33.4	34.0	-0.6	-23.0	-56.4	0.230	-18.0	-51.4	0.727
200	37.0	37.0	0.0	-21.0	-58.0	0.158	-16.0	-53.0	0.498
250	39.4	40.0	-0.6	-19.0	-58.4	0.145	-15.0	-54.4	0.364
315	41.5	43.0	-1.5	-17.0	-58.5	0.142	-14.0	-55.5	0.284
400	45.4	46.0	-0.6	-15.0	-60.4	0.091	-13.0	-58.4	0.144
500	46.1	47.0	-0.9	-13.0	-59.1	0.122	-12.0	-58.1	0.154
630	47.9	48.0	-0.1	-12.0	-59.9	0.102	-11.0	-58.9	0.128
800	48.7	49.0	-0.3	-11.0	-59.7	0.106	-9.0	-57.7	0.168
1000	48.8	50.0	-1.2	-10.0	-58.8	0.133	-8.0	-56.8	0.211
1250	48.3	51.0	-2.7	-9.0	-57.3	0.188	-9.0	-57.3	0.188
1600	53.9	51.0	2.9	-9.0	-62.9	0.051	-10.0	-63.9	0.040
2000	54.2	51.0	3.2	-9.0	-63.2	0.048	-11.0	-65.2	0.030
2500	49.7	51.0	-1.3	-9.0	-58.7	0.135	-13.0	-62.7	0.054
3150	47.3	51.0	-3.7	-9.0	-56.3	0.235	-15.0	-62.3	0.059
Suma nepovoljnih odstupanja:			-20.8		S1=	2.84		S2=	8.27
						-10logS1= 45	-10logS2= 41		
$R_w = 47$ [dB]						C= -2 [dB]	$C_{tr} = -6$ [dB]		

* Vrednost pomerene referentne krive koja zadovoljava uslov definisan standardom za određivanje merodavne izolacione moći.

1.2 Postupak za određivanje izolacije od vazdušnog zvuka

Standard SRPS ISO EN 16283-1 [4] utvrđuje postupak za određivanje izolacije od vazdušnog zvuka između dve prostorije u zgradama koji je zasnovan na merenju zvučnog pritiska. Postupak se primenjuje na prostorije zapremina od 10 m³ do 250 m³ u frekvencijskom opsegu od 50 Hz do 5 000 Hz. Sve veličine se mere korišćenjem terčnih filtera sa centralnim frekvencijama od 100 Hz do 3150 Hz. Dodatno se mogu uključiti terčni opsezi za niske frekvencije (50, 63 i 80 Hz) i visoke frekvencije (4000 i 5000 Hz).

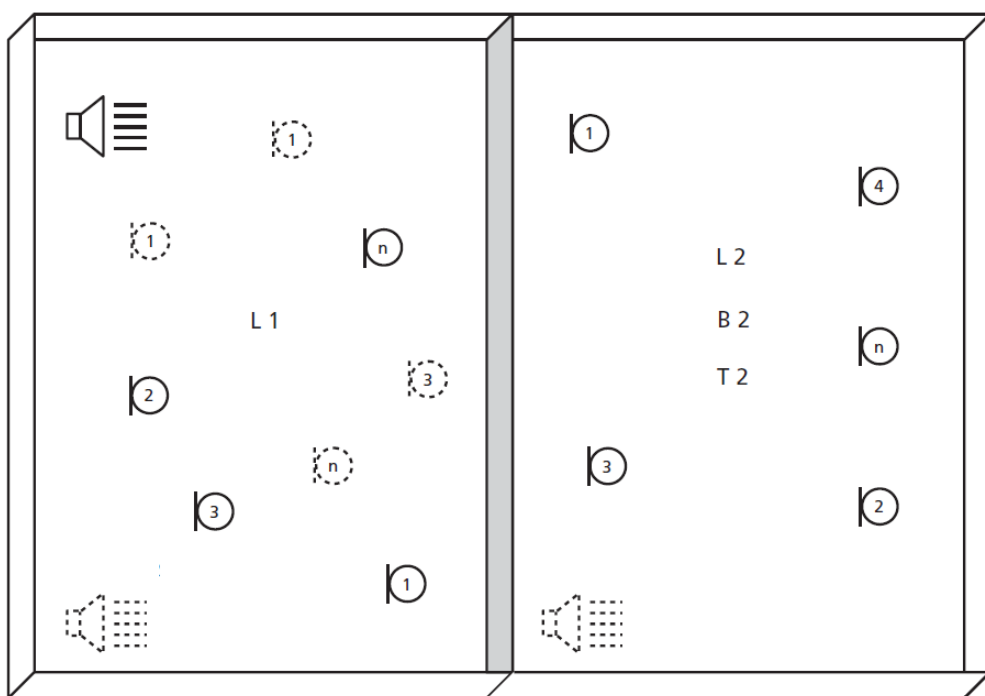
Određivanje izolacije od vazdušnog zvuka zahteva da se jedna prostorija izabere kao predajna i u nju se smešta jedan ili više izvora zvuka. Može se koristiti jedan izvor zvuka koji se pomera na različite položaje ili više izvora zvuka koji rade simultano. Druga prostorija se izabere kao prijemna prostorija.

Standardni postupak za frekvencijski opseg od 100 Hz do 3150 Hz podrazumeva sledeća merenja u centralnim zonama prostorija:

- merenje nivoa zvučnog pritiska u predajnoj i prijemnoj prostoriji,
- merenje nivoa pozadinske buke u prijemnoj prostoriji kada je izvor zvuka isključen, i
- merenje vremena reverberacije u prijemnoj prostoriji.

Za merenje nivoa zvučnih pritisaka i pozadinske buke se može koristiti jedan fiksni mikrofonski sistem koji se pomera sa položaja na položaj, niz mikrofona, mehanizovani kontinualno pokretni mikrofonski sistem, ili mikrofonski sistem kojim se vrši ručno skeniranje.

Tipična postavka položaja izvora zvuka i mikrofona je prikazana na sl. 1.4. U dodatku D standarda [4] su dati primeri pogodnih položaja izvora zvuka i mikrofona za horizontalna merenja, a u dodatku E za vertikalna merenja.



Sl. 1.4 Tipična postavka izvora zvuka i mikrofona [5]

Kada je zapremina predajne/prijemne prostorije manja od 25 m³ primenjuje se dodatni postupak za niske frekvencije od 50, 63 i 80 Hz. Pored merenja koje zahteva standardni postupak, vrše se dodatna merenja nivoa zvučnih pritisaka u uglu prostorija i primenjuje se postupak merenja vremena reverberacije za niske frekvencije.

Na osnovu merenja nivoa zvučnih pritisaka za različite položaje izvora zvuka i mikrofona, određuje se energijski srednja vrednost nivoa zvučnih pritisaka u predajnoj, L_1 , i prijemnoj prostoriji, L_2 :

$$L_{1/2} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right). \quad (1.14)$$

U prijemnoj prostoriji se određuje energijski srednja vrednost nivoa zvučnih pritisaka pozadinske buke i na osnovu te vrednosti se vrši korekcija energijski srednje vrednosti nivoa zvučnih pritisaka u prijemnoj prostoriji:

$$L_{2c} = 10 \log \left(10^{\frac{L_2}{10}} - 10^{\frac{L_{b2}}{10}} \right). \quad (1.15)$$

U prijemnoj prostoriji se meri vreme reverberacije i na osnovu izmerenih veličina se određuje građevinska izolaciona moć:

$$R' = L_1 - L_{2c} + 10 \log \frac{S_{12} T_2}{0.162 \cdot V_2}. \quad (1.16)$$

1.2.1 Položaji izvora zvuka

Za generisanje zvučnog polja u predajnoj prostoriji se koriste izvori zvuka koji rade simultano na najmanje dva položaja ili jedan izvor zvuka koji se pomera na barem dva položaja.

Rastojanje između izvora zvuka i graničnih površina mora da bude najmanje 0.5 m, odnosno 1 m kada je reč o pregradnom zidu.

Rastojanje između različitih položaja izvora zvuka mora da bude najmanje 0.7 m, a barem dva položaja treba da budu odvojena za 1.4 m.

Za merenje izolacije od vazdušnog zvuka poda, baza izvora zvuka u gornjoj prostoriji treba da bude udaljena barem 1 m od poda.

1.2.2 Položaji mikrofona

Za merenje nivoa zvučnih pritisaka i nivoa pozadinske buke mogu da se koriste:

- fiksni položaji mikrofona, ili
- promenljivi položaji mikrofona (mehaničko kontinualno pomeranje mikrofona ili ručno skeniranje).

Fiksni položaji mikrofona se koriste bez operatera ili sa operaterom, a mikrofoni se fiksiraju na stalku. U slučaju da je operater prisutan, mikrofoni treba da budu udaljeni od tela operatera barem za dužinu ruke.

Kada se za generisanje zvučnog polja u predajnoj prostoriji koristi više izvora zvuka koji rade simultano, koristi se najmanje pet položaja mikrofona u svakoj prostoriji.

Kada se za generisanje zvučnog polja koristi jedan izvor zvuka koji se pomera, koristi se najmanje pet položaja mikrofona u svakoj prostoriji za svaki položaj izvora zvuka.

U oba slučaja, položaji mikrofona moraju da budu raspoređeni unutar maksimalno raspoloživog prostora. Dva položaja mikrofona ne smeju da budu u istoj ravni u odnosu na granične površine prostorije, a položaji mikrofona ne treba da budu raspoređeni u obliku pravilne mreže. Rastojanje između fiksnih položaja mikrofona mora da bude najmanje 0.7 m. Položaji mikrofona moraju da budu udaljeni najmanje 0.5 m od bilo koje granične površine prostorije i najmanje 1 m od bilo kojeg položaja izvora zvuka.

1.2.3 Vreme usrednjavanja

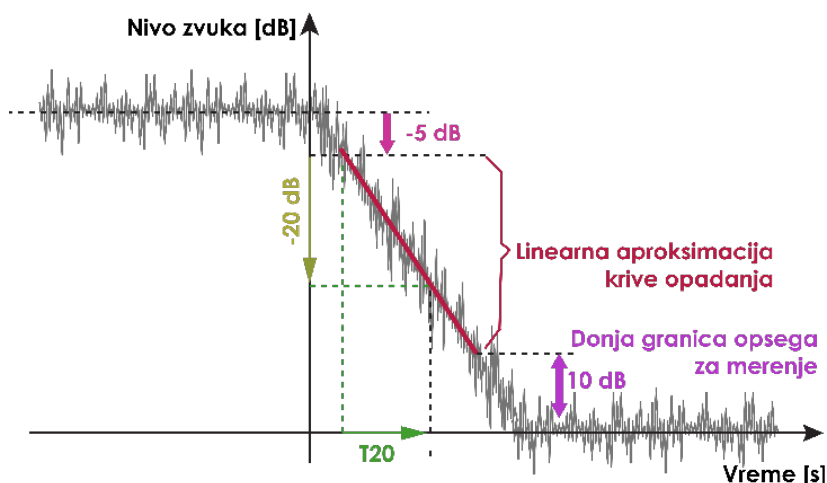
Prilikom merenja nivoa zvučnih pritisaka u predajnoj i prijemnoj prostoriji, vreme usrednjavanja mora da ima sledeće vrednosti u zavisnosti od frekvencijskog opsega:

- fiksni položaji mikrofona: najmanje 6 s (100 Hz ÷ 400 Hz), 4 s (500 Hz ÷ 5000 Hz) i 15 s (50 Hz ÷ 80 Hz), i
- promenljivi položaji mikrofona (mehaničko kontinualno pomeranje mikrofona ili ručno skeniranje: najmanje 30 s (100 Hz ÷ 5000 Hz), 60 s (50 Hz ÷ 80 Hz) uz obuhvat celog broja kompletnih putanja.

1.2.4 Merenje vremena reverberacije

Vreme reverberacije prijemne prostorije se meri primenom klasičnih metoda opisanih u SRPS EN ISO 3382-2 [6] ili novom metodom opisanom u SRPS EN ISO 18233. Može se koristiti metoda isključenja izvora zvuka ili metoda integrisanog impulsnog odziva.

Kod metode isključivanja izvora zvuka, ocena vremena reverberacije mora da počne 5 dB ispod početnog nivoa zvučnog pritiska. Preporučeni opseg za procenu je 20 dB, a donja granica opsega za ocenu treba da bude 10 dB iznad nivoa pozadinske buke (sl. 1.5).



Sl. 1.5 Smernice za merenje vremena reverberacije

Ukoliko je operator bio prisutan pri merenju nivoa zvučnog pritiska u prijemnoj prostoriji, on mora da bude prisutan i pri merenju vremena reverberacije.

Za prostorije čija je zapremina veća ili jednaka 25 m³, primenjuje se standardni postupak merenja u frekvencijskom opsegu od 50 Hz do 5000 Hz, a ako je zapremina prostorije manja od 25 m³, standardni postupak je primenljiv u frekvencijskom opsegu od 100 Hz do 5000 Hz.

Za standardni postupak se kao pobuda primenjuje izvor zvuka koji emituje roze šum, odnosno spektar koji je ravan u frekvencijskom opsegu.

Najmanji broj merenja koje treba izvršiti kada se koriste fiksni položaji mikrofona je šest. Koristi se barem jedan položaj izvora zvuka sa tri položaja mikrofona u kojima se vrše po dva merenja ili šest položaja mikrofona sa po jednim merenjem u svakom položaju.

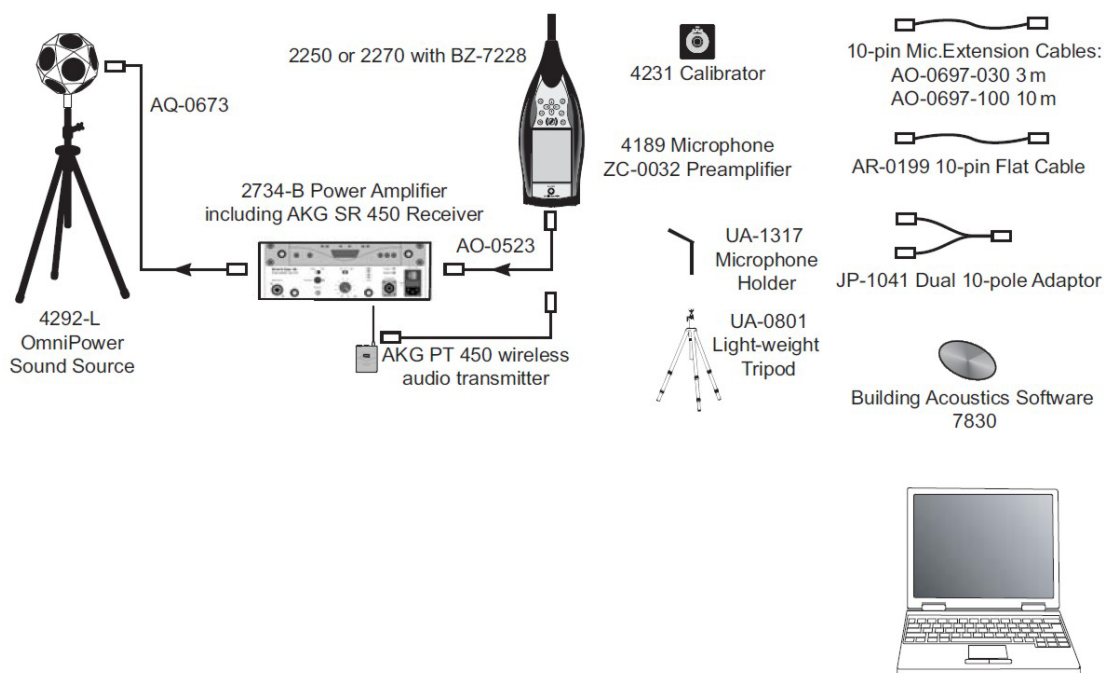
Više o merenju vremena reverberacije videti u poglavlju 3.

1.3 Merni lanac i povezivanje

Merni lanac za ispitivanje izolacione moći pregradnog zida (sl.1.6) sadrži sledeću mernu opremu:

1. Merilo nivoa zvuka, tip Bruel&Kjaer 2270 sa softverom BZ-7228 (sl. 1.7);
2. Kondenzatorski mikrofoni, tip Bruel&Kjaer 4189 sa pretpojačavačem ZC-0032, 2 komada (sl. 1.7);
3. Neusmereni izvor zvuka, tip Bruel&Kjaer 4292-L (sl. 1.8);
4. Pojačalo snage, tip Bruel&Kjaer 2734-B koje sadrži WiFi prijemnik tip AKG SR 450 (sl. 1.9);
5. Kalibrator zvuka, tip Bruel&Kjaer 4231 (sl. 1.10);
6. Kablove, stalke i držače za mikrofoni;
7. Računar (opciono).

Kompletna merna oprema (osim računara) je nabavljena u okviru Erasmus+ projekta "Jačanje obrazovnih kapaciteta kroz izgradnju kompetencija i saradnju u oblasti inženjerstva bukom i vibracijama (SENVIBE)" br. 598241-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP.



Sl. 1.6 Merni lanac za merenje izolacione moći pregradnog zida [5]



Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 1.7 Merilo nivoa zvuka sa parom mikrofona

Sl. 1.8 Neusmereni izvor zvuka



Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 1.9 Pojačalo snage sa WiFi prijemnikom

Sl. 1.10 Kalibrator zvuka

Postupak povezivanja merne opreme u merni lanac:

1. Povezati dvokanalni desetopolni adapter JP-1041 na merilo nivoa zvuka 2270 (sl. 1.11).

Napomena: Na dvokanalnom adapteru su obeleženi kanali 1 i 2 sa Ch 1 i Ch 2. Kanal 1 se koristi za merenje nivoa zvuka u predajnoj prostoriji, a kanal 2 za merenje nivoa zvuka i vremena reverberacije u prijemnoj prostoriji.

2. Povezati kablove AO-0697-100 dužine 10 m na oba kanala.

3. Povezati flet kabl AR-0199 na kabl AO-0697-100 na kanalu 2 i na njega povezati još jedan kabl AO-0697-100 dužine 10 m (sl. 1.12).

Napomena: Flet kabl omogućuje nesmetani prolaz kablova ispod vratiju prostorije.



Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 1.11 Merilo nivoa zvuka sa desetopolnim adapterom

Sl. 1.12 Povezivanje flet kabla i kabla AO-0697-100

4. Na krajeve kablova AO-0697-100 povezati pretpojačavače ZC-0032 i kondenzatorske mikrofone 4189.

Napomena: Na kutijama za mikrofone je obeleženo koji se mikrofoni koriste za Ch. 1 i Ch. 2.

5. Mikrofone sa pretpojačavačima postaviti na stalak sa držačem za mikrofone; na mikrofone, po potrebi, postaviti štitnike od vetra radi zaštite od prašine (sl. 1.13).
6. Kablom AO-1456 povezati audio prenosnik PT-470 i konektor OUTPUT na 2270 (sl. 1.14).
7. Kablom AO-0041 povezati računar i merilo nivoa zvuka 2270 (sl. 1.15).

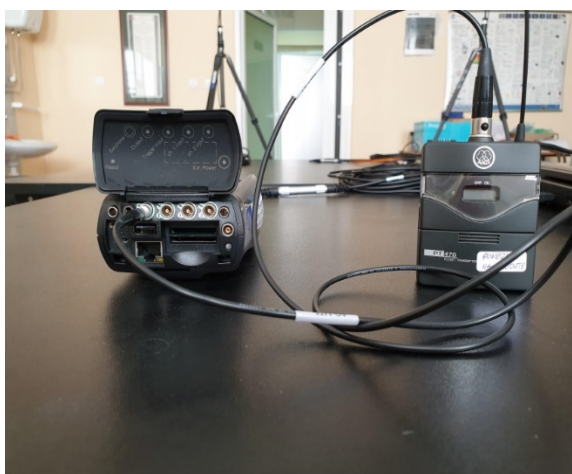
Napomena: Ovaj korak je opcioni i omogućava kontrolu rada merila nivoa zvuka preko računara i softvera BZ-5503. U suprotnom, rad merila nivoa zvuka se kontroliše direktno pomoću odgovarajućih tastera i menija.

8. Kablom AQ-0673 povezati izlaz „Loudspeaker“ pojačala snage 2734-B sa izvorom zvuka 4292-L (sl. 1.16). Pojačalo snage povezati napojnim kablom na 220 V.
9. Uključiti pojačalo snage 2734-B, merilo nivoa zvuka 2270 i audio prenosnik PT-470 (sl. 1.17).



Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 1.13 Merilo nivoa zvuka sa povezanim pratećim kablovima i mikrofonom



Sl. 1.14 Povezivanje merila nivoa zvuka i audio prenosnika



Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 1.15 Povezivanje računara i merila nivoa zvuka



Sl. 1.16 Povezivanje pojačala snage i izvora zvuka

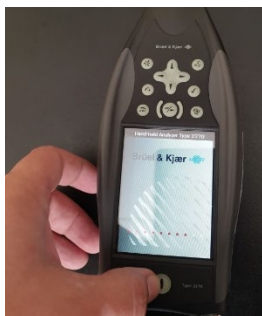


Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 1.17 Uključivanje merne opreme

1.4 Kalibracija mernog sistema

Pre svakog merenja je neophodno izvršiti simultanu kalibraciju mikrofona i merila nivoa zvuka. Na taj način se proverava funkcija mernog sistema od mikrofona do sistema za indikaciju i obezbeđuje pouzdanost i preciznost merenja.

Za terenska merenja se primenjuje metoda kalibracije mernog lanca pomoću etaloniranih izvora zvuka koji na definisanoj frekvenciji stvaraju zvučno polje definisanog nivoa.

Za brzu i direktnu kalibraciju merila nivoa zvuka se koristi kalibrator nivoa zvuka tip 4231. Kalibraciona frekvencija je 1000 Hz, a kalibracioni nivo, nezavistan od primenjene ponderacione frekvencijske krive, iznosi 94 ± 0.2 dB, odnosno 114 dB sa pojačanjem od 20 dB za kalibraciju u bučnim sredinama. Kalibrator daje kontinualni konstantni nivo zvučnog pritiska kada se mikrofoni postavi u otvor kalibratora (sl. 1.18) i kada se kalibrator aktivira. Osetljivost mernog lanca se u postupku kalibracije automatski podešava.

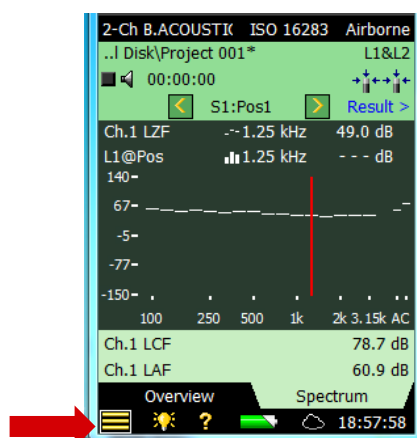


Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

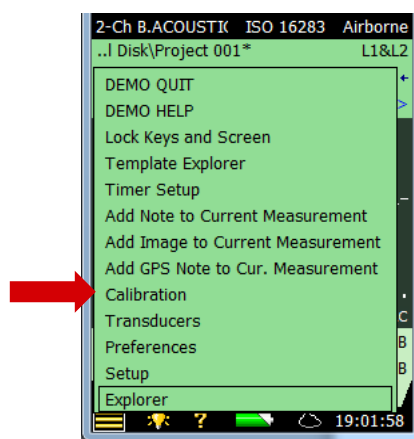
Sl. 1.18 Postavljanje kalibratora na mikrofoni

Postupak kalibracije dvokanalnog merila nivoa zvuka, tip Bruel&Kjaer 2270:

Otvoriti meni za podešavanje merila nivoa zvuka.

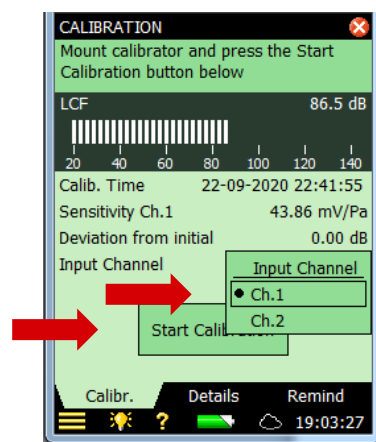


Izabrati opciju „Calibration“.

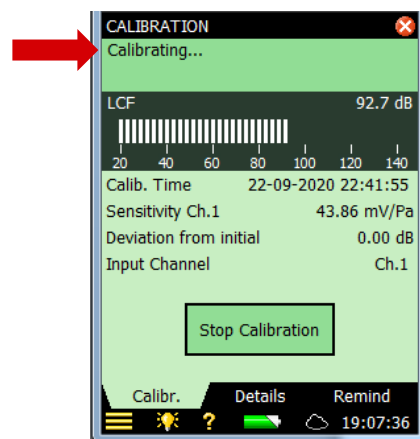


U padajućem meniju „Input Chanell“ izabrati kanal za kalibraciju (Ch. 1 ili Ch. 2).

Postaviti mikrofonski odgovarajućeg kanala u otvor kalibratora, uključiti kalibrator i pritisnuti „Start Calibration“.



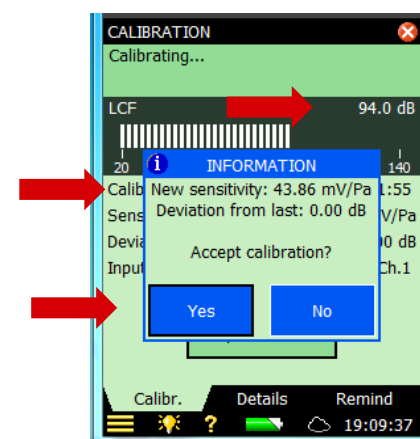
Postupak kalibracije u toku, sačekati.



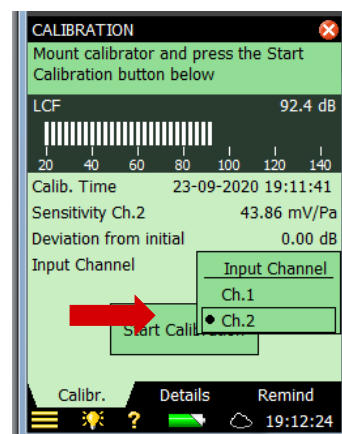
Nakon završene kalibracije, automatski se podešava nova osetljivost mikrofona tako da merilo nivoa zvuka pokazuje vrednost 94 dB.

Prihvatiti kalibraciju ako merilo nivoa zvuka pokazuje vrednost 94 dB. U suprotnom odbiti kalibraciju pritiskom na „No“ i ponoviti postupak.

U prozoru „Information“ je prikazano odstupanje od poslednje kalibracije.

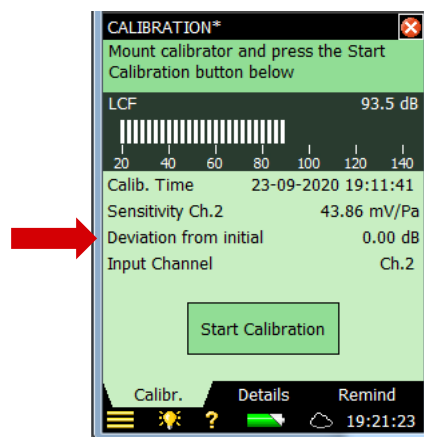


Izabrati drugi kanal za kalibraciju i ponoviti postupak.



Nakon završetka svih merenja u postupku određivanja izolacione moći pregradnog zida, ponovo postaviti mikrofonski odgovarajućeg kanala u otvor kalibratora, uključiti kalibrator i očitati prikazane vrednosti nivoa zvuka u opciji menija „Calibration“. Ponoviti postupak za oba kanala.

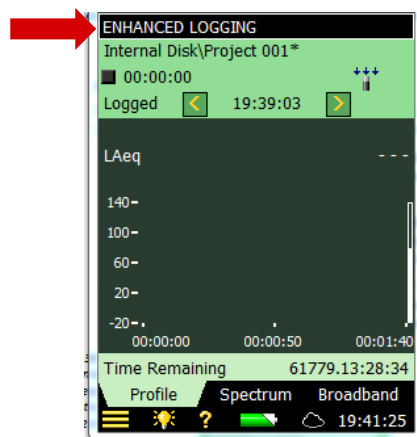
Odstupanje ne sme biti veće od ± 0.5 dB. Ukoliko je odstupanje veće, potrebno je ponoviti ceo postupak merenja izolacione moći pregradnog zida.



1.5 Podešavanje mernih instrumenata

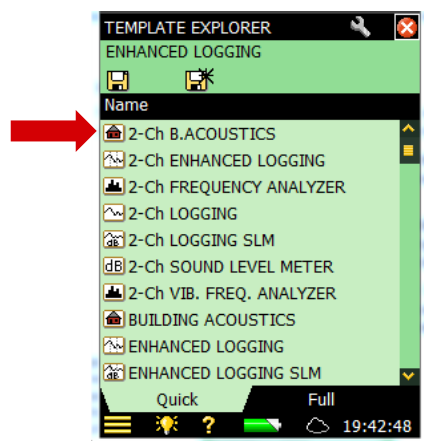
1.5.1 Podešavanje merila nivoa zvuka 2270

Kliknuti u desni ugao crne trake za izbor templejta za merenje.

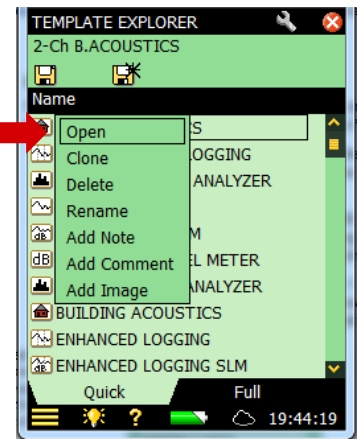


Iz padajućeg menija izabrati templejt „2-Ch B.ACOUSTICS“.

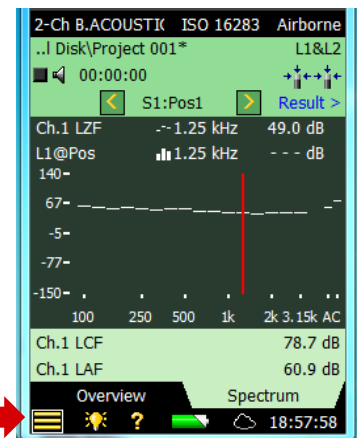
Templejt je namenjen za merenja u građevinskoj akustici pomoću dva mikrofona.



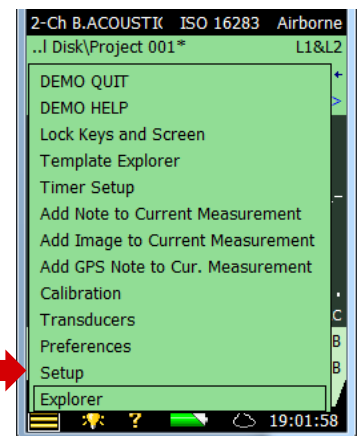
U padajućem meniju izabrati opciju „Open“.



Otvoriti meni za podešavanje merila nivoa zvuka.

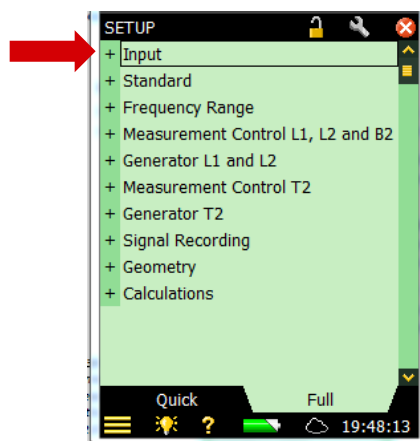


Izabrati opciju „Setup“.



U opciji „Setup“ je moguće podešavanje različitih grupa parametara. Grupa parametara se otvara klikom na +.

Kliknuti na + ispred opcije „Input“



Za merenje L1 i L2 iz padajućeg menija mogu se odabrati opcije „Simultaneously“ (za istovremeno merenje nivoa L1 i L2 u dvokanalnoj varijanti) i „Separately“ (za odvojena merenja L1 i L2 u jednokanalnoj varijanti).

Izabrati opciju „Simultaneously“.

Automatski se podešava korišćenje kanala 1 za merenje L1, odnosno kanala 2 za L2. Za merenje pozadinske buke, B2, i vremena reverberacije, T2, moguće je iz padajućeg menija izabrati kanal sa kojim se mere ove veličine.

Izabrati za obe veličine „Ch. 2“.

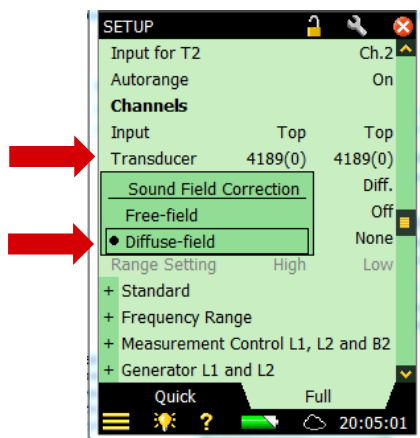
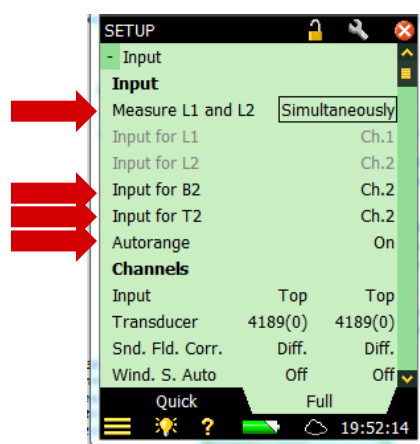
Opciju „Autorange“ je moguće uključiti ili isključiti izborom „On“ ili „Off“ u padajućem meniju. Ako je opcija uključena, merilo nivoa zvuka automatski podešava opseg merenja u zavisnosti od nivoa zvuka u prostoriji.

Izabrati opciju „On“.

U delu podešavanja kanala „Channels“ moguće je iz padajućih menija definisati pretvarač koji se koristi (za oba kanala je to mikrofonski 4189) i korekciju zvučnog polja „Snd. Fld. Corr.“.

Izabrati opciju „Diffuse field“ za oba kanala jer se merenja vrše u zatvorenom prostoru.

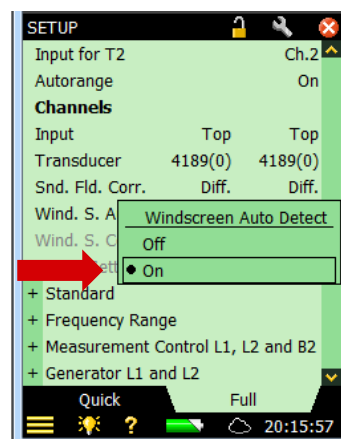
Za merenja u slobodnom zvučnom polju se koristi korekcija „Free field“.



U delu podešavanja kanala „Channels“ je moguće izabrati automatsku detekciju štitnika („Wind. S. Auto“). Ako se izabere opcija „On“ iz padajućeg menija, opcija „Wind. S. Corr.“ je neaktivna.

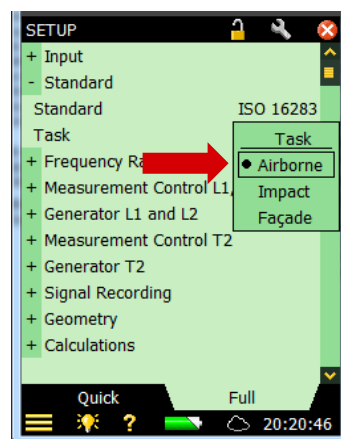
Izabrati opciju „On“ za oba kanala.

Opcija podešavanja opsega „Range Setting“ je neaktivna jer je u prethodnom delu menija izabrano automatsko podešavanje opsega.



U delu izbora standarda vrši se prvo definisanje zadatka („Task“). Iz padajućeg menija je moguće definisati merenje izolacije od vazdušnog zvuka (Airborne), merenje izolacije od udarnog zvuka (Impact) ili merenje fasadne izolacije (Facade).

Izabrati opciju „Airborne“.

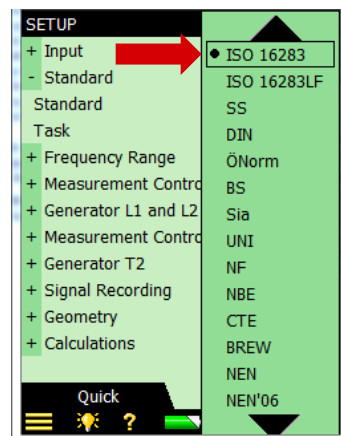


Zatim se iz padajućeg menija standarda bira odgovarajući standard za merenje.

Izabrati standard ISO 16283.

Ako je potrebno izvršiti merenje na niskim frekvencijama, bira se standard ISO 16283LF.

Merilo nivoa zvuka automatski vrši odgovarajuća podešavanja koja su obavezna po standardu i te opcije su u delovima menija neaktivne.



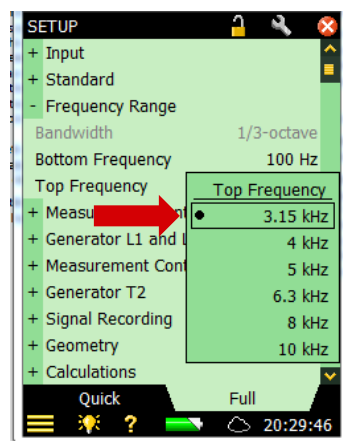
U delu menija „Frequency range“ se podešava tip filtra koji se koristi za merenje, kao i donja i gornja granična frekvencija opsega u kojem se vrši merenje.

Opcija „Bandwith“ je neaktivna jer je zahtev ISO 16283 da se merenje vrši 1/3 oktavnim filterima. Inače je moguće da se za merenje izaberu i oktavni filteri.

Donja granična frekvencija se može spustiti do 50 Hz, a gornja podići do 10 kHz.

Izabrati 100 Hz za donju, a 3.15 kHz za gornju graničnu frekvenciju (standardni opseg merenja).

Prošireni opseg merenja je od 50 Hz do 5 kHz.

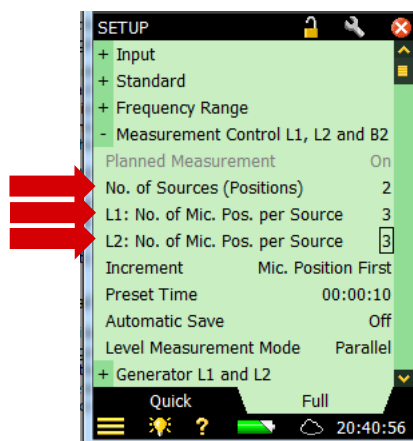


U delu menija „Measurement Control L1, L2 and B2“ podešava se kontrola procesa merenja.

Opcija „Planned Measurement“ je neaktivna jer je zahtev ISO 16283 da se vrše planirana merenja, odnosno merenja gde merilo nivoa zvuka vodi merioca kroz meri proces u logičnoj sekvenci i gde merilac može u svakom trenutku da vidi gde se nalazi u procesu merenja.

U ovom delu menija se podešava broj položaja izvora zvuka i položaja mikrofona pri merenju L1 i L2.

Izabrati vrednosti kao na slici.

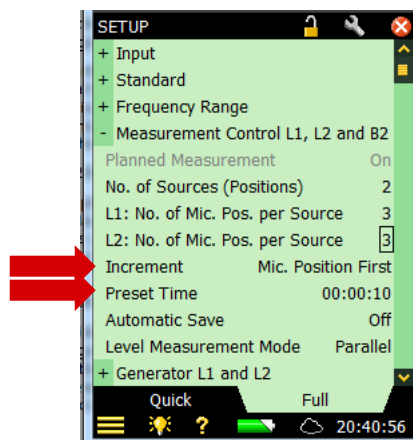


Opcijom „Increment“ se definiše redosled kojim se vrše promene položaja mikrofona i izvora zvuka. Postoje tri opcije: „Source First“ (prvo se vrši pomeranje izvora zvuka za svaki položaj mikrofona), „Mic. Position First“ (za svaki položaj izvora zvuka prvo se pomera položaj mikrofona) ili Manual (ručno).

Izabrati „Mic. Position First“.

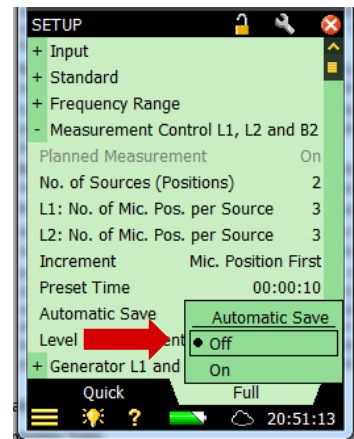
Opcijom „Preset Time“ definiše se vreme usrednjavanja, odnosno vreme merenja L1, L2 i B2.

Izabrati 10 s.



Opcijom „Automatic Save“ se može definisati automatsko memorisanje merenja (opcija „On“) ili ručno memorisanje (opcija „Off“).

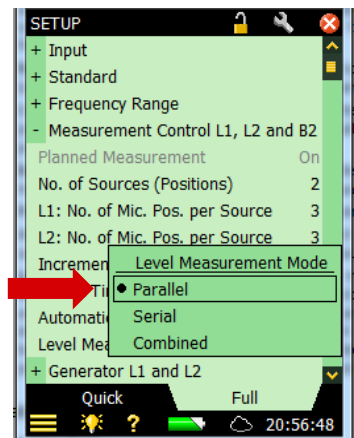
Izabrati opciju „Off“ kako bi ručno memorisali merenja, što daje mogućnost da se loše merenje može ponoviti.



Opcijom „Level Measurement Mode“ se definiše način merenja u frekvencijskim opsezima.

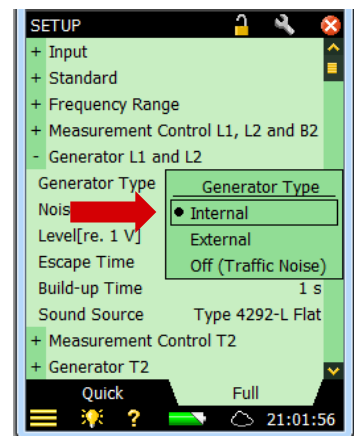
Opcija „Parallel“ se koristi za merenje svih opsega istovremeno, opcija „Serial“ za merenje izabranog opsega (memoriše se i povezuje sa prethodno izmerenim delom spektra), „Combined“ za kombinovana merenja.

Izabrati opciju „Parallel“.



U delu menija „Generator L1 and L2“ se definiše tip generatora. Podešava se na „Internal“ za korišćenje internog generatora merila nivoa zvuka. Za korišćenje eksternog generatora se podešava na „External“, a za merenje fasadne izolacije se bira opcija „Off“ jer se tada kao izvor zvuka koristi saobraćajna buka.

Izabrati opciju „Internal“.



Dalje se podešava tip buke koju daje interni generator („Pink“ ili „White“). Obično se koristi „Pink“.

„Pink“ tip buke ima istu snagu signala po oktavi, dok „White“ tip buke ima jednaku snagu signala po frekvenciji. Kod „White“ tipa buke snaga signala po oktavi raste.

Izabrati opciju „Pink“.

U opciji „Level [re. 1V]“ se podešava slabljenje internog generatora buke u opsegu od -80 dB do 0 dB.

Izabrati 0 dB.

U delu menija „Generator L1 and L2“ dalje se podešava vreme „Escape Time“ u kome merilac može da napusti prostoriju pre početka merenja (vidi sl. 1.19).

Izabrati 0 s (merilac ne napušta prostoriju).

Zatim se podešava vreme „Build-up Time“ za uspostavljanje stacionarnog stanja u prostoriji nakon uključivanja izvora zvuka (vidi sl. 1.19).

Izabrati 3 s.

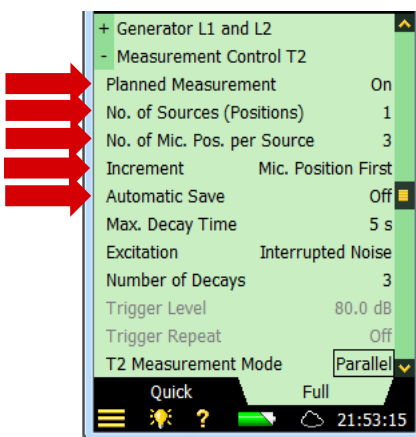
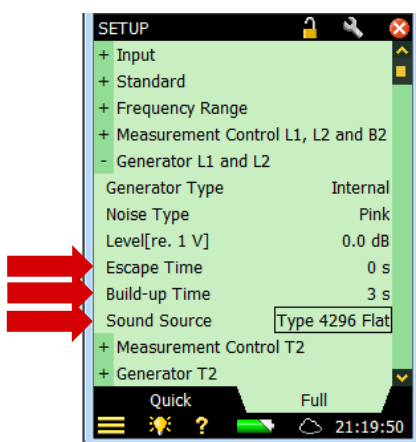
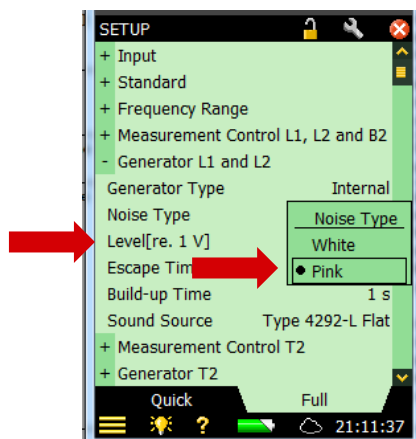
Na kraju se bira izvor zvuka koji se koristi za generisanje zvučnog polja.

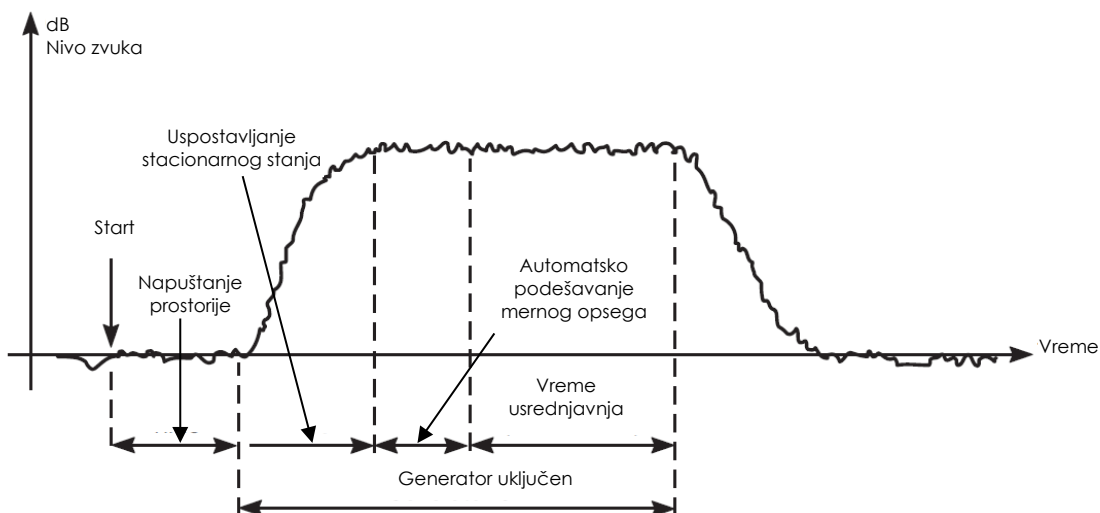
Izabrati „Type 4292-L Flat“.

Kod izvora zvuka postoji opcija izbora „Flat“ za ravni odziv izlaza, odnosno opcija „Optimum“ za optimiziranje snage između dve susedne oktave ili terce.

U delu menija „Measurement Control T2“ za podešavanje prvih pet parametara, kao i za podešavanje poslednjeg parametra u meniju, pogledati prethodno data objašnjenja za deo menija „Measurement Control L1, L2 and B2“.

Izabrati opcije kao na slici.





Sl. 1.19 Tipičan ciklus merenja L1 i L2 [5]

U delu menija „Measurement Control T2“ dalje se podešava maksimalno vreme opadanja nivoa zvuka koje se snima „Max. Decay Time“ (sl. 1.20), jer merilo nivoa zvuka ponekad ne može da registruje kraj opadanja nivoa zvuka zbog pozadinske buke. Podešavanjem ovog parametra se ograničava merenje zbog uštede vremena i memorijskog prostora.

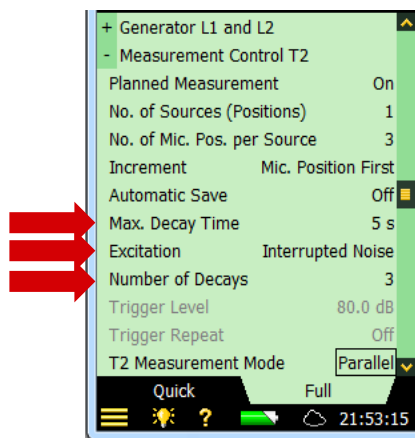
Podesiti na 5 s.

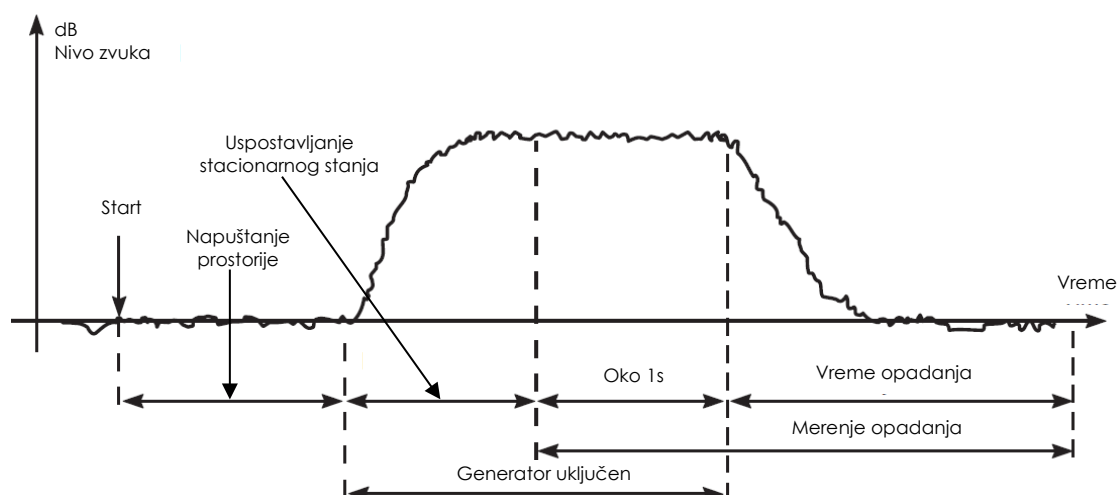
U delu „Excitation“ se podešava korišćena pobuda zvučnog polja. Ako se koristi izvor zvuka, ovaj parametar treba podesiti na „Interrupted Noise“, a ako se koristi npr. pištolj, balon ili udarac u dasku, treba podesiti na „Impulsive“.

Podesiti na „Interrupted Noise“.

Parametrom „Number of Decays“ se podešava broj krivih opadanja koje se snimaju po jednom položaju mikrofona i zatim usrednjavaju u jednu krivu opadanja.

Podesiti na 3.



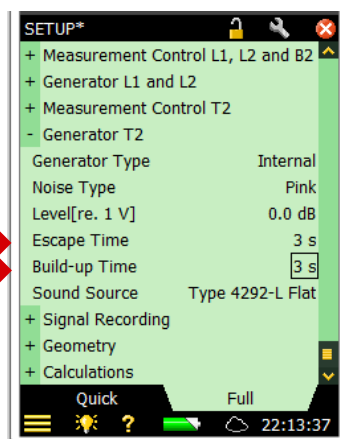


Sl. 1.20 Tipičan ciklus merenja T2 [5]

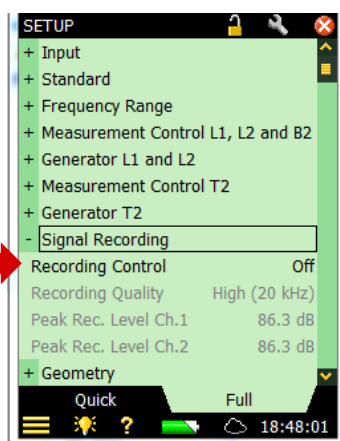
U delu menija „Generator T2“ za podešavanje parametara pogledati prethodno data objašnjenja za meni „Generator L1 and L2“.

Za parametar „Build-up Time“ i „Escape Time“ vidi sl. 1.20.

Izvršiti podešavanje kao na slici.

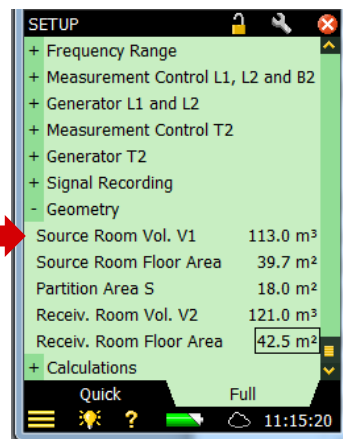


U delu menija „Signal Recording“, gde se podešava snimanje zvučnog signala, opcija „Recording Control“ je isključena („Off“) jer pri merenju izolacione moći pregradnog zida nije potrebno snimati zvučne signale.



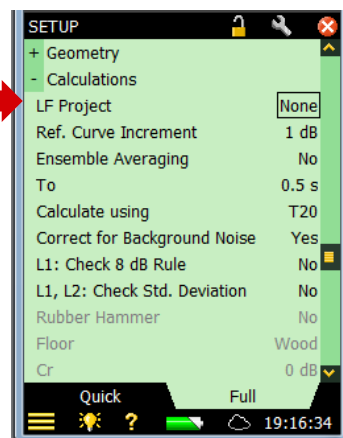
U delu menija „Geometry“ ubaciti podatke o predajnoj i prijemnoj prostoriji: podatke o zapremini prostorija i površini pregradnog zida. Podaci o površini poda/tavanice predajne i prijemne prostorije nisu relevantni za merenje izolacione moći pregradnog zida.

Izvršiti podešavanje u skladu sa zadatkom.



U delu menija „Calculations“ u opciji „LF project“ se unosi dodatna oznaka za projekte merenja izolacione moći pregradnog zida na niskim frekvencijama (npr. LF) primenom standarda ISO 16283LF.

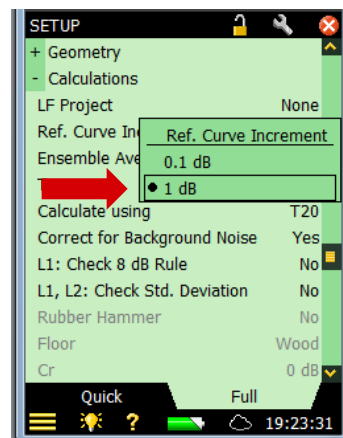
Kako se merenje vrši primenom standarda ISO 16283 koja ne obuhvataju niske frekvencije, podešavanje treba da ostane „None“.



Kod opcije menija „Ref. Curve Increment“ se podešava korak pomeranja referentne krive u cilju izračunavanja merodavne izolacione moći R_w (vidi poglavlje 1.1.2).

Standard preporučuje izbor 1 dB.

Za procenu merne nesigurnosti se preporučuje izbor 0.1 dB.



Kada se u opciji „Ensemble Averaging“ izabere „Yes“, vrši se usrednjavanje svih krivih opadanja za sve merne tačke i na osnovu te krive određuje vreme reverberacije.

Ako je izabrana opcija „No“, ne vrši se usrednjavanje krivih opadanja, a vreme reverberacije se određuje kao srednja vrednost vremena reverberacije za sve merne tačke.

Izabrati „No“.

To je referentno vreme reverberacije i **preporučuje se izbor 0.5 s**. Koristi se za proračun normalizovanih vrednosti izolacione moći pregradnog zida.

Vreme reverberacije se može izračunati na osnovu krive opadanja od 20 ili 30 dB. Izbor se vrši u opciji „Calculate using“.

Izabrati T20.

Kada se u opciji „Correct for Background Noise“ izabere „Yes“, vrednosti L2 se koriguju zbog pozadinske buke.

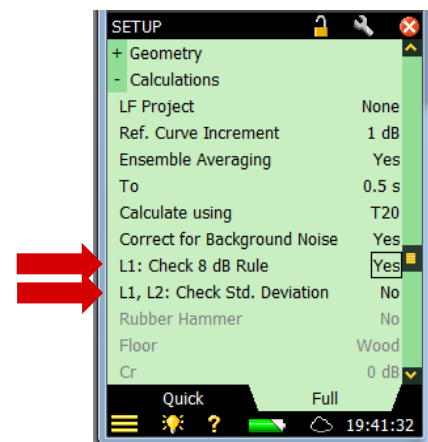
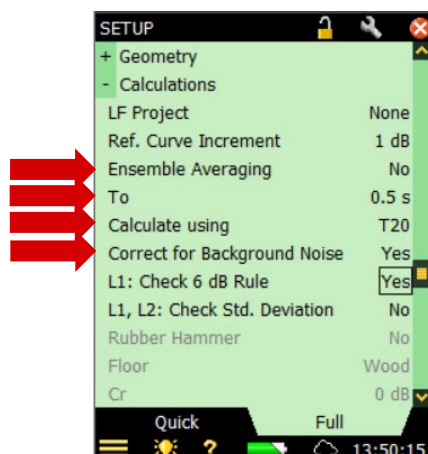
Izabrati „Yes“.

Ako je izabrano „Yes“ u opciji „Check 8 dB Rule“, proverava se da li nivo L1 u nekoj terci odstupa od susednih za više od 8 dB. Ako odstupa, taj opseg se obeležava sa žutim smajlijem.

Izabrati „Yes“.

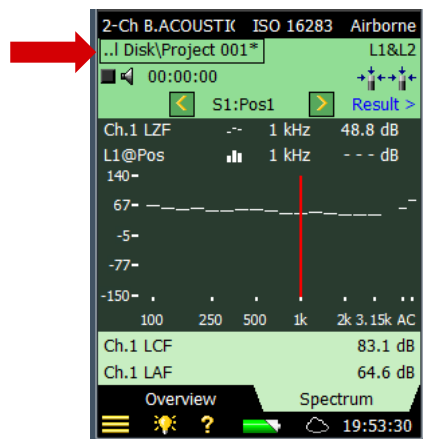
Ako je izabrano „Yes“ u opciji „L1, L2: Check Std. Deviation“, proverava se da li je standardna devijacija u spektru u predajnoj i prijemnoj prostoriji velika. Ako je standardna devijacija u frekvencijskom opsegu dvostruko veća od teorijski očekivane, taj opseg se obeležava sa žutim smajlijem.

Izabrati „No“.

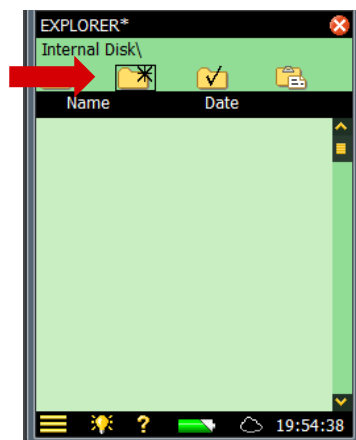


Definisati folder na internom disku merila nivoa zvuka gde će se snimati merni rezultati.

Kliknuti na deo displeja koji pokazuje putanju na internom disku.

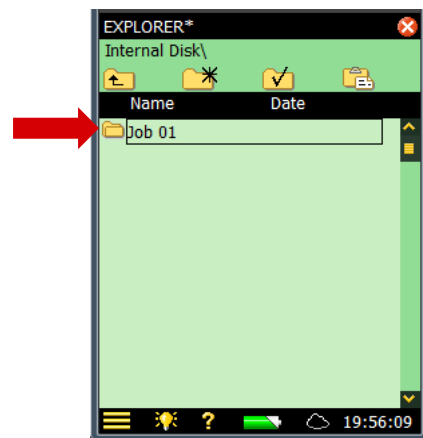


Kliknuti na ikonu za otvaranje novog foldera.

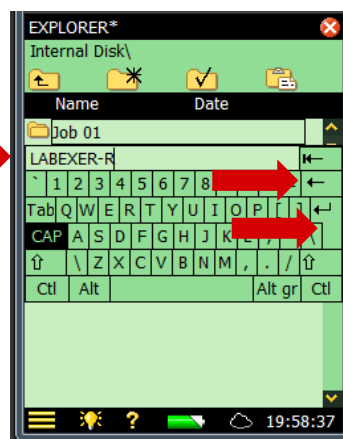


Otvora se Folder „Job 01“.

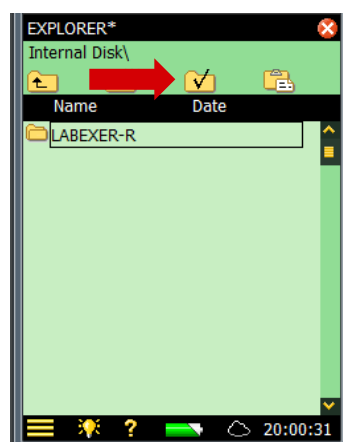
Kliknuti na folder i izabrati opciju „Rename“.



Pomoću prikazane tastature izbrisati prethodni naziv foldera i otkucati željeno ime foldera, npr. LABEXER-R. Na kraju kliknuti na taster „Enter“.



Kliknuti na naznačenu ikonicu za definisanje novog foldera kao radnog.



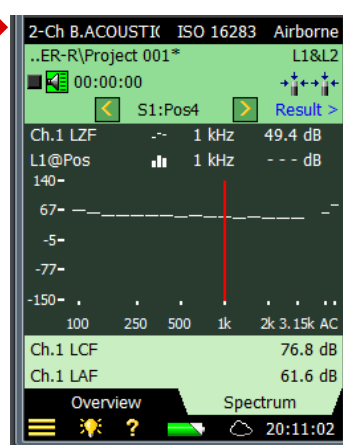
Merilo nivoa zvuka 2270 je sada spremno za merenje. Na statusnoj liniji (crna traka) je prikazan izabrani templejt (2-Ch B.Acoustics), Standard (ISO 16283) i zadatak (Airborne – izolacija od vazdušnog zvuka).

Ispod toga je prikazan radni folder i naziv prvog projekta. Desno je prikazano šta se prvo meri (L1&L2).

U trećoj statusnoj liniji se prikazuje vreme merenja, tip mikrofona (u konkretnom slučaju tri strelice pokazuju da je izabrana korekcija za difuzno zvučno polje). Takođe se označava da li su na mikrofona montirani štitnici. U slučaju sa slike nema štitnika.

U četvrtoj statusnoj liniji se prikazuje trenutna pozicija izvora (S1) i trenutna pozicija mikrofona (Pos4).

Ikonica zvučnika pokazuje kada je izvor zvuka aktivan (kao na slici).



1.5.2 Podešavanje pojačala snage 2734B

1. Podesiti skokovito slabljenje pojačala snage na -10 dB (sl. 1.21 levo).
2. Podesiti kontinualno slabljenje pojačala snage na -5 dB (sl. 1.21 desno).
Ukupno slabljenje je -15 dB.



Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

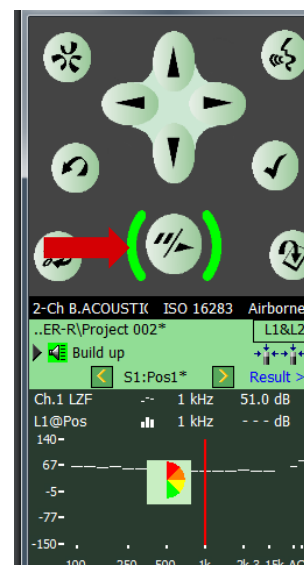
Sl. 1.21 Podešavanje pojačala snage

1.6 Postupak merenja

1.6.1 Simultano merenje L1&L2

1. Obeležiti polažaje izvora zvuka u predajnoj prostoriji, kao i položaje mikrofona u predajnoj i prijemnoj prostoriji.
2. Izvor zvuka, pojačalo snage i mikrofoni CH1 smestiti u predajnu prostoriju, a mikrofoni CH2 u prijemnu prostoriju.
3. Slediti uputstva u daljem tekstu.

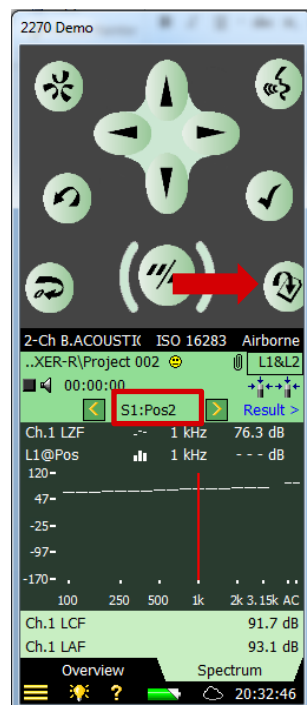
Kliknuti na taster u sredini za start merenja.



Po završetku merenja kliknuti za memorisanje podataka na desni taster.

Ponoviti prethodna dva koraka za oba položaja izvora zvuka i sva tri položaja mikrofona, pri čemu se prvo menjaju položaji mikrofona.

U statusnoj liniji pratiti položaje izvora zvuka i mikrofona.



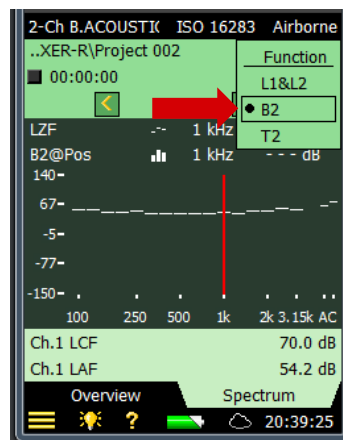
1.6.2 Merenje pozadinske buke u prijemnoj prostoriji

U statusnoj liniji koja označava funkciju merenja koje se sprovodi izabrati B2.

Startovati i memorisati merenje prema već opisanom postupku za merenje L1&L2.

Merenja pozadinske buke u prijemnoj prostoriji izvršiti u svim položajima mikrofona koji su korišćeni za merenje L2.

U statusnoj liniji pratiti položaje mikrofona.



1.6.3 Merenje vremena reverberacije u prijemnoj prostoriji

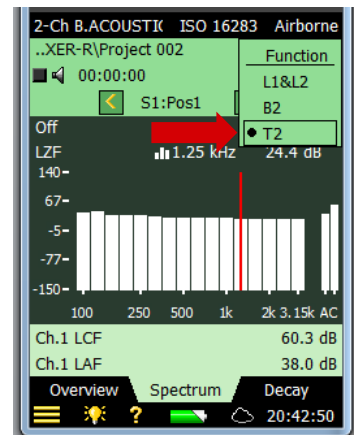
1. Obeležiti položaje izvora zvuka i mikrofona u prijemnoj prostoriji za merenje vremena reverberacije.
2. Izvor zvuka, pojačalo snage i mikrofona CH2 smestiti u prijemnu prostoriju.
3. Slediti uputstva u daljem tekstu.

U statusnoj liniji koja označava funkciju merenja koje se sprovodi izabrati T2.

Startovati i memorisati merenje prema već opisanom postupku za merenje L1&L2.

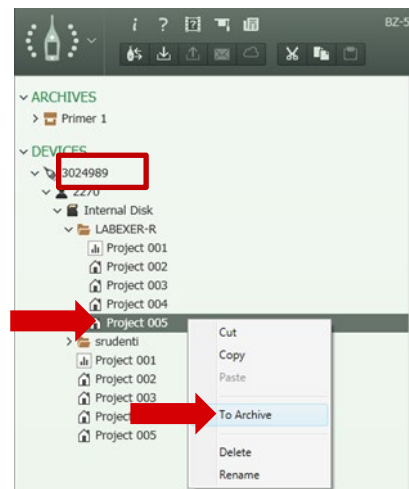
Ponoviti merenja za sva tri položaja mikrofona.

U statusnoj liniji pratiti položaje mikrofona.

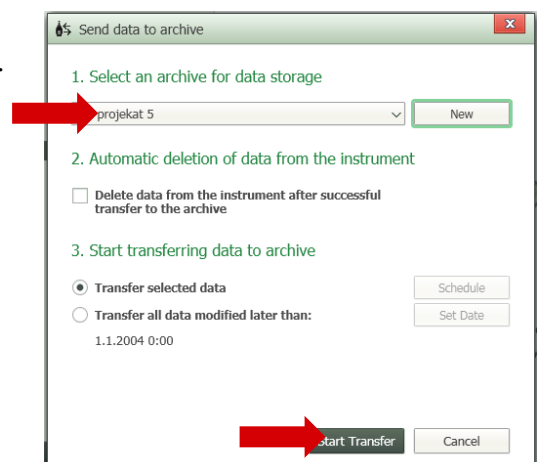


1.6.4 Prenos i obrada rezultata merenja

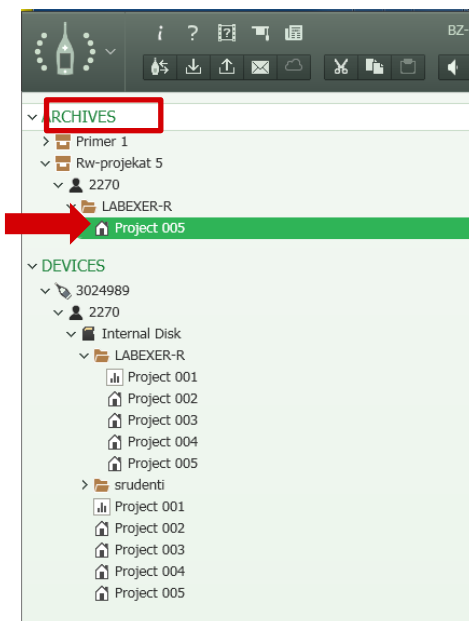
Otvoriti softver Measurement Partner Suite BZ5503. Na levoj strani radne površine, u delu menija „Devices“, prikazuje se oznaka merila nivoa zvuka. Kliknuti na oznaku merila nivoa zvuka i otvarati podmenije do foldera LABEXER-R gde je smešten projekat sa mernim podacima. Desnim tasterom kliknuti na odgovarajući projekat i izabrati opciju za prebacivanje projekta u arhivu na računaru „To archive“.



U otvorenom prozoru kliknuti na „New“ za definisanje naziva arhive, npr. Rw-projekat 5. Zatim kliknuti na „Start transfer“.

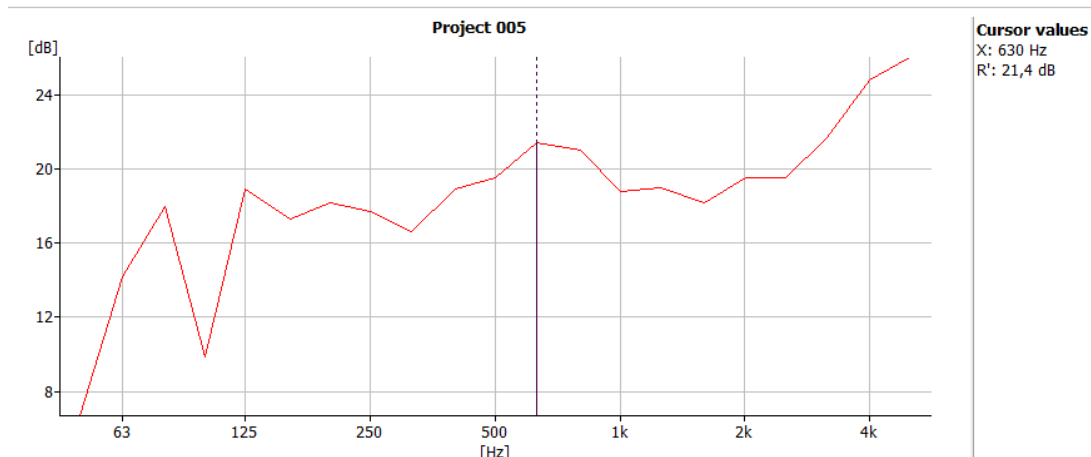


Na levoj strani radne površine, u delu menija „Archives“, prikazane su arhive projekata. Kliknuti na odgovarajući naziv arhive i otvarati podmenije do foldera sa nazivom projekta.

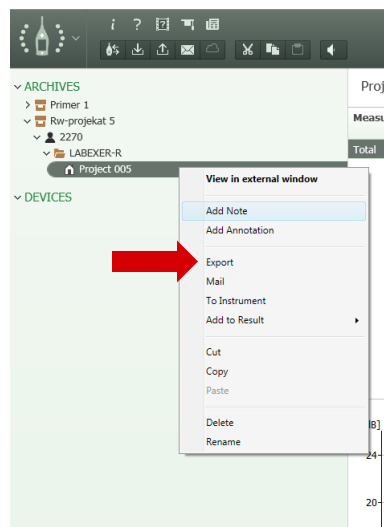


Na desnoj strani površine je prikazan grafik promene izolacione moći sa frekvencijom, a na vrhu prikaza su date izračunate vrednosti merodavne izolacione moći sa korekcijama C i C_{tr} . Pomeranjem kursora na grafiku mogu se očitati vrednosti izolacione moći na pojedinim frekvencijama (desno u odnosu na grafik).

Project 005				ARCHIVES\Rw-projekat 5\2270\LABEXER-R\Project 005			
Measurement	R' _w +C _{tr} [dB]	R' _w [dB]	R' _w +C [dB]				
Total	18,4	20,4	19,4				



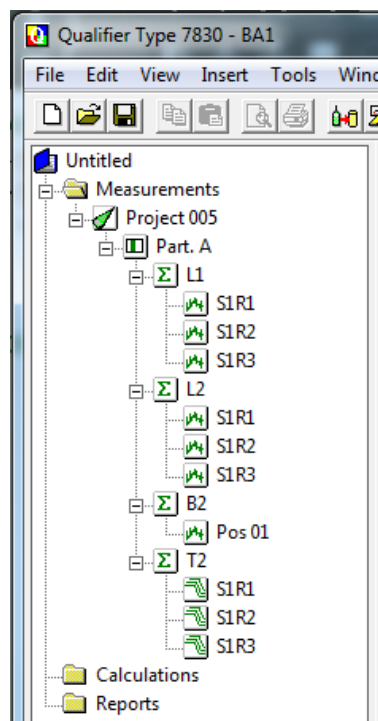
Kliknuti desnim tasterom na naziv projekta i izabrati opciju "Export" za prebacivanje mernih podataka u softver Qualifier Type 7830. U otvorenom meniju izabrati odgovarajući softver i kliknuti na „Finish“.



Nakon prebacivanja mernih podataka u Qualifier Type 7830, na levoj strani radne površine otvoriti sve podmenije odgovarajućeg projekta.

U stablu projekta su prikazana sva merenja za L1, L2, B2 i T2 za sve položaje izvora zvuka i mikrofona.

Klikom na odgovarajuće merenje na desnoj strani radne površine se prikazuju grafici sa rezultatima merenja u izabranom frekvencijskom opsegu. Pomeranjem kursora mogu da se očitaju vrednosti na pojedinim frekvencijama.



1.7 Zadatak

Odrediti izolacionu moć pregradnog zida između prostorija dimenzija _____x_____x_____ [m] i _____x_____x_____ [m].

- Izvršiti merenje L_1 i L_2 sa dva položaja izvora zvuka u predajnoj prostoriji i tri položaja mikrofona u prijemnoj prostoriji;
- Izvršiti merenje pozadinske buke u prijemnoj prostoriji na tri položaja mikrofona;
- Izvršiti merenje T_R u prijemnoj prostoriji sa jednim položajem izvora zvuka i tri položaja mikrofona;
- Prikazati tabelarno i dijagramom očitane vrednosti za R' , kao i vrednosti R'_w , C i C_{tr} ;
- Na osnovu izmerenih vrednosti L_1 , L_2 , L_B i T_R za sve položaje izvora zvuka i mikrofona izračunati vrednosti za R' i uporediti sa očitanim vrednostima sa merila nivoa zvuka 2270;
- Izračunati vrednost merodavne izolacione moći R'_w ;
- Izračunati vrednosti članova za spektralne korekcije.

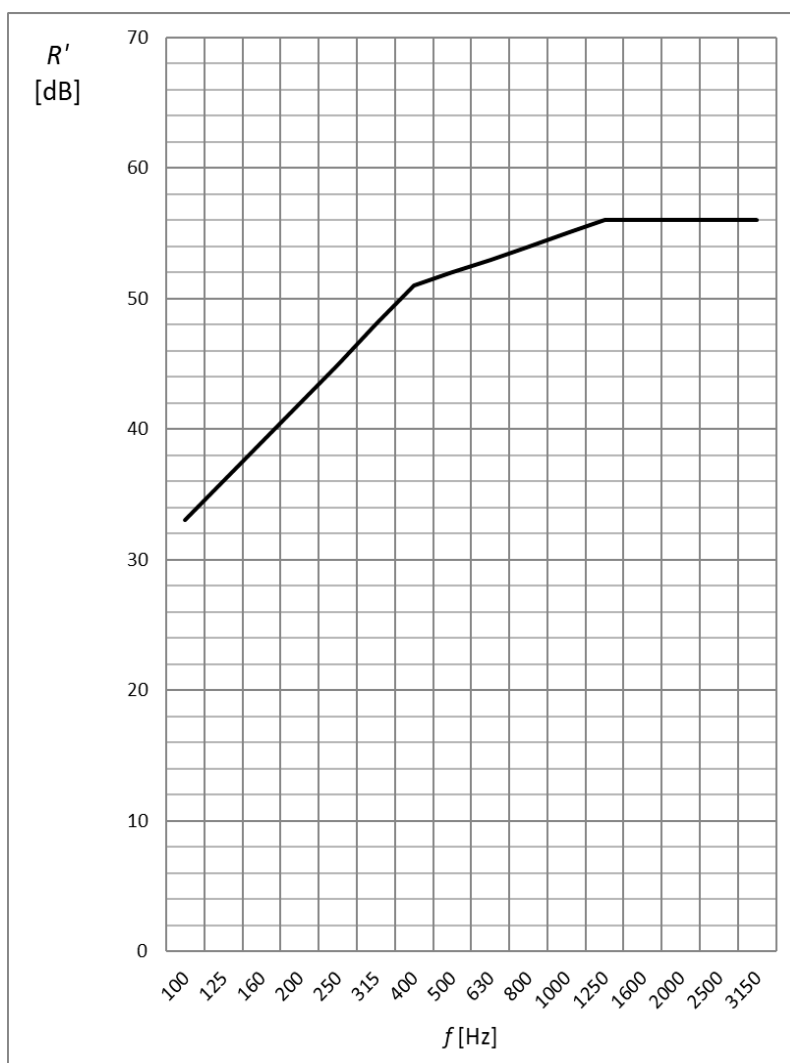
1.8 Literatura

- [1] M. Prašević, D. Cvetković, D. Mihajlov, Buka u životnoj sredini, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, ISBN: 978-86-6093-095-0, Niš, 2020
- [2] SRPS EN ISO 717-1:2021 Akustika – Ocena zvučne izolacije u zgradama i zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 1: Izolacija od vazdušnog zvuka.
- [3] Stručni nalaz Centra za tehničku dijagnostiku Fakulteta zaštite na radu u Nišu, br. 01/03-4/02-3/3, 2017
- [4] SRPS EN ISO 16283-1:2016 Akustika – Terensko merenje zvučne izolacije u zgradama i zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 1: Izolacija od vazdušnog zvuka
- [5] Building Acoustics Software BZ-7228 for use with Hand-held Analyzer Types 2250 and 2270, User manual BE 1799 – 18, Bruel&Kjaer, Denmark, 2016
- [6] SRPS EN ISO 3382-2:2010 Akustika - Merenje akustičkih parametara u prostoriji - Deo 2: Vreme reverberacije u običnim prostorijama
- [7] Demonstracija laboratorijske vežbe „Ispitivanje izolacione moći pregrade“, <https://www.youtube.com/watch?v=9RB36cHJXA8&t=23s> (Youtube film urađen u okviru realizacije projektnih aktivnosti SENVIBE projekta)

1.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna

1.9.1 Očitane vrednosti sa merila nivoa zvuka 2270

f [Hz]	R' [dB]
100	
125	
160	
200	
250	
315	
400	
500	
630	
800	
1000	
1250	
1600	
2000	
2500	
3150	
R'_w [dB]	
C [dB]	
C_{tr} [dB]	



1.9.2 Proračun građevinske izolacione moći

f [Hz]	Nivo zvuka u predajnoj prostoriji, L_1 [dB]						$\bar{L}_1$ [dB]
	Položaj izvora zvuka						
	1			2			
	Položaj mikrofona						
	1	2	3	1	2	3	
100							
125							
160							
200							
250							
315							
400							
500							
630							
800							
1000							
1250							
1600							
2000							
2500							
3150							

f [Hz]	Nivo zvuka u prijemnoj prostoriji, L_2 [dB]						$\bar{L}_2$ [dB]
	Položaj izvora zvuka						
	1			2			
	Položaj mikrofona						
	1	2	3	1	2	3	
100							
125							
160							
200							
250							
315							
400							
500							
630							
800							
1000							
1250							
1600							
2000							
2500							
3150							

f [Hz]	Nivo pozadinske buke u prijemnoj prostoriji, L_B [dB]			$\bar{L}_B$ [dB]	Vreme reverberacije, T_R [dB]			$\bar{T}_R$ [dB]
	Položaj mikrofona				Položaj mikrofona			
	1	2	3		1	2	3	
100								
125								
160								
200								
250								
315								
400								
500								
630								
800								
1000								
1250								
1600								
2000								
2500								
3150								

f [Hz]	Proračun građevinske izolacione moći, R' [dB]					
	$\bar{L}_1$ [dB]	$\bar{L}_2$ [dB]	$\bar{L}_B$ [dB]	$\bar{L}_{2c}$ [dB]	$\bar{T}_R$ [dB]	R' [dB]
100						
125						
160						
200						
250						
315						
400						
500						
630						
800						
1000						
1250						
1600						
2000						
2500						
3150						

1.9.3 Proračun merodavne građevinske izolacione moći

f [Hz]	Proračun merodavne građevinske izolacione moći, R'_w [dB]								
	R'	S	$R' - S$	$S' = S$ _____	$R' - S'$	$S'' = S$ _____	$R' - S''$	$S''' = S$ _____	$R' - S'''$
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100		33.0							
125		36.0							
160		39.0							
200		42.0							
250		45.0							
315		48.0							
400		51.0							
500		52.0							
630		53.0							
800		54.0							
1000		55.0							
1250		56.0							
1600		56.0							
2000		56.0							
2500		56.0							
3150		56.0							
		$Z =$ _____dB		$Z' =$ _____dB		$Z'' =$ _____dB		$Z''' =$ _____dB	
								$R'_w =$ _____dB	

f [Hz]	Proračun članova za spektralnu korekciju C i C _{tr} [dB]						
	R'	L ₁	L ₁ - R'	10 ^(L₁ - R') × 10 ⁻⁵	L ₂	L ₂ - R'	10 ^(L₂ - R') × 10 ⁻⁵
	[dB]	[dB]	[dB]		[dB]	[dB]	
100		-29.0			-20.0		
125		-26.0			-20.0		
160		-23.0			-18.0		
200		-21.0			-16.0		
250		-19.0			-15.0		
315		-17.0			-14.0		
400		-15.0			-13.0		
500		-13.0			-12.0		
630		-12.0			-11.0		
800		-11.0			-9.0		
1000		-10.0			-8.0		
1250		-9.0			-9.0		
1600		-9.0			-10.0		
2000		-9.0			-11.0		
2500		-9.0			-13.0		
3150		-9.0			-15.0		
			S1=			S2=	
			-10·logS1=			-10·logS2=	
			C=	dB		C _{tr} =	dB

ODREĐIVANJE IZOLACIJE OD ZVUKA UDARA U TERENSKIM USLOVIMA

2

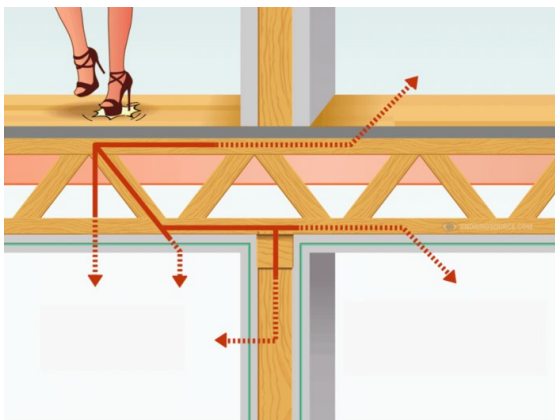
2.1 Teorijske osnove

2.1.1 Zvuk udara

Zvučni talasi koji nastaju u čvrstim strukturama i prenose se kroz njih se jednim izrazom mogu nazvati strukturnim zvukom [1]. U mnogim slučajevima je strukturni zvuk odgovoran za rezultujući vazdušni zvuk koji nastaje u prostorijama. Prenos energije zvuka kroz zidove, podove, tavanice, prozore i sl. je delom posledica strukturnog zvuka [1].

Kada je struktura poda pobuđena kretanjem i udarima potpetica, padom predmeta, pomeranjem nameštaja, radom kuhinjske opreme ili drugih mašina i alata, javljaju se sile koje direktno deluju na pod [1]. Takve sile pobuđuju vibracije u strukturi poda i nastaje zvuk koji se prenosi na drugu stranu poda. Strukture koje vibriraju pobuđuju čestice okolnog vazduha i nastaje zvuk. Vazdušni zvuk koji nastaje na ovaj način naziva se zvuk udara.

U fizičkom smislu, zvuk udara je posledica dejstva kratkotrajne impulsne sile sa malo slabljenja, koja generiše dovoljno energije da pobudi građevinsku strukturu i uzrokuje njene vibracije. Kada se udar generiše po krutoj strukturi, jedan deo energije se reflektuje, jedan njen deo se apsorbira, a preostali deo energije predstavlja zvuk udara koji se prenosi na prostoriju ispod ili na prostoriju pored (sl. 2.1).



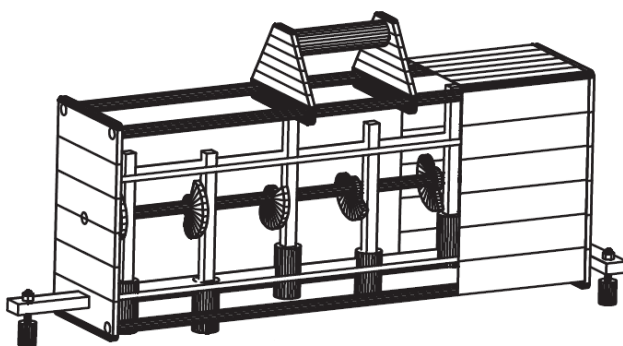
Izvor: <https://www.snoringssource.com/how-to-soundproof-french-doors/>

Sl. 2.1 Ilustracija nastajanja zvuka udara

2.1.2 Određivanje izolacije od zvuka udara

Zvuk udara se u građevinskoj akustici definiše kao nivo zvuka u prijemnoj prostoriji tokom pobude strukture standardizovanim izvorom udara koji se smešta u predajnu prostoriju. Kod vertikalnog prenošenja zvuka udara, prijemna prostorija je prostorija ispod međuspratne konstrukcije, a predajna prostorija je iznad međuspratne konstrukcije. Kod horizontalnog prenošenja zvuka udara, jedna od prostorija se izabere kao predajna, a prostorija pored kao prijemna.

Kao standardizovani izvor zvuka udara u predajnoj prostoriji se najčešće koristi tapkalica koja ima 5 metalnih čekića od po 500 g koje pokreće bregasti mehanizam sa frekvencijom od 2 Hz, tako da je radna frekvencija tapkalice 10 Hz (10 udara u sekundi). Metalni čekići padaju sa visine od 40 mm (sl. 2.2).



Sl. 2.2 Tapkalica [2]

Kako nivo zvuka u prijemnoj prostoriji zavisi i od njene apsorpcione površine, A , normalizovani nivo zvučnog pritiska udara između dve prostorije se definiše kao [2]:

$$L'_n = \bar{L}_p + 10 \log \frac{A}{A_0}, \quad (2.1)$$

gde je: $\bar{L}_p$ - prostorno usrednjeni nivo zvučnog pritiska u prijemnoj prostoriji,
 A_0 – referentna vrednost od 10 m².

Apsorpciona površina prijemne prostorije se određuje na osnovu merenja vremena reverberacije i Sabinovog obrasca [3]:

$$A = 0.162 \frac{V}{T_R}, \quad (2.2)$$

gde je V – zapremina prijemne prostorije.

Pored toga, određuje se i standardizovani nivo zvučnog pritiska udara između dve prostorije [5]:

$$L'_{nT} = \bar{L}_p - 10 \log \frac{T_R}{T_0}, \quad (2.3)$$

gde je T_0 – referentno vreme reverberacije od 0.5 s.

2.1.3 Izražavanje izolacije od zvuka udara jednim brojem

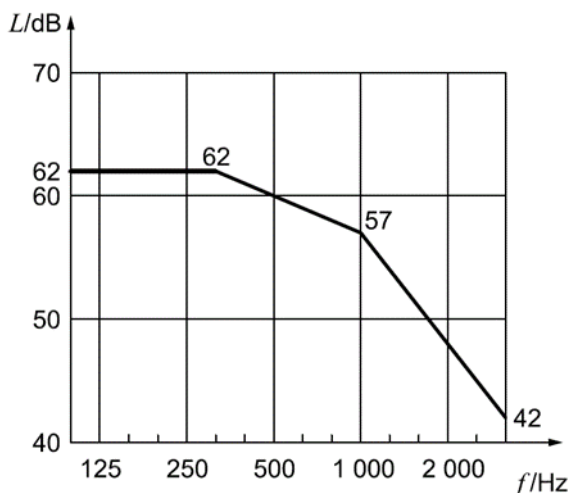
Izolacija od zvuka udara je frekvencijski zavisna veličina. Merenjem se dobija kriva normalizovanog ili standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara u funkciji frekvencije. U cilju ocene izolacije od zvuka udara različitih međuspratnih konstrukcija, pogodnije je raspolagati jednim podatkom koji bi karakterisao izolaciju od zvuka udara međuspratne konstrukcije. U tu svrhu se izolacija od zvuka udara ocenjuje jednim brojem, postupkom koji je međunarodno standardizovan (SRPS EN ISO 717-2 [4]) i zasnovan na upoređivanju krive izmerenog normalizovanog ili standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara sa referentnom krivom (sl. 2.3). Vrednosti normalizovanog i standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara se zaokružuju na prvu decimalu.

Za izražavanje izolacije od zvuka udara jednim brojem se koriste dve veličine:

- ✓ merodavni normalizovani nivo zvučnog pritiska udara, $L'_{n,w}$, ili
- ✓ merodavni standardizovani nivo zvučnog pritiska udara, $L'_{nT,w}$.

Referentna kriva ima oblik prikazan na sl. 2.3 i kod nje se mogu uočiti tri oblasti sa različitim nagibima:

- 100 ÷ 315 Hz: konstantna vrednost od 62 dB,
- 315 ÷ 1000 Hz: slabljenje 1 dB po terci,
- 1000 ÷ 3150 Hz: slabljenje 3 dB po terci.



Sl. 2.3 Referentna kriva za ocenu izolacije od zvuka udara jednim brojem [4]

Posmatra se odstupanje krive izmerenih vrednosti izolacije od zvuka udara od referentne krive. U opštem slučaju, mogu se uočiti dve oblasti:

- Oblast povoljnih (pozitivnih) odstupanja - vrednosti izmerene izolacije od zvuka udara su ispod referentne krive;
- Oblast nepovoljnih (negativnih) odstupanja - vrednosti izmerene izolacije od zvuka udara su iznad referentne krive.

Referentna kriva se pomera u koracima od 1 dB prema izmerenoj krivoj sve dok zbir nepovoljnih odstupanja ne bude što veći, ali ne veći od 32 dB [4].

Merodavni normalizovani nivo zvučnog pritiska udara, $L'_{n,w}$, ili merodavni standardizovani nivo zvučnog pritiska udara, $L'_{nT,w}$, ima vrednost pomerene referentne krive (koja zadovoljava definisani uslov za zbir nepovoljnih odstupanja) na 500 Hz.

Veličine merodavnog normalizovanog ili standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara su adekvatne veličine za karakterizaciju zvuka udara koji nastaje hodaњem po drvenim ili betonskim podovima sa pokrivačima kao što su tepisi ili plivajući podovi [4]. Međutim, ove veličine ne uzimaju u dovoljnoj meri uticaj vršnih nivoa na niskim frekvencijama kod npr. drvenih podova sa gredama ili golih betonskih podova. Stoga se uvodi član za spektralnu korekciju, C_1 , koji se ne uključuje u jednobrojne vrednosti, već se iskazuje odvojeno, kao npr:

$$L'_{n,w}(C_1) = 63(-2) \text{ dB}.$$

Član za spektralnu korekciju, C_1 , se definiše kao [4]:

$$C_1 = L'_{n, \text{sum}} - 15 - L'_{nw}, \quad (2.4)$$

$$C_1 = L'_{nT, \text{sum}} - 15 - L'_{nTw}, \quad (2.5)$$

gde se L_{sum} dobija energijskim sabiranjem vrednosti normalizovanog ili standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara u frekvencijskom opsegu od 100 Hz do 2500 Hz:

$$L_{\text{sum}} = 10 \log \sum_{i=1}^k 10^{L_i/10}. \quad (2.6)$$

2.2 Postupak za određivanje izolacije od zvuka udara

Standard SRPS ISO EN 16283-2 [5] utvrđuje postupke za određivanje izolacije od zvuka udara koji su zasnovani na merenju zvučnog pritiska sa izvorom zvuka udara na podu ili stepeništu zgrade. Postupci se primenjuju na prostorije zapremina od 10 m³ do 250 m³, u frekvencijskom opsegu od 50 Hz do 5 000 Hz. Sve veličine se mere korišćenjem terčnih filtara sa centralnim frekvencijama od 100 Hz do 3150 Hz. Dodatno se mogu uključiti terčni opsezi za niske frekvencije (50, 63 i 80 Hz) i visoke frekvencije (4000 Hz i 5000 Hz) [5].

Određivanje izolacije od zvuka udara zahteva da se jedna prostorija izabere kao predajna. U nju se postavlja izvor zvuka udara na više položaja (najmanje četiri). Ako je reč o međuspratnoj konstrukciji, gornja prostorija se bira kao predajna, a donja kao prijemna.

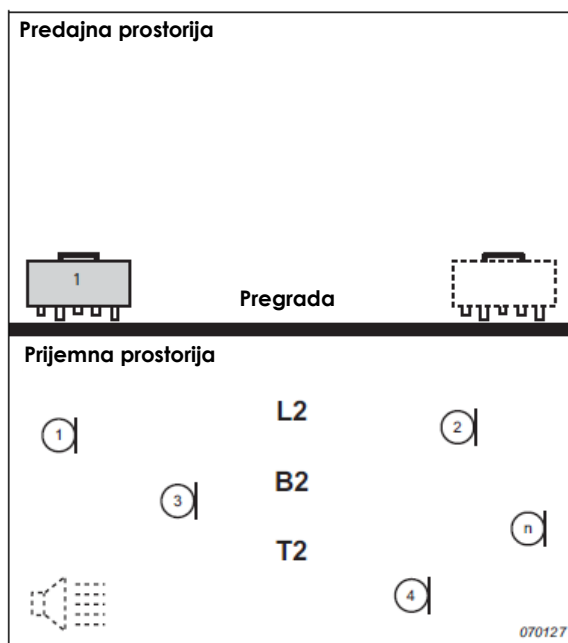
Standardni postupak za frekvencijski opseg od 100 Hz do 3150 Hz podrazumeva sledeća merenja u centralnoj zoni prostorije:

- merenje nivoa zvučnog pritiska u prijemnoj prostoriji kada je izvor udarnog zvuka uključen,
- merenje nivoa pozadinske buke u prijemnoj prostoriji kada je izvor udarnog zvuka isključen, i
- merenje vremena reverberacije u prijemnoj prostoriji.

Za merenje nivoa zvučnih pritisaka i pozadinske buke se može koristiti jedan fiskni mikrofoni koji se pomera sa položaja na položaj, niz mikrofona, mehanizovani kontinualno pokretni mikrofoni ili mikrofoni kojim se vrši ručno skeniranje [5].

Tipična postavka položaja izvora zvuka udara i mikrofona je prikazana na sl. 2.4. U dodatku E standarda [5] dati su primeri pogodnih položaja izvora zvuka udara i mikrofona za horizontalna merenja, a u dodatku F za vertikalna merenja.

Kada je zapremina predajne/prijemne prostorije manja od 25 m³ primenjuje se dodatni postupak za niske frekvencije od 50, 63 i 80 Hz. Pored merenja koje zahteva standardni postupak, tada se vrše dodatna merenja nivoa zvučnih pritisaka u uglu prostorija i primenjuje se postupak merenja vremena reverberacije za niske frekvencije.



Sl. 2.4 Tipična postavka izvora zvuka udara i mikrofona [6]

Za svaki položaj izvora zvuka udara se određuje energijski srednja vrednost nivoa zvučnog pritiska primenom jednačine (1.14) na osnovu izmerenih vrednosti nivoa zvučnog pritiska u prijemnoj prostoriji u svim položajevima mikrofona kada je izvor zvuka udara uključen. Tako dobijena vrednost se koriguje za uticaj pozadinske buke primenom jednačine (1.15). Primenom jednačina (2.1) i (2.3) se izračunava normalizovani ili standardizovani nivo zvučnog pritiska udara za svaki od položaja izvora zvuka udara. Prethodno je potrebno odrediti vreme reverberacije u prijemnoj prostoriji.

Rezultujuća vrednost normalizovanog ili standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara se izračunava kao energijski srednja vrednost pojedinačnih vrednosti za svaki položaj izvora zvuka udara primenom sledećih jednačina:

$$L'_n = 10 \log \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{L'_{n,j}/10} \right), \quad (2.7)$$

$$L'_{nT} = 10 \log \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{L'_{nT,j}/10} \right), \quad (2.8)$$

2.2.1 Položaji izvora zvuka udara

Zvuk udara se generiše korišćenjem tapkalice ili gumenih lopti kao izvora zvuka udara. Za potrebe ove laboratorijske vežbe biće razmatrano samo korišćenje tapkalice.

Tapkalica mora da bude postavljena u najmanje četiri različita položaja koji su nasumično raspoređeni na ispitivanom podu. Udaljenost tapkalice od ivica poda mora da bude najmanje 0.5 m.

2.2.2 Položaji mikrofona

Za merenje nivoa zvučnih pritisaka i nivoa pozadinske buke u prijemnoj prostoriji mogu se koristiti:

- fiksni položaji mikrofona, ili
- promenljivi položaji mikrofona (mehaničko kontinualno pomeranje mikrofona ili ručno skeniranje).

Za potrebe ove laboratorijske vežbe biće razmatrani samo fiksni položaji mikrofona.

Fiksni položaji mikrofona se koriste bez operatera ili sa operaterom, a mikrofoni se fiksiraju na stalku. U slučaju da je operater prisutan, mikrofoni treba da bude udaljen od tela operatera barem za dužinu ruke.

Kada se za generisanje zvučnog polja u predajnoj prostoriji koristi tapkalica, broj položaja mikrofona mora da bude najmanje jednak broju položaja tapkalice ili celom umnošku broja položaja tapkalice. Za svaki položaj tapkalice treba koristiti isti broj položaja mikrofona [5].

Položaji mikrofona moraju da budu raspoređeni unutar maksimalno raspoloživog prostora. Dva položaja mikrofona ne smeju da budu u istoj ravni u odnosu na granične površine prostorije. Takođe, položaji mikrofona ne treba da budu raspoređeni u obliku pravilne mreže [5].

Rastojanje između fiksnih položaja mikrofona mora da bude najmanje 0.7 m. Položaji mikrofona moraju da budu udaljeni najmanje 0.5 m od bilo koje granične površine prostorije i najmanje 1 m od pregrade na kojoj je postavljena tapkalica [5].

Dodatne smernice za izbor broja položaja tapkalice i mikrofona u zavisnosti od tipa pregrade i površine poda predajne i prijemne prostorije date su u tabeli D.1 [5].

2.2.3 Vreme usrednjavanja

Prilikom merenja nivoa zvučnih pritisaka u prijemnoj prostoriji, vreme usrednjavanja mora da ima sledeće vrednosti u zavisnosti od frekvencijskog opsega:

- fiksni položaji mikrofona: najmanje 6 s (100 Hz ÷ 400 Hz), 4 s (500 Hz ÷ 5000 Hz) i 15 s (50 Hz ÷ 80 Hz);
- promenljivi položaji mikrofona (mehaničko kontinualno pomeranje mikrofona ili ručno skeniranje): najmanje 30 s (100 Hz ÷ 5000 Hz), 60 s (50 Hz ÷ 80 Hz) uz obuhvat celog broja kompletnih putanja.

2.2.4 Merenje vremena reverberacije

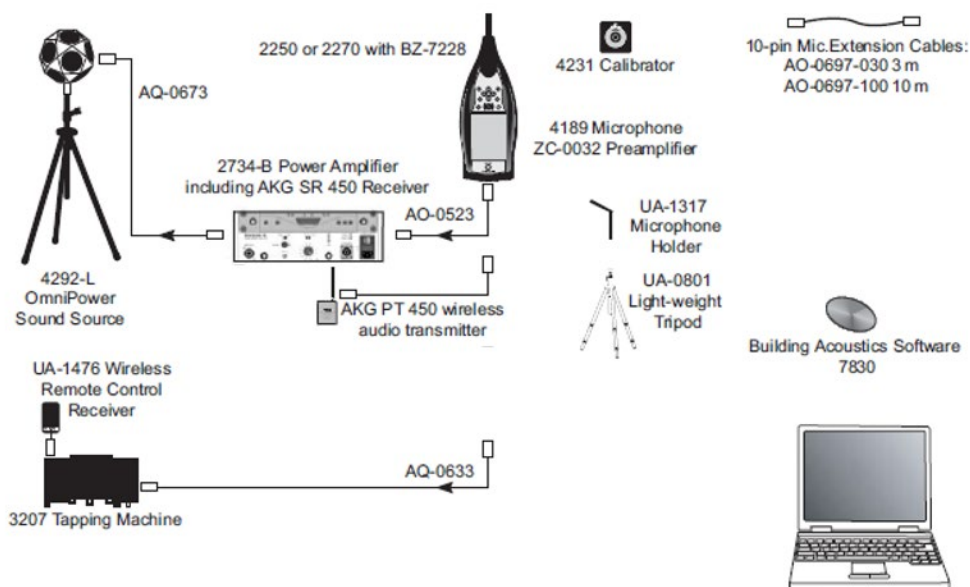
Vreme reverberacije prijemne prostorije se meri primenom klasičnih metoda opisanih u SRPS EN ISO 3382-2 [7] ili novom metodom opisanom u SRPS EN ISO 18233. Može se koristiti Metoda isključenja izvora zvuka ili Metoda integrisanog impulsnog odziva.

Za merenje vremena reverberacije se primenjuju identične smernice date u 1.2.4.

2.3 Merni lanac i povezivanje

Za merenje izolacije od zvuka udara se koristi merni lanac (sl. 2.5) naveden u poglavlju 1.3, uključujući i tapkalicu, model Bruel&Kjaer 3207 (sl. 2.6). Merilo nivoa zvuka, tip Bruel&Kjaer 2270 se koristi u jednokanalnoj varijanti.

Kompletna merna oprema (osim računara) nabavljena je u okviru Erasmus+ projekta "Jačanje obrazovnih kapaciteta kroz izgradnju kompetencija i saradnju u oblasti inženjerstva bukom i vibracijama (SENVIBE)" br. 598241-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP.



Sl. 2.5 Merni lanac za merenje izolacije od zvuka udara [5]



Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 2.6 Tapkalica, model Bruel&Kjaer 3207

Postupak povezivanja merne opreme u merni lanac je sličan postupku opisanom u poglavlju 1.3:

1. Povezati kabl AO-0697-100 dužine 10 m na merilo nivoa zvuka 2270.

Napomena: Prvi korak se može preskočiti ukoliko se mikrofonski direktno montira na merilo nivoa zvuka. Preporučuje se montiranje kabla koje omogućava lakšu manipulaciju i promenu položaja mikrofona.

2. Na kraj kabla AO-0697-100 povezati pretpojačavač ZC-0032 i kondenzatorski mikrofonski 4189.
3. Mikrofonski sa pretpojačavačem postaviti na stalak sa držačem za mikrofonski. Na mikrofonski, po potrebi, postaviti štitić od vetra radi zaštite od prašine.
4. Kablom AO-1456 povezati audio prenosnik PT470 i konektor OUTPUT na merilo nivoa zvuka 2270 (sl. 1.14).
5. Kablom AO-0041 povezati računar i merilo nivoa zvuka 2270 (sl. 1.15).
Napomena: Ovaj korak je opcioni i omogućava kontrolu rada merila nivoa zvuka preko računara i softvera BZ-5503. U suprotnom, rad merila nivoa zvuka se kontroliše direktno na ekranu merila nivoa zvuka.
6. Kablom AQ-0673 povezati izlaz „Loudspeaker“ pojačala snage 2734-B sa izvorom zvuka 4292-L (sl. 1.16). Pojačalo snage povezati napojnim kablom na 220 V.
7. Uključiti pojačalo snage 2734-B, merilo nivoa zvuka 2270 i audio prenosnik PT-470 (sl. 1.17).
8. Povezati tapkalicu na mrežni napon i uključiti je neposredno pre postupka merenja.

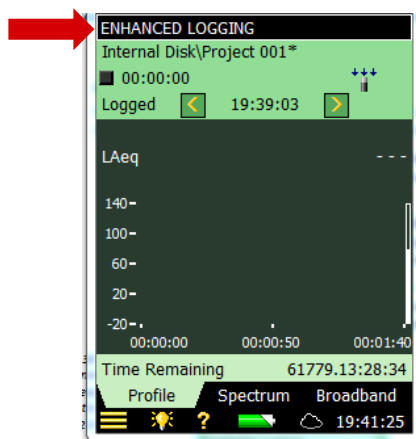
2.4 Kalibracija mernog sistema

Postupak kalibracije je opisan u poglavlju 1.4. U jednokanalnoj varijanti merila nivoa zvuka 2270 potrebno je preskočiti korak izbora kanala za kalibraciju jer je na raspolaganju kalibracija samo jednog kanala.

2.5 Podešavanje mernih instrumenata

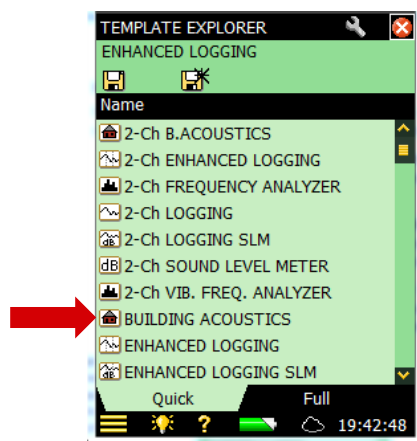
2.5.1 Podešavanje merila nivoa zvuka 2270

Kliknuti u desni ugao crne trake za izbor templejta za merenje.

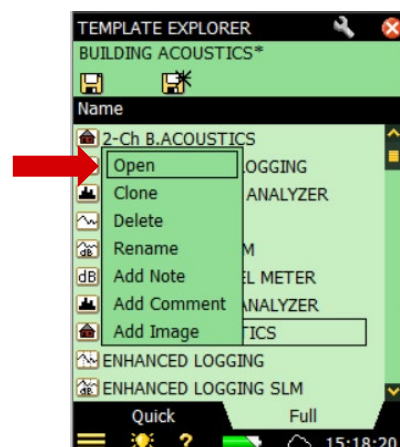


Iz padajućeg menija izabrati templejt „BUILDING ACOUSTICS“.

Templejt je namenjen za merenja u građevinskoj akustici pomoću jednog mikrofona.



U padajućem meniju izabrati opciju „Open“.

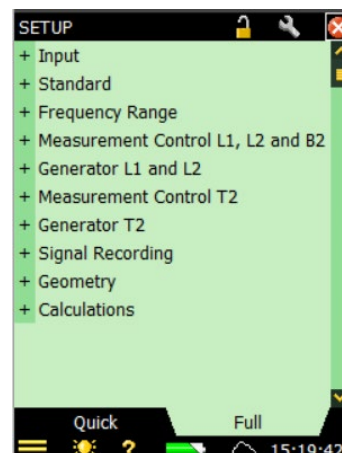


Otvoriti meni za podešavanje merila nivoa zvuka izborom opcije „Setup“.

U opciji „Setup“ je moguće podešavanje različitih grupa parametara. Grupa parametara se otvara klikom na +.

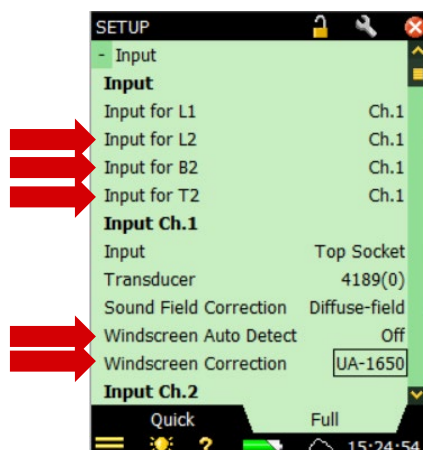
Jedan deo podešavanja je identičan podešavanjima koja su objašnjena u poglavlju 1.5.

U nastavku će biti objašnjena podešavanja specifična za merenje izolacije od zvuka udara.



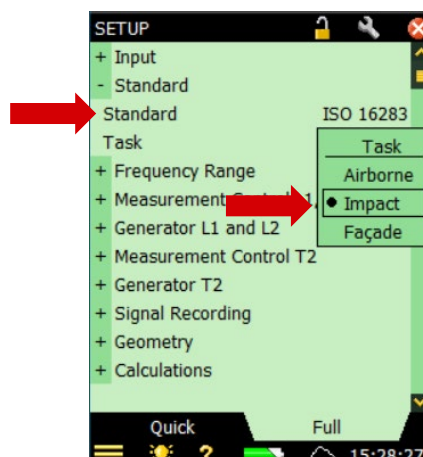
Podešavanja parametara u meniju „Input“.

Za sva merenja (L2, B2 i T2) se bira mikrofoni na Ch.1, sa korekcijom za difuzno zvučno polje i korekcijom za korišćenje štitnika od vetra (vidi sliku).



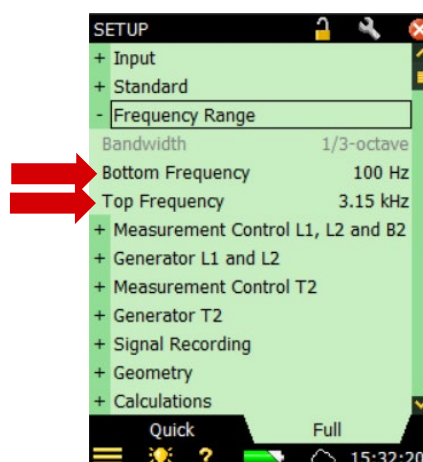
U meniju „Standard“ se bira standard za merenje izolacije od zvuka udara i podešava se parametar za „Task“.

Izabrati opciju „ISO 16238“ i „Impact“.



U delu menija „Frequency range“ se podešava tip filtra koji se koristi za merenje, kao i donja i gornja granična frekvencija opsega u kojem se vrši merenje.

Izabrati 100 Hz za donju, a 3.15 kHz za gornju graničnu frekvenciju (standardni opseg merenja).

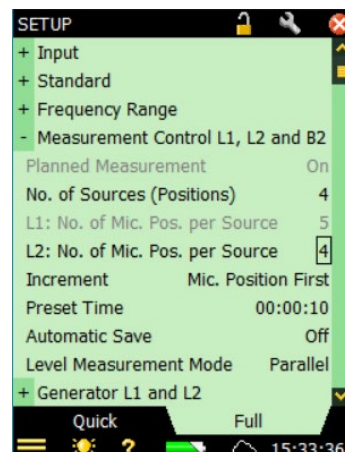


U delu menija „Measurement Control L1, L2 and B2“ se podešava kontrola procesa merenja.

Izabrati vrednosti kao na slici.

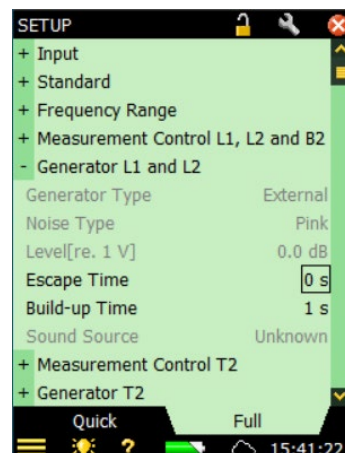
Merenje će biti izvršeno sa četiri položaja tapkalice i četiri položaja mikrofona za svaki položaj tapkalice.

Podešavanje ostalih parametara je objašnjeno u 1.5.



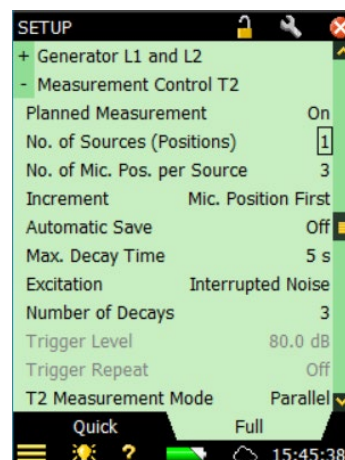
U delu menija „Generator L1 and L2“ su prva tri parametra, kao i poslednji, automatski podešeni i ne mogu se menjati jer se koristi eksterni izvor (tapkalica). U ovom meniju se može podesiti vreme „Escape Time“ u kome merilac/operator može da napusti prostoriju pre početka merenja i vreme „Build-up Time“ za uspostavljanje stacionarnog stanja u prostoriji nakon uključenja izvora zvuka udara (tapkalice).

Izabrati opcije kao na slici.



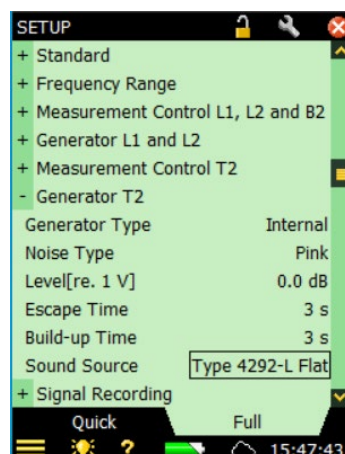
U delu menija „Measurement Control T2“ za podešavanja parametara pogledati podešavanja odgovarajućeg menija u 1.5.

Izabrati opcije kao na slici.



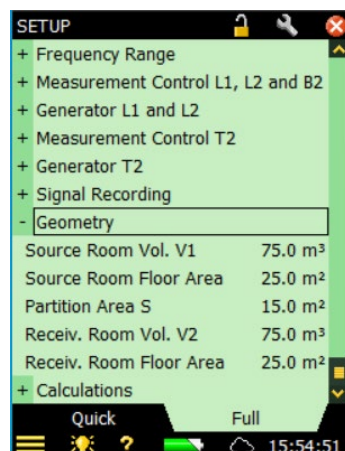
U delu menija „Generator T2“ za podešavanje parametara pogledati podešavanja odgovarajućeg menija u 1.5.

Izvršiti podešavanje kao na slici.



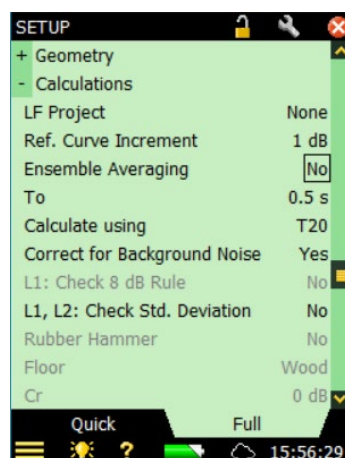
U delu menija „Geometry“ uneti podatke o predajnoj i prijemnoj prostoriji: podatke o površini poda predajne prostorije i površini tavanice prijemne prostorije, kao i podatke o zapremini prostorija. Podatak o površini pregradnog zida nije relevantan za merenje izolacije od zvuka udara.

Izvršiti podešavanje u skladu sa zadatkom.



U delu menija „Calculations“ za podešavanje parametara pogledati podešavanja odgovarajućeg menija u 1.5.

Izvršiti podešavanje kao na slici.



Definisati folder na internom disku merila nivoa zvuka gde će se snimati merni rezultati prema uputstvima datim u 1.5.

2.5.2 Podešavanje pojačala snage 2734B

Za merenje vremena reverberacije u prijemnoj prostoriji izvršiti podešavanje pojačala snage na sledeći način:

1. Podesiti skokovito slabljenje pojačala snage na -10 dB (sl. 1.21 levo).
2. Podesiti kontinualno slabljenje pojačala snage na -5 dB (sl. 1.21 desno).
Ukupno slabljenje je -15 dB.

2.6 Postupak merenja

2.6.1 Merenje L2

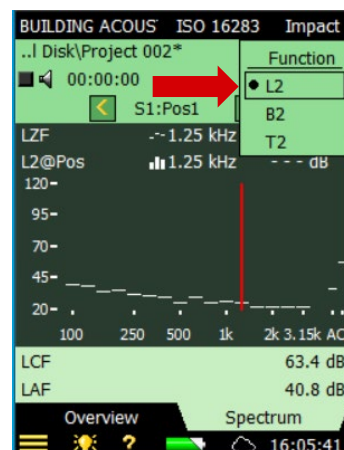
1. Obeležiti položaje tapkalice u predajnoj prostoriji, kao i položaje mikrofona u prijemnoj prostoriji.
2. Tapkalicu smestiti u predajnu prostoriju na prvi položaj, a merilo nivoa zvuka u prijemnu prostoriju na prvi položaj mikrofona.
3. Slediti uputstva u daljem tekstu.

U statusnoj liniji koja označava funkciju merenja koje se sprovodi izabrati L2.

Slediti uputstva za merenje i memorisanje rezultata merenja koja su dati u 1.6.1.

Ponoviti prethodne korake za četiri položaja tapkalice i četiri položaja mikrofona, pri čemu se prvo menjaju položaji mikrofona.

U statusnoj liniji pratiti položaje tapkalice i mikrofona.



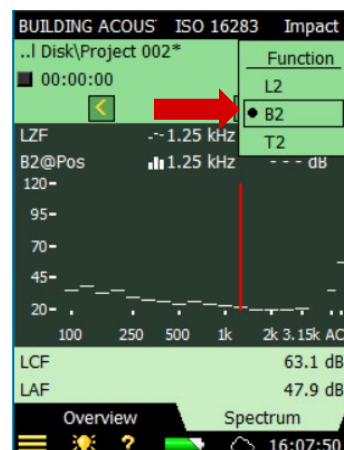
2.6.2 Merenje pozadinske buke u prijemnoj prostoriji

U statusnoj liniji koja označava funkciju merenja koje se sprovodi izabrati B2.

Startovati i memorisati merenje prema već opisanom postupku.

Merenja pozadinske buke u prijemnoj prostoriji izvršiti u svim položajima mikrofona koji su korišćeni za merenje L2.

U statusnoj liniji pratiti položaje mikrofona.



2.6.3 Merenje vremena reverberacije u prijemnoj prostoriji

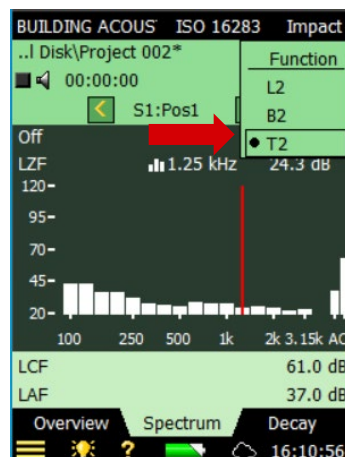
1. Obeležiti položaje izvora zvuka i mikrofona u prijemnoj prostoriji za merenje vremena reverberacije.
2. Izvor zvuka, pojačalo snage i merilo nivoa zvuka smestiti u prijemnu prostoriju u prvi položaj mikrofona.
3. Slediti uputstva u daljem tekstu.

U statusnoj liniji koja označava funkciju merenja koje se sprovodi izabrati T2.

Startovati i memorisati merenje prema već opisanom postupku.

Ponoviti merenja za sva tri položaja mikrofona.

U statusnoj liniji pratiti položaje mikrofona.



2.6.4 Prenos i obrada rezultata merenja

Postupak prenosa i obrade rezultata merenja je identičan postupku koji je opisan u 1.6.4.

2.7 Zadatak

Odrediti izolaciju od zvuka udara međuspratne konstrukcije između prostorija dimenzija ____ × ____ × ____ [m] i ____ × ____ × ____ [m].

- Izvršiti merenje nivoa zvučnog pritiska u prijemnoj prostoriji, L_2 , sa četiri položaja tapkalice u predajnoj prostoriji i četiri položaja mikrofona u prijemnoj prostoriji;
- Izvršiti merenje nivoa zvučnog pritiska pozadinske buke u prijemnoj prostoriji, L_B , na četiri položaja mikrofona;
- Izvršiti merenje vremena reverberacije, T_R , u prijemnoj prostoriji sa jednim položajem izvora zvuka i tri položaja mikrofona;
- Na osnovu vrednosti L_2 , L_B i T_R , za sve položaje tapkalice i mikrofona izračunati vrednosti za standardizovani nivo zvučnog pritiska udara, L'_{nT} , i prikazati ih grafički;
- Izračunati vrednost merodavnog standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara, $L'_{nT,w}$;
- Izračunati vrednost člana za spektralnu korekciju, C_1 .

2.8 Literatura

- [1] M. Möser, Engineering Acoustics – An Introduction to Noise Control, Springer, ISBN: 978-3-540-92722-8, 2009
- [2] M. Long, Architectural Acoustics, Elsevier, ISBN: 978-0-12-398258-2, United States, 2014
- [3] M. Prašević, D. Cvetković, D. Mihajlov, Buka u životnoj sredini, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, ISBN: 978-86-6093-095-0, Niš, 2020
- [4] SRPS EN ISO 717-2:2021 Akustika – Ocena zvučne izolacije u zgradama i zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 2: Izolacija od zvuka udara.
- [5] SRPS EN ISO 16283-2:2021 Akustika – Terensko merenje zvučne izolacije u zgradama i zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 2: Izolacija od zvuka udara.
- [6] Building Acoustics Software BZ-7228 for use with Hand-held Analyzer Types 2250 and 2270, User manual BE 1799 – 18, Bruel&Kjaer, Denmark, 2016
- [7] SRPS EN ISO 3382-2:2010 Akustika - Merenje akustičkih parametara u prostoriji - Deo 2: Vreme reverberacije u običnim prostorijama

2.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna

2.9.1 Rezultati merenja nivoa zvuka u prijemnoj prostoriji

Nivo zvuka u prijemnoj prostoriji										
f [Hz]	L_{2i} [dB]					L_{2i} [dB]				
	Položaj tapkalice 1					Položaj tapkalice 2				
	Položaj mikrofona, i				$\bar{L}_2$ [dB]	Položaj mikrofona, i				$\bar{L}_2$ [dB]
	1	2	3	4		1	2	3	4	
100										
125										
160										
200										
250										
315										
400										
500										
630										
800										
1000										
1250										
1600										
2000										
2500										
3150										

Nivo zvuka u prijemnoj prostoriji										
f [Hz]	L _{2i} [dB]					L _{2i} [dB]				
	Položaj tapkalice 3					Položaj tapkalice 4				
	Položaj mikrofona, i				L̄ ₂ [dB]	Položaj mikrofona, i				L̄ ₂ [dB]
	1	2	3	4		1	2	3	4	
100										
125										
160										
200										
250										
315										
400										
500										
630										
800										
1000										
1250										
1600										
2000										
2500										
3150										

2.9.2 Rezultati merenje nivoa pozadinske buke i vremena reverberacije

f [Hz]	Nivo pozadinske buke					Vreme reverberacije			
	L_{Bi} [dB]				$\bar{L}_B$ [dB]	T_{Ri} [s]			$\bar{T}_R$ [s]
	Položaj mikrofona, i					Položaj mikrofona, i			
	1	2	3	4		1	2	3	
100									
125									
160									
200									
250									
315									
400									
500									
630									
800									
1000									
1250									
1600									
2000									
2500									
3150									

2.9.3 Rezultati proračuna standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara

Standardizovani nivo zvučnog pritiska udara					
f [Hz]	L'_{nTj} [dB]*				$\overline{L'}_{nT}$ [dB]
	Položaj tapkalice, j				
	1	2	3	4	
100					
125					
160					
200					
250					
315					
400					
500					
630					
800					
1000					
1250					
1600					
2000					
2500					
3150					

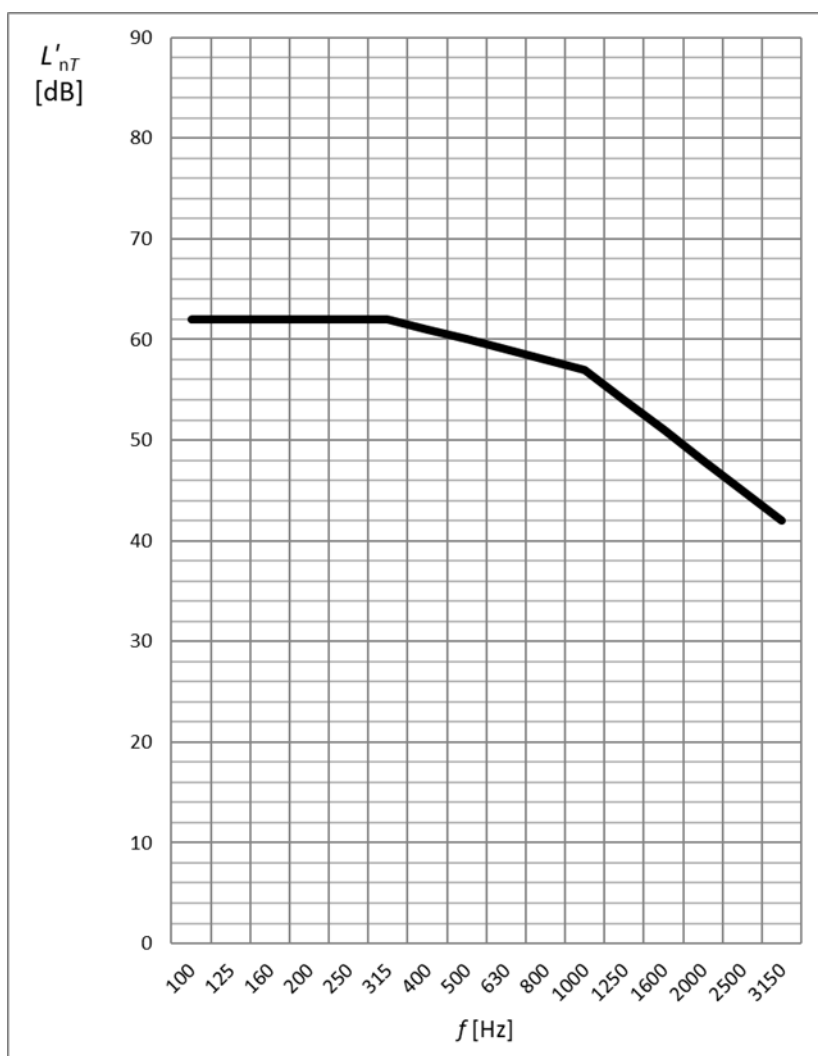
$$* L'_{nTj} = 10 \log(10^{\overline{L}_{2j}} - 10^{\overline{L}_B}) - 10 \log \frac{\overline{T}_R}{0.5}$$

2.9.4 Rezultati proračuna merodavnog standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara i člana za spektralnu korekciju

f [Hz]	Proračun merodavnog standardizovanog nivoa zvučnog pritiska udara, L'_{nTw} , i člana za spektralnu korekciju, C_1								
	$\overline{L'}_{nT}$	S	$S - \overline{L'}_{nT}$	$S' = S$ _____	$S' - \overline{L'}_{nT}$	$S'' = S$ _____	$S'' - \overline{L'}_{nT}$	$S''' = S$ _____	$S''' - \overline{L'}_{nT}$
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100		62							
125		62							
160		62							
200		62							
250		62							
315		62							
400		61							
500		60							
630		59							
800		58							
1000		57							
1250		54							
1600		51							
2000		48							
2500		45							
3150		42							
		$z =$ _____ dB		$z' =$ _____ dB		$z'' =$ _____ dB		$z''' =$ _____ dB	
$L_{nT, \text{sum}} = 10 \log \sum_{i=1}^k 10^{L'_{nT}/10} =$ _____ dB; $C_1 = L'_{nT, \text{sum}} - 15 - L'_{nTw} =$ _____ dB								$L'_{nTw} =$ _____ dB	

2.9.5 Grafički prikaz proračuna

f [Hz]	L'_{nT} [dB]
100	
125	
160	
200	
250	
315	
400	
500	
630	
800	
1000	
1250	
1600	
2000	
2500	
3150	
L'_{nTw} [dB]	
C_1 [dB]	

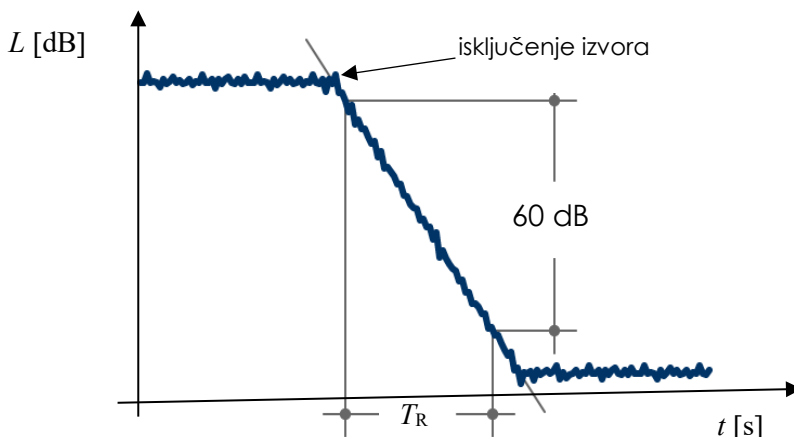


MERENJE VREMENA REVERBERACIJE U SLUŠAONICAMA

3

3.1 Teorijske osnove

Analizom promena nivoa zvuka u zatvorenoj prostoriji pri uključivanju i isključivanju izvora zvuka može se pokazati da je porast nivoa zvuka relativno brz, dok je opadanje nivoa postepeno i ravnomerno. Nakon isključenja izvora zvuka, nivo zvuka opada po linearnom zakonu (sl. 3.1).



Sl. 3.1 Opadanje nivoa zvuka u zatvorenoj prostoriji

Način i brzina opadanja energije zvuka u prostoriji su uzeti kao kriterijumi za ocenu akustičkog kvaliteta prostorije. Uvedena je i nova veličina koja opisuje brzinu opadanja energije zvuka u prostoriji - vreme reverberacije (W. C. Sabine, 1885).

Vreme reverberacije, T_R [s], se definiše kao vreme koje je potrebno da gustina energije zvuka u prostoriji opadne nakon isključenja izvora zvuka na milioniti deo vrednosti u odnosu na stacionarno stanje. Odnosno, to je vreme koje je potrebno da nivo zvuka nakon isključenja izvora zvuka opadne u prostoriji za 60 dB u odnosu na nivo zvuka u stacionarnom stanju.

Osnovne karakteristike vremena reverberacije su:

- vreme reverberacije je isto u svim tačkama prostorije;
- vreme reverberacije ne zavisi od položaja izvora zvuka u prostoriji;
- vreme reverberacije zavisi od zapremine prostorije i apsorpcionih osobina graničnih zidova prostorije;
- vreme reverberacije je frekvencijski zavisna veličina.

Obrazac za izračunavanje vremena reverberacije prostorije se može izvesti polazeći od zakona koji definiše proces opadanja gustine energije zvuka u prostoriji i definicije vremena reverberacije [1]:

$$T_R = 0.162 \frac{V}{A}, \quad (3.1)$$

gde je: V – zapremina prostorije u m^3 , A – apsorpciona površina prostorije u m^2 .

Izraz je poznat kao Sabinov obrazac za izračunavanje vremena reverberacije. Sabinov obrazac je primenljiv za prostorije sa približno difuznim zvučnim poljem gde je vreme reverberacije veće od 0.8 s.

Vreme reverberacije je osnovna veličina koja opisuje akustički kvalitet zatvorenog prostora i kao takva se može veoma lako i precizno meriti i relativno tačno izračunati ako su poznate dimenzije prostora i koeficijent apsorpcije graničnih zidova prostorije.

Najčešća metoda merenja vremena reverberacije podrazumeva korišćenje izvora širokopojasnog zvuka za generisanje zvučnog polja. Nakon postizanja stacionarnog stanja, izvor zvuka se isključuje i prati se proces opadanja energije zvuka (sl. 3.1). Na osnovu krive opadanja nivoa zvuka u funkciji vremena, dobijene za svaki analizirani terčni frekvencijski opseg, vreme reverberacije se određuje izračunavanjem vremena koje je potrebno da nivo zvuka u prostoriji opadne za 60 dB u odnosu na nivo zvuka u prostoriji kada je izvor bio uključen.

U postupku merenja ponekad nije moguće ostvariti dinamiku pada nivoa zvuka za 60 dB, pa se vreme reverberacije određuje na osnovu pada za 20 dB (T_{20}), 25 dB (T_{25}), 30 dB (T_{30}) i sl.

Vreme reverberacije se tada određuje polazeći od činjenice da nivo zvuka u prostoriji nakon isključenja izvora zvuka opada po linearnom zakonu, što omogućava uvođenje proporcije (npr. za pad nivoa zvuka od 30 dB):

$$T_R : 60 \text{ dB} = T_{30} : 30 \text{ dB}, \quad (3.2)$$

odakle je vreme reverberacije:

$$T_R = 2 \cdot T_{30} \quad (3.3)$$

3.2 Metode za merenje vremena reverberacije u dvoranama za javne nastupe

Standard SRPS EN ISO 3382-1 [2] utvrđuje metode za merenje vremena reverberacije i drugih akustičkih parametara prostorije u dvoranama za javne nastupe. Merenje vremena reverberacije može da se vrši u bilo kojem stanju popunjenosti prostora.

Standard utvrđuje dve metode merenja vremena reverberacije:

- metodu isključenja izvora buke i
- metodu integrisanog impulsnog odziva.

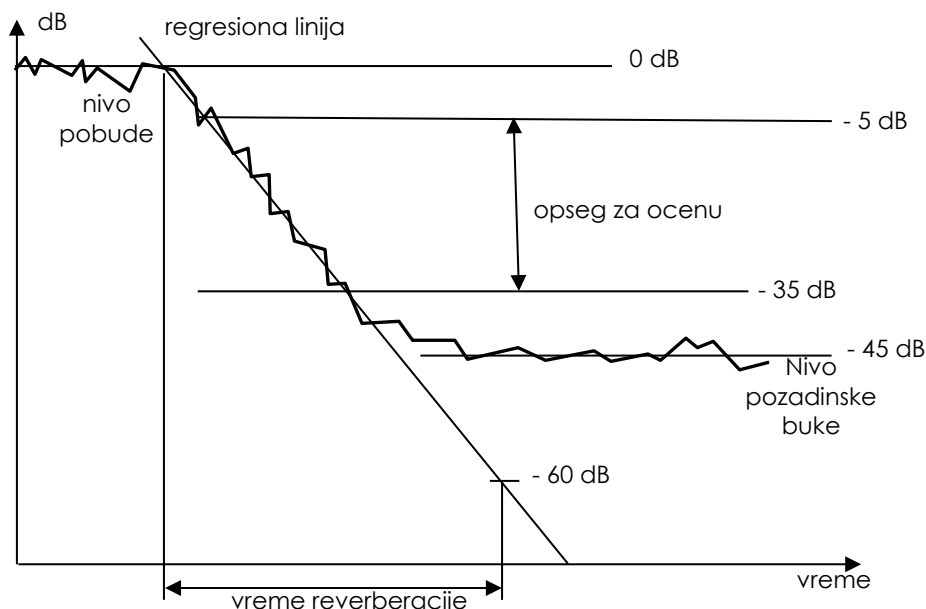
3.2.1 Merenje vremena reverberacije metodom isključenja izvora buke

Za pobudu zvučnog polja se koristi izvor zvuka koji emituje roze šum, odnosno spektar koji je ravan u frekvencijskom opsegu. Izvor zvuka treba da emituje nivo zvučnog pritiska koji će nakon isključenja obezbediti krivu opadanja koja je barem 35 dB iznad nivoa pozadinske buke u odgovarajućem frekvencijskom opsegu. Ako se meri T_{30} , neophodno je imati nivo od barem 45 dB iznad nivoa pozadinske buke u svakom frekvencijskom opsegu (sl. 3.2).

Trajanje pobude prostorije treba da bude dovoljno dugo da se uspostavi stacionarno stanje pre isključenja izvora zvuka.

Nakon isključenja izvora zvuka beleži se kriva opadanja za sve položaje izvora zvuka i mikrofona, na osnovu koje se određuje vreme reverberacije. Radi povećanja merne preciznosti, preporučuje se ponavljanje merenja u svakom položaju mikrofona i usrednjavanje rezultata na jedan od dva načina:

- određivanjem pojedinačnih vremena reverberacije za svaku krivu opadanja i izračunavanjem srednje vrednosti, ili
- usrednjavanjem krivih opadanja i određivanjem vremena reverberacije na osnovu rezultujuće krive.



Sl. 3.2 Opseg za ocenu za merenje T_{30}

Na sl. 1.20 je prikazan tipičan proces merenja krive opadanja na osnovu koje se određuje vreme reverberacije.

Vreme reverberacije se meri u oktavnim ili tercnim opsezima. Ukoliko se merenje vrši u tercnim opsezima, treba da se obuhvate barem terce sa centralnim frekvencijama od 100 Hz do 5000 Hz.

3.2.2 Položaji izvora zvuka

Izvor zvuka koji se koristi za pobudu zvučnog polja u prostoriji mora da bude približno neusmeren i mora da generiše nivo zvučnog pritiska koji je dovoljan da obezbedi krivu opadanja sa zahtevanim minimalnim dinamičkim opsegom bez značajnog uticaja pozadinske buke.

Izvori zvuka se postavljaju na visini 1.5 m od poda prostorije, na tipičnim položajima izvora zvuka koji inače postoje u slušaonici. Koriste se najmanje dva položaja izvora zvuka [2]. U malim slušaonicama, gde normalno postoji samo jedan izvor zvuka, prihvatljivo je korišćenje samo jednog položaja izvora.

3.2.3 Položaji mikrofona

Za merenje nivoa zvučnog pritiska se koriste neusmereni mikrofoni koji se postavljaju na položajima koji su reprezentativni za uobičajene položaje slušalaca u prostoriji. Mikrofoni se postavljaju na visini 1.2 m od poda.

Položaji mikrofona treba da budu tako raspoređeni da se pokrije ceo prostor. Za uobičajeni frekvencijski opseg, položaji mikrofona moraju da budu međusobno udaljeni

2 m, odnosno polovinu talasne dužine i 1 m od najbližih reflektujućih površina, uključujući i pod, odnosno četvrtinu talasne dužine [2].

Zavisno od veličine prostorije, koristi se od 6 do 10 položaja mikrofona. Za prostorije sa 500 sedišta se koristi najmanje 6 položaja, za prostorije sa 1000 sedišta najmanje 8 položaja, a za prostorije sa 2000 sedišta najmanje 10 položaja [2].

Ako prostorija ima odvojene zone, kao što su npr. balkoni, neophodno je da se koristi više položaja mikrofona.

3.2.4 Merna nesigurnost

Merna nesigurnost kod metode isključenja izvora zvuka zavisi u velikoj meri od broja izvršenih usrednjavanja zbog slučajne prirode pobudnog signala. Standardna devijacija mernih rezultata se može proceniti na osnovu jednačina [2]:

$$\sigma(T_{20}) = 0.88 \cdot T_{20} \cdot \sqrt{\frac{1 + 1.90/n}{N \cdot B \cdot T_{20}}}, \quad (3.4)$$

$$\sigma(T_{30}) = 0.55 \cdot T_{30} \cdot \sqrt{\frac{1 + 1.52/n}{N \cdot B \cdot T_{30}}}, \quad (3.5)$$

gde je:

B – širina propusnog opsega u Hz ($B = 0.71 \cdot f_c$ za oktavne filtre, $B = 0.23 \cdot f_c$ za tercne filtre; f_c je centralna frekvencija filtra u Hz);

N – broj nezavisnih mernih položaja (kombinacija položaja izvora zvuka i mikrofona);

n – broj izmerenih krivih opadanja u svakom položaju;

T_{20} – vreme za koje nivo zvuka opadne za 20 dB;

T_{30} – vreme za koje nivo zvuka opadne za 30 dB.

3.3 Merni lanac i povezivanje

Za merenje vremena reverberacije se primenjuje merni lanac naveden u poglavlju 1.3 (sl. 1.6), isključujući adapter JP-1041 i flet kabl AR-0199. Merilo nivoa zvuka, tip Bruel&Kjaer 2270 se koristi u jednokanalnoj varijanti sa softverom BZ-7227.

Kompletna merna oprema (osim računara) nabavljena je u okviru Erasmus+ projekta "Jačanje obrazovnih kapaciteta kroz izgradnju kompetencija i saradnju u oblasti inženjerstva bukom i vibracijama (SENVIBE)" br. 598241-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP.

Postupak povezivanja merne opreme u merni lanac je identičan postupku opisanom u poglavlju 2.3, isključujući 8. korak.

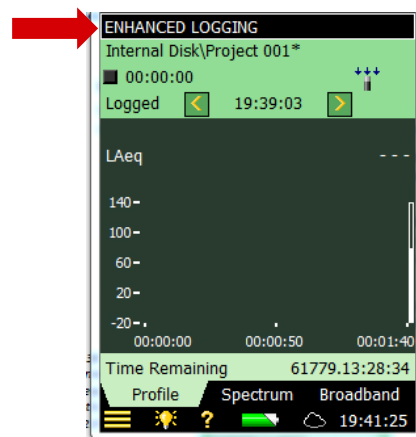
3.4 Kalibracija mernog sistema

Postupak kalibracije je opisan u poglavlju 1.4. U jednokanalnoj varijanti merila nivoa zvuka 2270 potrebno je preskočiti korak izbora kanala za kalibraciju jer je na raspolaganju kalibracija samo jednog kanala.

3.5 Podešavanje mernih instrumenata

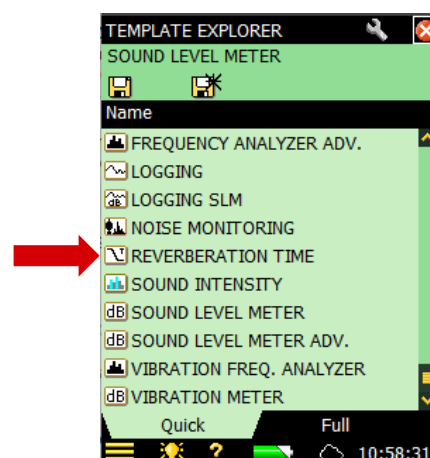
3.5.1 Podešavanje merila nivoa zvuka 2270

Kliknuti u desni ugao crne trake za izbor templejta za merenje.

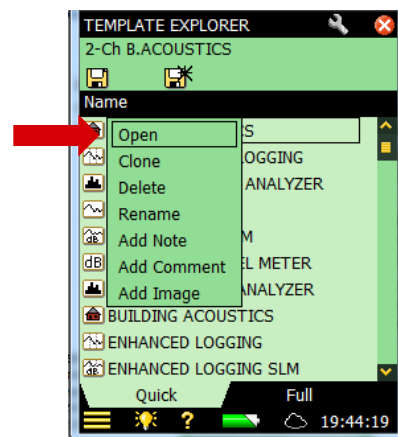


Iz padajućeg menija izabrati templejt „REVERBERATION TIME“.

Izabrani templejt omogućava merenje vremena reverberacije u prostotijama.

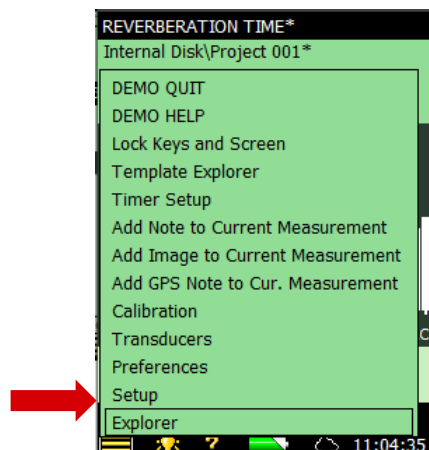


U padajućem meniju izabrati opciju „Open“.



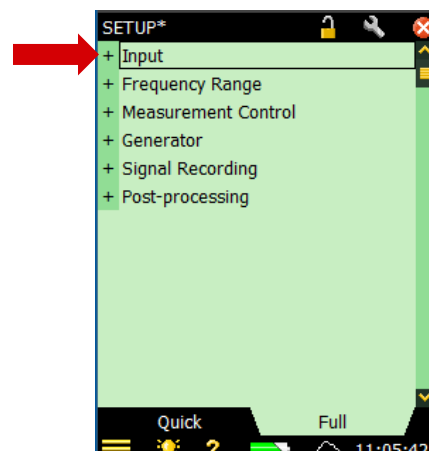
Otvoriti meni za podešavanje instrumenta.

Izabrati opciju „Setup“.



U opciji „Setup“ moguće je podešavanje različitih grupa parametara. Grupa parametara se otvara klikom na +.

Kliknuti na + ispred opcije „Input“.

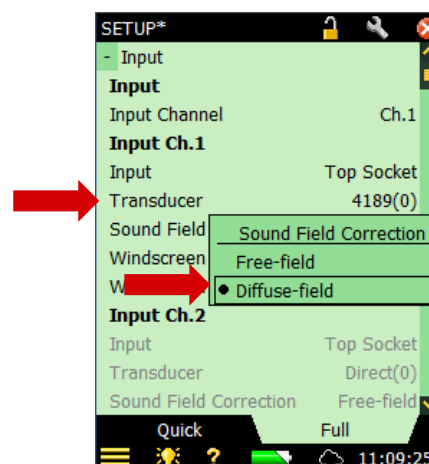


U delu podešavanja kanala „Channels“ moguće je iz padajućih menija izabrati pretvarač koji se koristi (izabrati mikrofonski 4189) i korekciju zvučnog polja „Sound Field Correction“).

Izabrati opciju „Diffuse field“ jer se merenje vrši u zatvorenom prostoru.

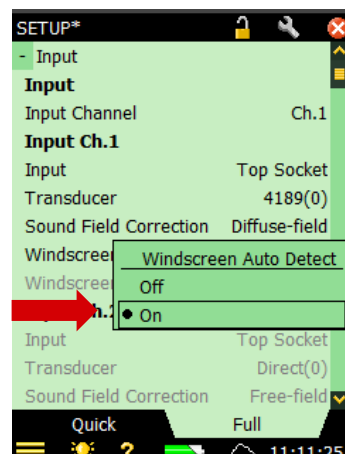
Za merenja u slobodnom zvučnom polju se koristi korekcija „Free field“.

Podešavanja za Ch.2 su neaktivna jer softver za merenje vremena reverberacije koristi samo jedan mikrofonski.



U delu podešavanja kanala „Channels“ moguće je definisati automatsku detekciju štitnika „Windscreen Auto Detect“. Ako se izabere opcija „On“ iz padajućeg menija, opcija „Windscreen Correction“ je neaktivna.

Izabrati opciju „On“.



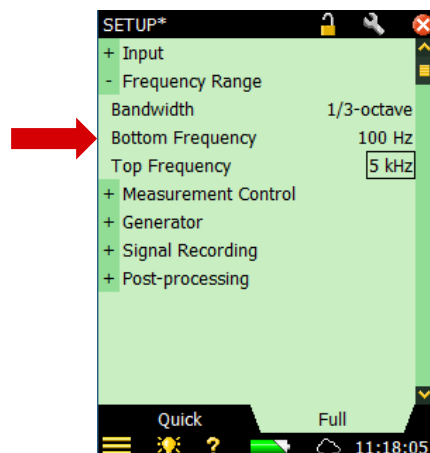
U delu menija „Frequency range“ se podešava tip filtra koji se koristi za merenje, kao i donja i gornja granična frekvencija opsega u kojem se vrši merenje.

U opciji „Bandwidth“ je moguće izabrati tercne ili oktavne filtre.

Izabrati tercne filtre.

Donja granična frekvencija se može spustiti do 50 Hz, a gornja podići do 10 kHz.

Izabrati 100 Hz za donju, a 5 kHz za gornju graničnu frekvenciju (standardni opseg merenja).



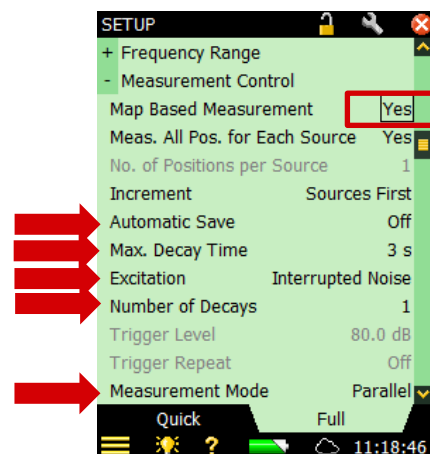
U delu menija „Measurement Control“ se podešava kontrola procesa merenja.

Ukoliko je opcija „Map Based Measurement“ isključena („No“), krive opadanja će biti redom numerisane od Pos.1 do Pos. N. U tom slučaju je moguće podešavati samo parametre određenih opcija (vidi sliku).

Podešavanje ovih parametara će biti objašnjeno u daljem tekstu.

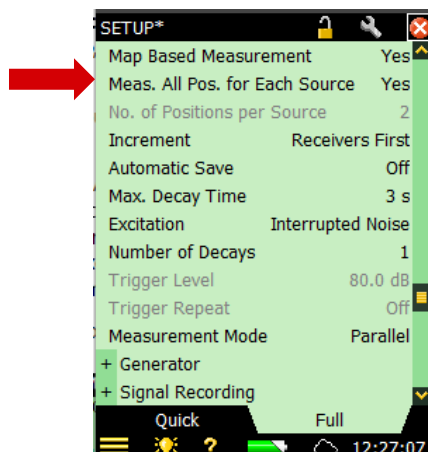
Ukoliko je opcija „Map Based Measurement“ uključena („Yes“), krive opadanja se smeštaju na mapu koja je prikazana u „Overview“ meniju u fazi merenja i numerišu se prema položaju izvora i mikrofona (npr. S1R2 znači položaj izvora zvuka 1 i položaj mikrofona 2).

Izabrati „Yes“ za „Map Based Measurement“.



Ukoliko je opcija „Meas. All Pos. For Each Source“ uključena („Yes“), mere se krive opadanja za sve kombinacije izvora zvuka i prijemnika. U suprotnom se definišu različiti položaji mikrofona po izvoru zvuka.

Izabrati „Yes“.

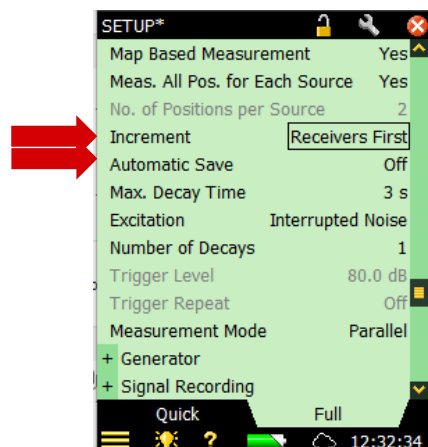


Opcijom „Increment“ se definiše redosled kojim se vrše promene položaja mikrofona i izvora zvuka. Postoje tri opcije „Source First“ (prvo se vrši pomeranje izvora zvuka za svaki položaj mikrofona), „Receivers First“ (za svaki položaj izvora zvuka se prvo menjaju položaji mikrofona) ili Manual (ručno).

Izabrati „Receivers First“.

Podešavanje opcije „Automatic Save“ je objašnjeno u poglavlju 1.

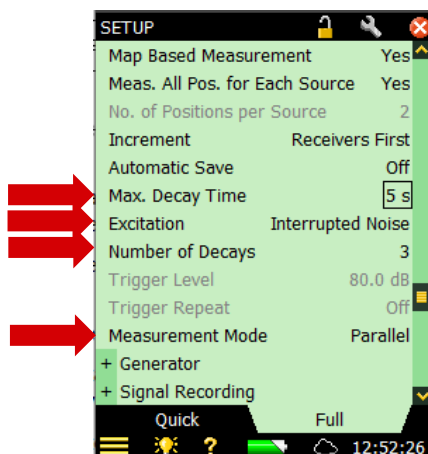
Izabrati opciju „Off“.



Dalje, u delu menija „Measurement Control“ se podešava maksimalno vreme opadanja nivoa zvuka koje se snima „Max. Decay Time“ (sl. 1.20), pobuda u „Excitation“, broj krivih opadanja koje se snimaju po položaju mikrofona u „Number of Decays“ i način merenja u frekvencijskim opsezima u „Measurement mode“.

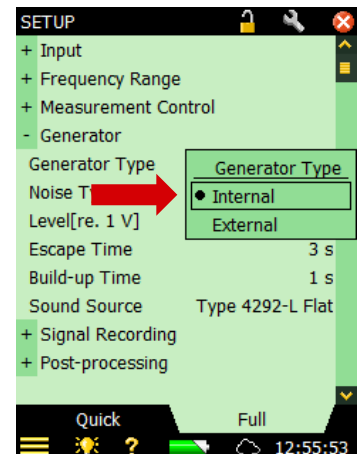
Značenje ovih opcija je objašnjeno u poglavlju 1.

Izvršiti podešavanja kao na slici.



U delu menija „Generator L1 and L2“ definiše se tip generatora. Podešava se na „Internal“ za korišćenje internog generatora merila nivoa zvuka, a za korišćenje eksternog generatora se podešava na „External“.

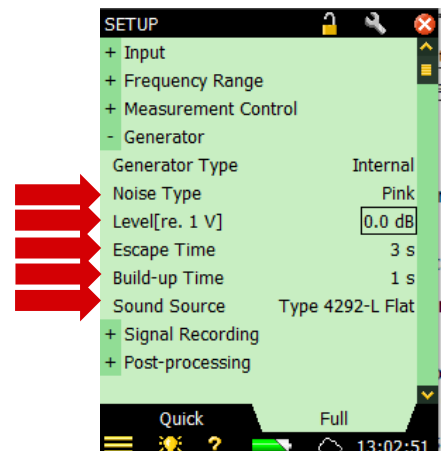
Izabrati opciju „Internal“.



Dalje se podešava tip buke koju daje interni generator („Noise Type“), slabljenje internog generatora „Level[re. 1V]“, vreme „Escape Time“ u kome merilac može da napusti prostoriju pre početka merenja (vidi sl. 1.20), vreme „Build-up Time“ za uspostavljanje stacionarnog stanja u prostoriji nakon uključenja izvora zvuka (vidi sl. 1.20) i model izvora zvuka „Sound Source“).

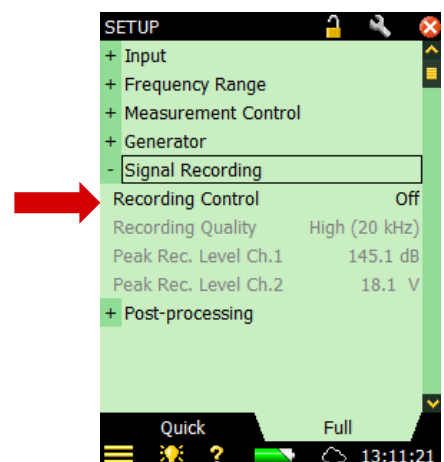
Značenje ovih opcija je objašnjeno u poglavlju 1.

Izvršiti podešavanja kao na slici.



U delu menija „Signal Recording“ se može uključiti opcija snimanja zvučnog signala za dalju obradu. Ova opcija je od značaja ako se izabere impulsna pobuda zvučnog polja.

Podesiti „Recording Control“ na „Off“.



U delu menija „Post-processing“, u opciji „Ensemble averaging“, definiše se način usrednjavanja krivih opadanja. Ukoliko je izabrana opcija „Yes“, sve krive opadanja za sve položaje izvora zvuka i mikrofona se usrednjavaju i vreme reverberacije se određuje na osnovu rezultujuće krive. U suprotnom se vreme reverberacije određuje za svaki položaj i na kraju se određuje srednja vrednost.

Podesiti „Ensamble Averaging“ na „No“.

U opcijama „Wide Band RT Bottom“ i „Wide Band RT Top“ se podešava donja i gornja granica frekvencijskog opsega u kome se određuju širokopojasne vrednosti parametara koji se mere (T30, T20...).

Podesiti vrednosti kao na slici.

Nakon podešavanja merila nivoa zvuka 2270 definisati folder na internom disku instrumenta gde će se snimati merni rezultati. Vidi objašnjenja data u poglavlju 1.5.

3.5.2 Podešavanje pojačala snage 2734B

Podesiti skokovito slabljenje pojačala snage na -10 dB, a kontinualno slabljenje na -5 dB.

3.6 Postupak merenja

3.6.1 Priprema radne površine merila nivoa zvuka

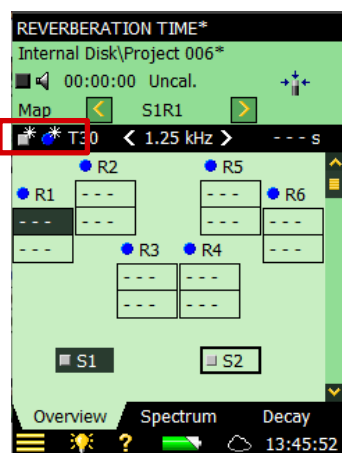
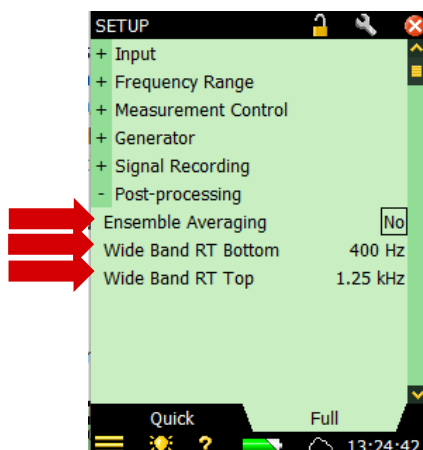
1. Obeležiti položaje izvora zvuka i mikrofona u prostoriji.
2. Slediti uputstva u daljem tekstu.

Dodati odgovarajući broj položaja izvora zvuka i mikrofona klikom na ikone sivog kvadrata i plavog kruga pored kojih se nalaze zvezdice.

Dodati dva izvora zvuka (S1 i S2) i šest položaja mikrofona (R1, R2, R3, R4, R5 i R6).

Ispod oznake položaja svakog mikrofona dodate su dve ćelije (po jedna za svaki položaj izvora zvuka) u kojima će biti upisane vrednosti vremena reverberacije za odgovarajuću frekvenciju.

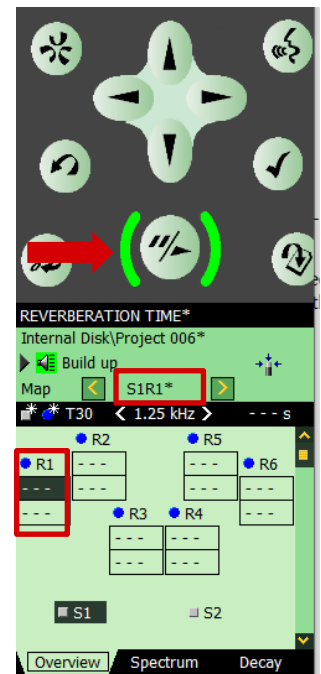
Položaji mikrofona i izvora zvuka se prostorno mogu rasporediti na radnoj površini merila nivoa zvuka klikom na odgovarajuću ikonu, izborom opcije „Move“ i klikom na novi položaj izvora zvuka i mikrofona.



3.6.2 Merenje i memorisanje rezultata merenja

Kliknuti na taster u sredini za start merenja.

U statusnoj liniji je označen položaj mikrofona i izvora zvuka za koje se vrši merenje (vidi sliku).

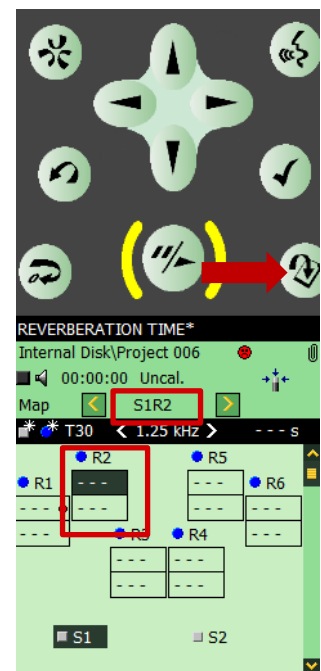


Po završetku merenja kliknuti za memorisanje podataka na desni taster.

Merilo nivoa zvuka prelazi na novi položaj koji je naznačen u statusnoj liniji i na radnoj površini (vidi sliku).

Ponoviti prethodna dva koraka za sve položaje izvora zvuka i mikrofona.

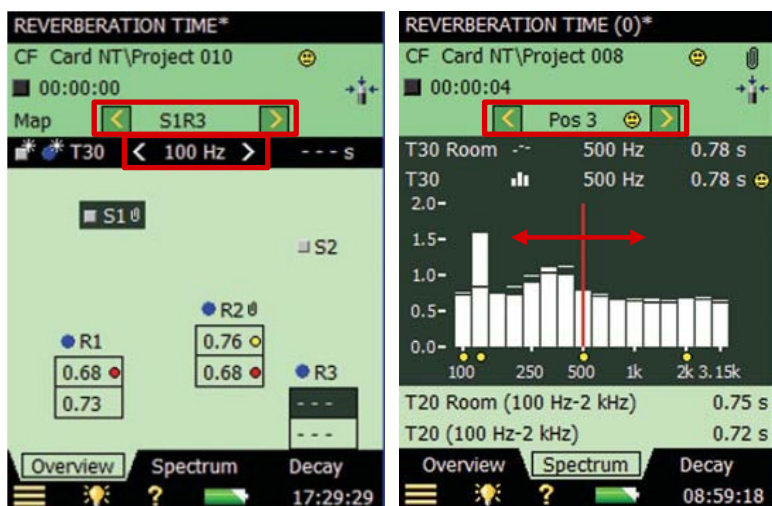
U statusnoj liniji i na radnoj površini pratiti položaje izvora zvuka i mikrofona.



3.6.3 Očitavanje mernih rezultata

Nakon izvršenih merenja, merni rezultati se preko softvera Measurement Partner Suite BZ-5503 mogu prebaciti u radno okruženje softvera gde se može vršiti njihova dalja obrada i očitavnje, kao što je opisano u 1.6.4.

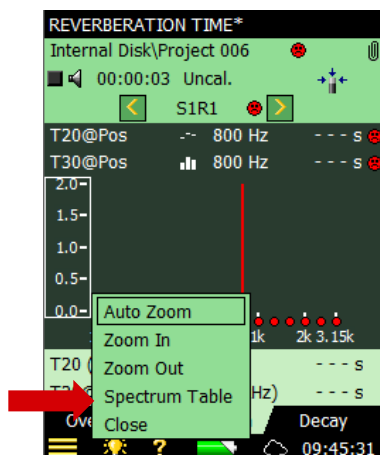
Rezultati merenja (T_{20} i T_{30}) se mogu očitati i sa samog ekrana merila nivoa zvuka u meniju „Overview” (sl. 3.3, levo) i meniju „Spectrum” (sl. 3.3, desno) pomeranjem kursora za frekvenciju i kombinaciju položaja izvora zvuka i mikrofona.



Sl. 3.3 Očitavanje mernih rezultata sa merila nivoa zvuka [4]

Tabelarni prikaz rezultata merenja za odgovarajuću kombinaciju položaja izvora zvuka i mikrofona se može dobiti kada se u meniju „Spectrum” klikne na Z-osu i izabere opcija „Spectrum Table”. Dobije se prikaz kao na sl. 3.4.

Freq.	T30	T30Status
100 Hz	0.68 s	F%
125 Hz	0.60 s	k
160 Hz	0.79 s	%k
200 Hz	0.88 s	
250 Hz	1.02 s	%k
315 Hz	1.00 s	
400 Hz	1.12 s	k
500 Hz	0.79 s	
630 Hz	0.74 s	
800 Hz	0.63 s	
1 kHz	0.70 s	
1.25 kHz	0.61 s	
1.6 kHz	0.62 s	
2 kHz	0.64 s	
2.5 kHz	0.68 s	
3.15 kHz	0.61 s	



Sl. 3.4 Tabelarni prikaz mernih rezultata [4]

3.7 Zadatak

Izmeriti vreme reverberacije u amfiteatru sa dva položaja izvora zvuka i šest položaja mikrofona za slučaj:

- a) Amfiteatra bez slušalaca;
- b) Amfiteatra sa slušaocima.

Za oba slučaja prikazati tabelarno vrednosti mernog parametara T_{30} , kao i odgovarajućih standardnih devijacija. Izračunati vreme reverberacije i vrednosti prikazati tabelarno i grafički.

3.8 Literatura

- [1] M. Prašević, D. Cvetković, D. Mihajlov, Buka u životnoj sredini, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, ISBN: 978-86-6093-095-0, Niš, 2020
- [2] SRPS EN ISO 3382-1:2013 Akustika – Merenje akustičkih parametara prostorija – Deo 1: Dvorane za javne nastupe
- [3] Building Acoustics Software BZ-7228 for use with Hand-held Analyzer Types 2250 and 2270, User manual BE 1799 – 18, Bruel&Kjaer, Denmark, 2016
- [4] User manual for held-Held Analyzer Types 2250 and 2270, BE 1713-34, Bruel&Kjaer, 2016

3.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna

3.9.1 Amfiteatar bez slušalaca – izmerene vrednosti

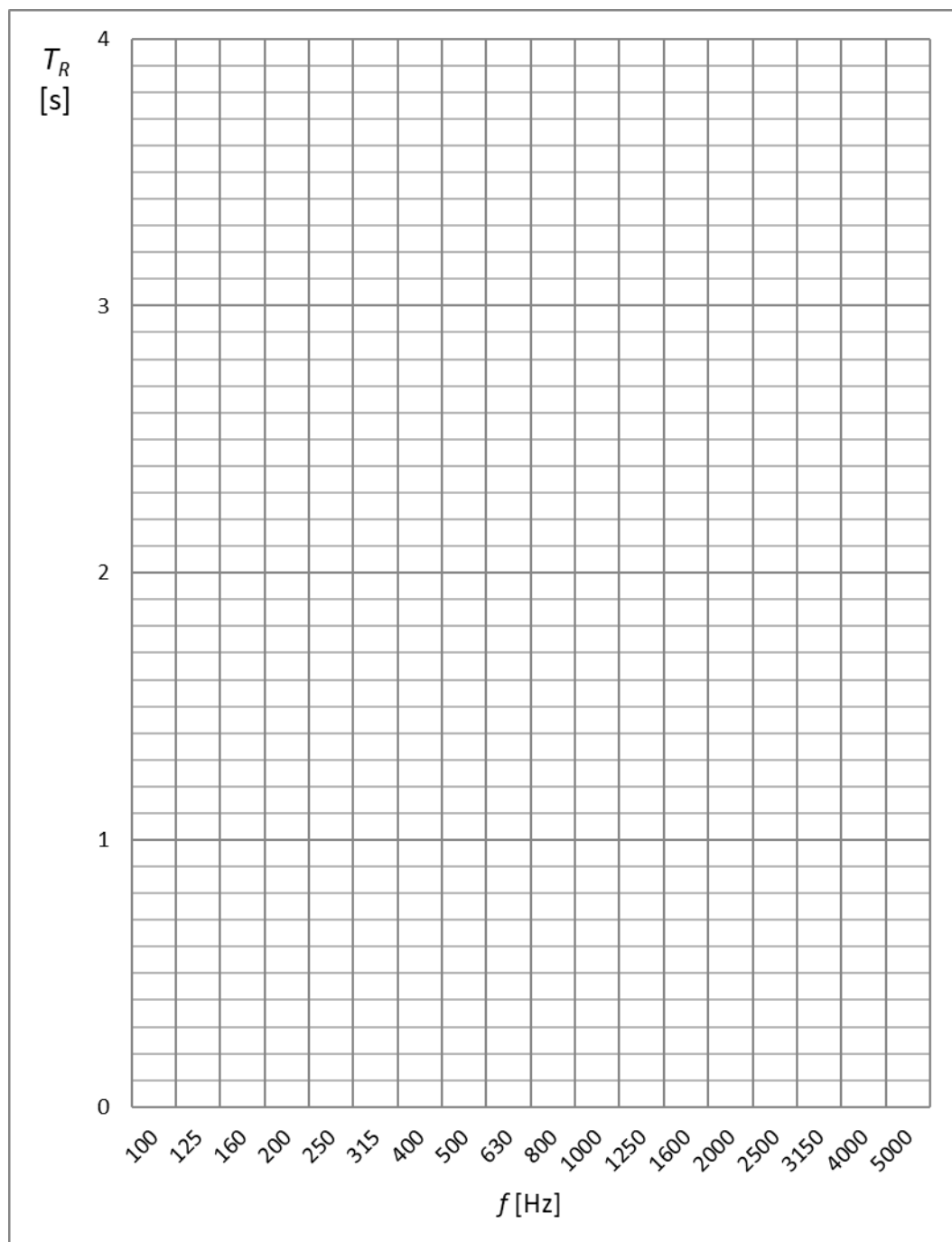
f [Hz]	T_{30} [s]											
	Položaji izvora zvuka											
	1						2					
	Položaji mikrofona											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
100												
125												
160												
200												
250												
315												
400												
500												
630												
800												
1000												
1250												
1600												
2000												
2500												
3150												
4000												
5000												

3.9.2 Amfiteatar sa slušaocima – izmerene vrednosti

f [Hz]	T_{30} [s]											
	Položaji izvora zvuka											
	1						2					
	Položaji mikrofona											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
100												
125												
160												
200												
250												
315												
400												
500												
630												
800												
1000												
1250												
1600												
2000												
2500												
3150												
4000												
5000												

3.9.3 Vreme reverberacije

f [Hz]	Vreme reverberacije, T_R [s]					
	Amfiteatar bez slušalaca Broj slobodnih mesta: _____			Amfiteatar sa slušaocima Broj slušalaca: _____		
	$\bar{T}_{30}$	$\sigma(T_{30})$	T_R	$\bar{T}_{30}$	$\sigma(T_{30})$	T_R
100						
125						
160						
200						
250						
315						
400						
500						
630						
800						
1000						
1250						
1600						
2000						
2500						
3150						



Vreme reverberacija amfiteatra bez slušalaca (*) i sa slušaocima (x)

ODREĐIVANJE ZVUČNE SNAGE IZVORA BUKE

4

4.1 Teorijske osnove

4.1.1 Pojam zvučne snage

Zvučna snaga izvora definiše brzinu kojom se emituje energija zvuka, odnosno definiše energiju zvuka koja u jedinici vremena prolazi kroz bilo koju površinu koja obuhvata izvor [1]:

$$P_a = \frac{dW}{dt} \text{ [W]}. \quad (4.1)$$

Energija koja se prenosi kroz određenu površinu se može odrediti ako je poznat intenzitet zvuka. Ukoliko površina potpuno obuhvata izvor zvuka, zvučnu snagu izvora određuje prostorno i vremenski usrednjena vrednost promenljivog intenziteta zvuka po posmatranoj površini [1]:

$$P_a = \oint_S \vec{I} \cdot d\vec{S}. \quad (4.2)$$

Skalarni proizvod vektora intenziteta zvuka i vektora površine ukazuje na potrebu uzimanja u obzir samo komponente intenziteta zvuka normalne na površinu koja potpuno obuhvata izvor buke.

Zvučni pritisak u blizini izvora buke zavisi od okruženja u kome se nalazi izvor buke. Zvučni pritisak će biti različit za isti izvor buke ako je on smešten na otvorenom ili u zatvorenom prostoru. Takođe, zvučni pritisak će biti različit ako se izvor buke nalazi u prostoriji sa reflektujućim ili apsorpcionim materijalima.

Nasuprot tome, zvučna snaga je nezavisna od okruženja i kao takva jednoznačno opisuje sposobnost nekog izvora buke da emituje energiju zvuka. Zbog toga je poznavanje spektra zvučne snage veoma važno pri planiranju mera za kontrolu buke.

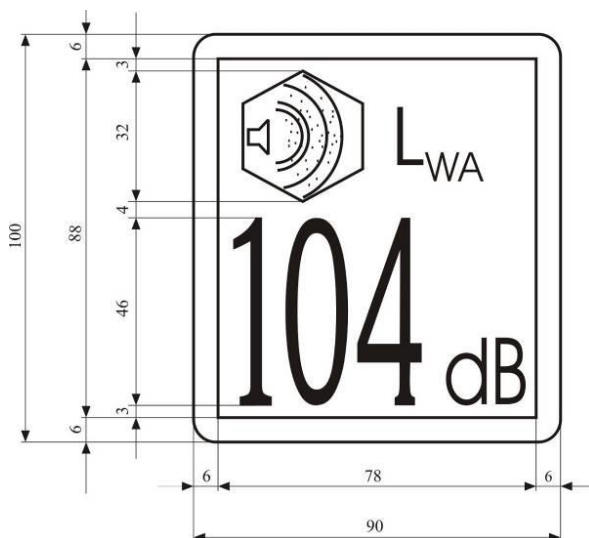
Zvučna snaga izvora buke se može izraziti i u dB, kada se govori o nivou zvučne snage:

$$L_{P_a} = 10 \log \frac{P_a}{P_0} \text{ [dB]}, \quad (4.3)$$

gde je P_0 – referentna vrednost zvučne snage, 10^{-12} W.

Mnogi propisi nameću obavezu proizvođačima i distributerima proizvoda koji emituju buku, naročito proizvoda namenjenih za domaćinstvo i opreme koja se koristi na otvorenom prostoru, da deklarišu vrednosti nivoa zvučne snage u tehničkim specifikacijama ili na nalepnici na samom proizvodu (sl. 4.1).

Za zvučnu snagu se često koristi oznaka W (inače oznaka za energiju zvuka) umesto P_a , jer zvučna snaga predstavlja energiju zvuka u jedinici vremena. Na sl. 4.1, oznaka A u indeksu oznake za nivo zvučne snage označava korišćenje A-ponderacione frekvencijske krive za određivanje nivoa zvučne snage.



Sl. 4.1 Dimenzije i izgled nalepnice za opremu koja se upotrebljava na otvorenom prostoru [2]

4.1.2 Metode za određivanje zvučne snage

Ne postoji instrument koji bi omogućio direktno merenje zvučne snage, već se ona određuje indirektno - na osnovu merenja zvučnog pritiska ili intenziteta zvuka, kao i drugih odgovarajućih veličina koje definišu okruženje u kome se određuje zvučna snaga (vreme reverberacije, zapremina prostorije i slično).

Zvučna snaga se određuje u tri vrste okruženja:

1. Slobodno zvučno polje (anehoične prostorije);
2. Difuzno ili reverberaciono polje (reverberacione prostorije);
3. Aktuelno okruženje u kome je izvor buke smešten (merenje na licu mesta).

Merenje u aktuelnom okruženju se vrši kada je izvor buke nemoguće preneti u anehoičnu ili reverberacionu prostoriju. U ovom slučaju se uzimaju u obzir korekcije zbog okruženja i pozadinske buke.

4.1.2.1 Metoda intenziteta zvuka

Određivanje zvučne snage izvora buke se bazira na merenju normalne komponente intenziteta zvuka u diskretnim mernim tačkama, na površini koja potpuno obuhvata izvor (sl. 4.2). Površina koja potpuno obuhvata izvor, a koja ima oblik pravilne geometrijske figure po obliku najpribližnijem posmatranom izvoru (najčešće sfera, polusfera ili paralelopiped) ili talasnom frontu, deli se na segmente jednakih površina. U centrima tih segmenata se meri normalna komponenta intenziteta zvuka sondom za merenje intenziteta zvuka, usmerenom ka izvoru zvuka (sl. 4.2). Zvučna snaga je tada jednaka:

$$P_a = \sum_{i=1}^N I_{ni} \Delta S_i, \quad (4.4)$$

gde je: I_i - normalna komponenta intenziteta zvuka izmerena u centru i -tog segmenta, ΔS_i - površina i -tog segmenta.

Kako se najčešće meri nivo normalne komponente intenziteta zvuka, nivo zvučne snage se može odrediti kao:

$$L_{p_a} = \sum_{i=1}^N (10^{L_{ni}/10}) \Delta S_i \cdot \frac{1}{m^2}, \quad (4.5)$$

gde je: L_{ni} – nivo normalne komponente intenziteta zvuka izmeren u centru i -tog segmenta.



Izvor: https://wiki.oros.com/wiki/index.php/Sound_Intensity_Manual

Sl. 4.2 Određivanje zvučne snage izvora zvuka merenjem intenziteta zvuka

4.1.2.2 Metoda zvučnog pritiska – anehoična prostorija

U anehoičnoj prostoriji se pretpostavlja da postoji slobodno zvučno polje bez doprinosa reverberacionog polja, odnosno reflektovanih zvučnih talasa. U takvim uslovima zvučnog polja su intenzitet zvuka i zvučni pritisak povezani relacijom [1]:

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c_0}, \quad (4.6)$$

gde je: ρ_0 – gustina vazduha, c_0 – brzina prostiranja zvuka u vazduhu.

Zamenom jednačine (4.6) u (4.4) dobija se izraz za zvučnu snagu:

$$P_a = \sum_{i=1}^N \frac{p_i^2}{\rho_0 c} \Delta S_i, \quad (4.7)$$

gde je p_i – zvučni pritisak izmeren u centru i -tog segmenta.

Na osnovu jednačine (4.7) je moguće odrediti zvučnu snagu izvora buke merenjem zvučnog pritiska u centrima segmenata merne površine i usrednjavanjem izmerenih vrednosti. Prethodno se merna površina koja potpuno obuhvata izvor buke deli na segmente jednakih površina.

Za izmerene vrednosti nivoa zvučnog pritiska, nivo zvučne snage se može odrediti kao:

$$L_{p_a} = \sum_{i=1}^N (10^{L_{pi}/10}) \Delta S_i \cdot \frac{1}{m^2}, \quad (4.8)$$

gde je L_{pi} – nivo zvučnog pritiska izmeren u centru i -tog segmenta.

4.1.2.3 Metoda zvučnog pritiska – reverberaciona prostorija

U reverberacionim prostorijama, na rastojanjima od izvora zvuka koja su veća od graničnog radijusa prostorije, dominira reverberaciono polje i intenzitet zvuka se može odrediti kao [1]:

$$I = \frac{4P_a}{A}, \quad (4.9)$$

gde je A – apsorpciona površina prostorije.

S druge strane, intenzitet zvuka se može odrediti na osnovu prostorno usrednjene srednje kvadratne vrednosti zvučnog pritiska:

$$I = \frac{\langle \bar{p}^2 \rangle}{\rho_0 c_0}. \quad (4.10)$$

Tako je [3]:

$$P_a = \frac{A \langle \bar{p}^2 \rangle}{4\rho_0 c_0}. \quad (4.11)$$

Prostorno usrednjavanje vrednosti zvučnog pritiska se vrši merenjem zvučnog pritiska, L_i , na N položaja, van direktnog polja a unutar reverberacionog polja, na rastojanjima od izvora zvuka koja su veća od graničnog radijusa prostorije:

$$r_g = \sqrt{\frac{A}{4\Omega_z(1 - \frac{A}{S})}}, \quad (4.12)$$

gde je: Ω_z – prostorni ugao zračenja izvora buke,

S – površina graničnih površina prostorije.

Prostorno usrednjena srednje kvadratna vrednost zvučnog pritiska se izračunava kao [3]:

$$\langle \bar{p}^2 \rangle = \frac{P_0^2}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_{pi}/10}. \quad (4.13)$$

Zamenom (4.13) u (4.11), zvučna snaga se izračunava na sledeći način [3]:

$$P_a = \frac{A P_0^2}{4N \rho_0 c_0} \sum_{i=1}^N 10^{L_{pi}/10}. \quad (4.14)$$

Nivo zvučne snage se može izračunati kao [3]:

$$L_{P_a} = 10 \log \left(\frac{P_0^2 A \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{pi}}{10}}}{4P_0 N \rho_0 c_0} \right), \quad (4.15)$$

odnosno nakon zamene vrednosti za konstante kao:

$$L_{p_a} = 10 \log \left(\frac{A \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}}}{4N} \cdot \frac{1}{m^2} \right) = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \right) + 10 \log \left(\frac{A}{4N} \cdot \frac{1}{m^2} \right),$$

$$L_{p_a} = \overline{L_p} + 10 \log \left(\frac{A}{4N} \cdot \frac{1}{m^2} \right), \quad (4.16)$$

Zvučna snaga izvora buke se može odrediti na osnovu jednačine (4.16). Potrebno je izmeriti nivo zvučnog pritiska na određenom broju položaja u prostoriji da bi se procenila prostorno i vremenski usrednjena vrednost zvučnog pritiska u reverberacionom polju prostorije. Položaji za merenje se biraju na rastojanjima od izvora buke koji su znatno veći od graničnog radijusa prostorije (4.12), ali s druge strane ne i suviše blizu reflektujućim površinama.

Ukoliko je uticaj pozadinske buke značajan, u istim tačkama je potrebno izmeriti nivo pozadinske buke i korigovati izmerene vrednosti zvučnog pritiska kada izvor buke radi za uticaj pozadinske buke (vidi 4.3.2):

$$L_{p_a} = \overline{L_p} - K_1 + 10 \log \left(\frac{A}{4N} \cdot \frac{1}{m^2} \right). \quad (4.17)$$

Apsorpciona površina prostorije se određuje na osnovu merenja vremena reverberacije metodom opisanom u poglavlju 3 i jednačine

$$A = 0.16 \frac{V}{T_R}, \quad (4.18)$$

gde je V – zapremina prostorije.

4.2 Standardizovane metode za određivanje zvučne snage

Postoje dve grupe standarda koje utvrđuju metode za određivanje zvučne snage:

1. Serija standarda SRPS EN ISO 3740 zasnovana na merenju zvučnog pritiska:
 - SRPS EN ISO 3741:2010 Akustika - Određivanje nivoa zvučne snage i nivoa zvučne energije izvora buke na osnovu zvučnog pritiska - Precizna metoda za reverberacione ispitne komore;
 - SRPS EN ISO 3743-1:2010 Akustika - Određivanje nivoa zvučne snage i nivoa zvučne energije izvora buke - Inženjerske metode za male pokretne izvore u reverberacionom polju - Deo 1: Uporedna metoda za ispitne prostorije krutih zidova;
 - SRPS EN ISO 3744:2011 Akustika - Određivanje nivoa zvučne snage i nivoa zvučne energije izvora buke na osnovu zvučnog pritiska - Inženjerska metoda za približno slobodno polje iznad refleksione ravni;
 - SRPS EN ISO 3745:2012 Akustika - Određivanje nivoa zvučne snage i zvučne energije izvora buke na osnovu zvučnog pritiska - Precizne metode za anehoične i poluanehoične prostorije;

- SRPS EN ISO 3746:2011 Akustika - Određivanje nivoa zvučne snage i nivoa zvučne energije izvora buke na osnovu zvučnog pritiska - Informativna metoda korišćenjem merne površine koja obuhvata izvor iznad refleksione ravni;
- SRPS EN ISO 3747:2011 Akustika - Određivanje nivoa zvučne snage i nivoa zvučne energije izvora buke na osnovu zvučnog pritiska - Inženjerska/informativna metoda na licu mesta u promenljivom okruženju;

2. Serija standarda ISO 9614 zasnovana na merenju intenziteta zvuka.

- SRPS EN ISO 9614-1:2011 Akustika - Određivanje nivoa zvučne snage izvora buke na osnovu intenziteta zvuka - Deo 1: Merenje u diskretnim tačkama;
- SRPS EN ISO 9614-2:2012 Akustika - Određivanje nivoa zvučne snage izvora buke na osnovu intenziteta zvuka - Deo 2: Merenje skeniranjem;
- SRPS EN ISO 9614-3:2010 Akustika - Određivanje nivoa zvučne snage izvora buke na osnovu intenziteta zvuka - Deo 3: Precizna metoda za merenje skeniranjem.

Za potrebe realizacije ove laboratorijske vežbe biće dat kratak prikaz dva standarda: SRPS EN ISO 3744:2011 [4] i SRPS EN ISO 3746:2011 [5]. To su ujedno standardi koji se često koriste i čija se primena zahteva određenim pravilnicima [3].

4.2.1 Inženjerska metoda za približno slobodno polje iznad refleksione ravni

Za izračunavanje nivoa zvučne snage koju proizvodi izvor buke, na osnovu merenja nivoa zvučnog pritiska na mernoj površini koja potpuno okružuje izvor buke, standard [4] utvrđuje inženjersku metodu. Nivo zvučne snage se određuje u frekvencijskim opsezima i kao A-ponderisana ukupna vrednost. A-ponderisana ukupna vrednost nivoa zvučne snage se izračunava na osnovu vrednosti nivoa zvučne snage u frekvencijskim opsezima.

Metoda se primenjuje na izvore buke bilo kog tipa i veličine (npr. uređaj, mašina, komponenta, podsklop), osim na izvore buke velike dužine ili velike visine.

Primena inženjerske metode je opisana i u uputstvu Q.CTI.UP.21 [6].

4.2.1.1 Ispitna okolina

Kao prihvatljive ispitne okoline mogu se koristiti:

- laboratorija ili ravna površina na otvorenom prostoru koja je adekvatno izolovana od pozadinske buke i koja obezbeđuje slobodno polje iznad reflektujuće ravni,
- prostorija ili ravna površina na otvorenom prostoru koja je adekvatno izolovana od pozadinske buke u kojoj se može primeniti korekcija za okolinu sa ograničenim doprinosom reverberacionog polja na poziciji merne površine.

Veličina korekcije za okolinu, K_2 , zavisi od odnosa apsorpcione površine prostorije, A , i veličine merne površine, S [4]:

$$K_2 = 10 \log \left[1 + 4 \frac{S}{A} \right]. \quad (4.19)$$

Apsorpciona površina prostorije se određuje na osnovu merenja vremena reverberacije metodom opisanom u poglavlju 3 i jednačine (4.18).

Kriterijum za adekvatnost ispitine okoline je: $K_2 \leq 4$ dB [4]. Korekcija za okolinu za otvoreni prostor i laboratorije sa slobodnim poljem iznad refleksione ravni ima zanemarljivu vrednost.

Ako uslov nije zadovoljen, bira se nova (manja) merna površina ili se povećava apsorpciona površina (npr. dodavanjem apsorpcionih materijala ili otvaranjem velikih prozora i vratiju).

4.2.1.2 Pozadinska buka

Usrednjena vrednost pozadinske buke na mernoj površini treba da bude za barem 6 dB (poželjno je 15 dB) manja od usrednjene vrednosti zvučnog pritiska na površini kada izvor buke radi [4]. Za merenje u frekvencijskim opsezima ovaj uslov treba da bude ispunjen u svim frekvencijskim opsezima.

Ako je razlika veća od 15 dB, korekcija za pozadinsku buku ima vrednost 0. Ako je razlika između 6 dB i 15 dB, korekcija se izračunava kao [4]:

$$K_1 = -10 \log \left[1 - 10^{-0.1 \Delta L_p} \right]; \quad (4.20)$$

$$\Delta L_p = \overline{L_{p(ST)}} - \overline{L_{p(B)}},$$

gde je: $\overline{L_{p(ST)}}$ - usrednjena vrednost nivoa zvučnog pritiska na površini kada izvor buke radi; $\overline{L_{p(B)}}$ - usrednjena vrednost nivoa pozadinske buke na mernoj površini.

Ako kriterijum za 6 dB nije zadovoljen, smanjuje se tačnost rezultata. Najveća korekcija koja treba da se primeni na ova merenja je 1.3 dB [4].

4.2.1.3 Lokacija i montiranje izvora buke

Kada postoji tipičan uslov za montažu izvora buke koji se ispituje, takav uslov uvek mora da se primeni ili simulira, ako je to izvodljivo.

Za vreme merenja se moraju primenjivati radni uslovi specificirani u odgovarajućem propisu za ispitivanje buke, ako on postoji za dati tip mašine ili opreme koja se ispituje. Ako ne postoji propis za ispitivanje buke, izvor buke mora da bude u pogonu, ako je moguće na način koji je tipičan za normalan rad. U takvim slučajevima mora da se odabere jedan ili više radnih uslova koji su opisani u standardu [4] i uputstvu [6].

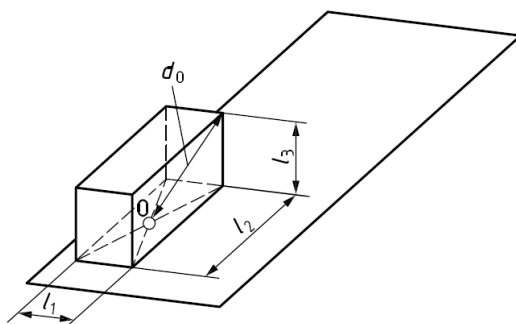
4.2.1.4 Izbor merne površine i mernih tačaka

Pre izbora merne površine potrebno je definisati referentni paralelopiped, odnosno hipotetičku površinu koja je najmanji pravougaoni paralelopiped koji okružuje izvor, a završava se na refleksionoj ravni ili ravnima na kojima je smešten ispitivani izvor. Na sl. 4.3 je prikazan izbor referentnog paralelopipeda za slučaj izvora buke koji je smešten na jednoj refleksionoj ravni. Ostali primeri su dati u standardu [4] i uputstvu [6].

Lokacija referentnog paralelopipeda, merna površina i merni položaji se definišu u odnosu na koordinatni sistem sa početkom u tački 0. Tačka 0 je središnja tačka paralelopipeda koji se sastoji od referentnog paralelopipeda i njegovih slika u ogledalu u odnosu na susedne refleksione površine.

Nakon izbora referentnog paralelopipeda određuje se karakteristična dimenzija izvora, d_0 , odnosno rastojanje od koordinatnog početka do najudaljenijeg ugla referentnog paralelopipeda. Za slučaj sa sl. 4.3:

$$d_0 = \sqrt{(l_1 / 2)^2 + (l_2 / 2)^2 + l_3^2} . \quad (4.21)$$



Sl. 4.3 Izbor referentnog paralelopipeda [4]

Za mernu površinu mora da se koristi jedan od četiri sledeća oblika:

- sfera, polusfera ili četvrtina sfere poluprečnika r ;
- pravougaoni paralelopiped, čije su stranice paralelne stranicama referentnog paralelopipeda i nalaze se na rastojanju d u odnosu na odgovarajuće strane referentnog paralelopipeda;
- cilindar, polucilindar ili četvrtina cilindra prečnika $2R$ i visine h ;
- kombinacija dva različita segmenta.

Za relativno male izvore poželjna je polusferna površina. Za dugačke izvore u obliku paralelopipeda, poželjan je pravougaoni paralelopiped. Za visoke izvore, ali ne široke i dugačke, poželjna je površina u obliku cilindra.

Kod merne površine u obliku polusfere, središte polusfere mora da bude u tački 0 na sl. 4.3. Poluprečnik, r , polusferne merne površine mora da bude jednak dvostrukoј karakterističnoј dimenziji izvora, d_0 , ili veći od te vrednosti, i ne manji od 1 m i ne veći od 16 m. Za manje izvore, merno rastojanje može biti manje od 1 m, ali ne manje od 0.5 m [4].

Ako postoji samo jedna refleksiona ravan, položaji mikrofona leže na hipotetičkoј polusfernoj površini veličine $S = 2 \cdot \pi \cdot r^2$, koja okružuje izvor i završava se na refleksionoj ravni.

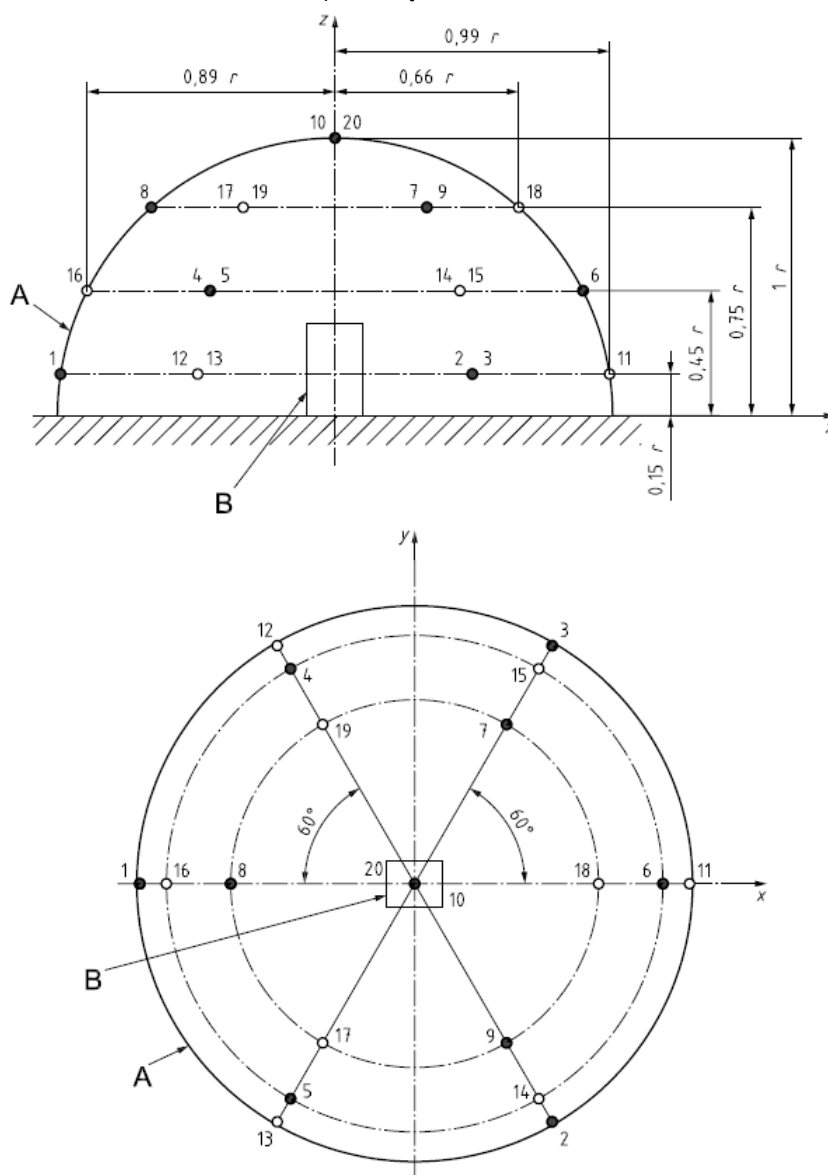
Za određivanje zvučne snage se koriste glavni i dodatni položaji mikrofona. Merenja nivoa zvučnog pritiska su potrebna na dodatnim položajima mikrofona na polusfernoj mernoj površini ako:

- razlika u decibelima najvišeg i najnižeg A-ponderisanog nivoa zvučnog pritiska merenog u ključnim položajima mikrofona prevazilazi broj koji je jednak broju ključnih položaja mikrofona;

- izvor buke emituje buku sa merodavnim A-ponderisanim indeksom direktivnosti većim od 5 dB u bilo kojem pravcu;
- se buka koja potiče od velikog izvora zrači samo sa jednog malog dela izvora, na primer otvora na mašini koja je inače oklopljena.

Za slučaj kada se izvor buke nalazi u blizini jedne refleksione ravni, koriste se 10 glavnih položaja mikrofona. Za prvi navedni slučaj, koji zahteva dodatne položaje mikrofona, definiše se dodatni raspored od 10 tačaka, rotacijom originalnog rasporeda za 180° oko z-ose. Ukupan broj položaja mikrofona povećava se na 20.

Za slučaj kada izvor buke emituje širokopojasnu buku, glavni položaji mikrofona od 1 do 10 na polusfernoj površini prikazani su na sl. 4.4. Na istoj slici su prikazani i dodatni položaji mikrofona, od 11 do 20. Koordinate položaja mikrofona su date u tabeli 4.1.



Sl. 4.4 Položaji mikrofona na polusfernoj mernoj površini za izvor širokopojasne buke [4]

Tabela 4.1 Koordinate ključnih i dodatnih položaja mikrofona za izvore koji emituju širokopojasnu buku [4]

Redni broj položaja	x/r	y/r	z/r
1	-0.99	0	0.15
2	0.50	-0.86	0.15
3	0.50	0.86	0.15
4	-0.45	0.77	0.45
5	-0.45	-0.77	0.45
6	0.89	0	0.45
7	0.33	0.57	0.75
8	-0.66	0.	0.75
9	0.33	-0.57	0.75
10	0	0	1.00
11	0.99	0.	0.15
12	-0.50	0.86	0.15
13	-0.50	-0.86	0.15
14	0.45	-0.77	0.45
15	0.45	0.77	0.45
16	-0.89	0	0.45
17	-0.33	-0.57	0.75
18	0.66	0.	0.75
19	-0.33	0.57	0.75
20	0	0	1.00

4.2.1.5 Postupak merenja

Nakon definisanja adekvatnosti ispitnog okruženja, izbora merne površine i definisanja mernih tačaka, vrše se merenja nivoa zvučnog pritiska na odabranim mernim tačkama.

Tokom tipičnog rada izvora, u svakom položaju mikrofona se mere sledeće veličine [4]:

- A-ponderisani nivo zvučnog pritiska, $L'_{piA(ST)}$, ili nivo zvučnog pritiska u frekvencijskim opsezima od interesa, $L'_{pi(ST)}$, za vreme rada izvora koji se ispituje;
- A-ponderisani nivo zvučnog pritiska pozadinske buke, $L_{piA(B)}$, ili nivo zvučnog pritiska u frekvencijskim opsezima od interesa, $L_{pi(B)}$, neposredno pre ili posle merenja nivoa zvučnog pritiska kojeg generiše izvor buke.

Period merenja mora da bude najmanje 10 s za sve frekvencijske opsege i za merenje A-ponderisanih nivoa, ali se preporučuje da period merenja ne bude kraći od 20 s [4].

4.2.1.6 Izračunavanje zvučne snage

Nivo zvučne snage se izračunava korišćenjem jednačine [4]:

$$L_{p_a} = \overline{L_p} + 10 \log \frac{S}{S_0}, S_0 = 1 \text{ m}^2 \quad (4.22)$$

gde je $\overline{L_p}$ - vremenski usrednjeni nivo zvučnog pritiska na mernoj površini.

A-ponderisana vrednost nivoa zvučne snage se izračunava na osnovu vrednosti nivoa zvučne snage u frekvencijskim opsezima primenom jednačine [4]:

$$L_{p_{aA}} = 10 \log \sum_i 10^{(L_{p_{ai}} + C_i)/10} \quad (4.23)$$

gde je C_i - korekcija A-ponderacione frekvencijske krive za i -ti frekvencijski opseg.

Vremenski usrednjeni nivo zvučnog pritiska na mernoj površini se izračunava korekcijom srednje vrednosti vremenski usrednjenih nivoa zvučnog pritiska, $\overline{L'_{p(ST)}}$, za pozadinsku buku i za ispitnu okolinu [4]:

$$\overline{L_p} = \overline{L'_{p(ST)}} - K_1 - K_2. \quad (4.24)$$

Srednja vrednost vremenski usrednjenih nivoa zvučnog pritiska za jednake segmente površina se izračunava kao [4]:

$$\overline{L'_{p(ST)}} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0.1 \cdot L'_{pi(ST)}} \right], \quad (4.25)$$

gde je N_M - broj položaja mikrofona.

Srednja vrednost nivoa pozadinske buke na mernoj površini $\overline{L_{p(B)}}$ se izračunava kao [4]:

$$\overline{L_{p(B)}} = 10 \log \left[\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0.1 \cdot L_{pi(B)}} \right]. \quad (4.26)$$

4.2.2 Informativna metoda

Za izračunavanje nivoa zvučne snage koju proizvodi izvor buke, na osnovu merenja nivoa zvučnog pritiska na mernoj površini koja potpuno okružuje izvor buke, standard [5] propisuje informativnu metodu. Nivo zvučne snage se određuje kao A-ponderisana vrednost direktno na osnovu merenja A-ponderisanih nivoa zvučnih pritisaka.

Primenjuje se na izvore buke bilo kog tipa i veličine (npr. uređaj, mašina, komponenta, podsklop), osim na izvore buke velike dužine ili velike visine.

Primena informativne metode je opisana i u uputstvu Q.CTI.UP.20 [7].

4.2.2.1 Ispitna okolina

Ispitna okolina koja je prihvatljiva za merenja obuhvata ravnu površinu na otvorenom prostoru ili prostoriju za koju korekcija za okolinu K_{2A} može da ima vrednost najviše 7 dB [5]. Ako uslov nije zadovoljen bira se nova (manja) merna površina ili se povećava apsorpciona površina prostorije (npr. dodavanjem apsorpcionog materijala ili otvaranjem velikih prozora i vratiju).

Veličina korekcije za okolinu, K_{2A} , zavisi od odnosa apsorpcione površine prostorije, A , i veličine merne površine, S [4]:

$$K_{2A} = 10 \log \left[1 + 4 \frac{S}{A} \right]. \quad (4.27)$$

Korekcija za okolinu u slučaju otvorenog prostora i laboratorija sa slobodnim poljem iznad refleksione ravni ima zanemarljivu vrednost.

Za određivanje apsorpcione površine prostorije, A , koriste se aproksimativne vrednosti srednjeg koeficijenta apsorpcije prostorije date u tabeli 4.2 i izraz $A = \bar{\alpha} \cdot S_V$, gde je S_V ukupna površina svih graničnih površina prostorije.

Tabela 4.2: Aproksimativne vrednosti srednjeg koeficijenta apsorpcije zvuka [5]

$\bar{\alpha}$	Opis prostorije
0.05	Skoro prazna prostorija sa glatkim krutim zidovima od betona, cigle, maltera ili keramičkih pločica.
0.1	Delimično prazna prostorija; prostorija sa glatkim zidovima.
0.15	Prostorija sa nameštajem; pravougaona mašinska radionica ili industrijska hala.
0.2	Nepravilno oblikovana prostorija sa nameštajem; nepravilno oblikovana mašinska radionica ili industrijska hala.
0.25	Prostorija sa tapaciranim nameštajem; radionica ili industrijska hala sa malom količinom materijala koji apsorbuje zvuk na plafonu ili zidovima (na primer, delimično apsorbujući plafon).
0.35	Prostorija sa materijalom koji apsorbuje zvuk i na plafonu i na zidovima.
0.5	Prostorija sa velikom količinom materijala koji apsorbuje zvuk na plafonu i zidovima.

Ova metoda se može primeniti samo za slučaj gde su dužina i širina prostorije manje od trostruke vrednosti visine prostorije. U suprotnom se primenjuje neka od metoda opisanih u SRPS EN ISO 3744 [4].

4.2.2.2 Pozadinska buka

Usrednjena vrednost A-ponderisane vrednosti nivoa pozadinske buke na mernoj površini treba da bude za 3 dB manja od usrednjene vrednosti nivoa zvučnog pritiska na površini kada izvor buke radi [5].

Ako je razlika veća od 10 dB, korekcija za pozadinsku buku ima vrednost 0. Ako je razlika između 3 dB i 10 dB, korekcija se izračunava primenom jednačine (4.20).

Ako je razlika manja od 3 dB, za vrednost K_{1A} se uzima vrednost 3 dB. U ovom slučaju, u izveštaju (na graficima i u tabelama) treba jasno naglasiti da vrednosti nivoa zvučne snage predstavljaju gornju graničnu vrednost [5].

4.2.2.3 Lokacija i montiranje izvora buke

Uslovi za izbor lokacije i montiranje izvora buke su identični onim opisanim u 4.2.1.3.

U takvim slučajevima mora da se odabere jedan ili više radnih uslova koji su opisani u standardu [5] i uputstvu [7].

4.2.2.4 Izbor merne površine i mernih tačaka

Pre izbora merne površine potrebno je definisati referentni paralelopiped na isti način kako je opisano u 4.2.1.4.

Za mernu površinu mora da se koristi jedan od dva sledeća oblika:

- sfera, polusfera ili četvrtina sfere poluprečnika r ;
- pravougaoni paralelopiped, čije su stranice paralelne stranicama referentnog paralelopipeda i nalaze se na rastojanju d u odnosu na odgovarajuće strane referentnog paralelopipeda.

Kod merne površine u obliku polusfere, središte polusfere mora da bude u tački 0 na sl. 4.3. Poluprečnik, r , polusferne merne površine mora da bude jednak dvostrukoj karakterističnoj dimenziji izvora, d_0 , ili veći od te vrednosti, i ne manji od 1 m i ne veći od 16 m. Za manje izvore, merno rastojanje može biti manje od 1 m ali ne manje od 0.5 m [5].

Ako postoji samo jedna refleksiona ravan, položaji mikrofona leže na hipotetičkoj polusfernoj površini veličine $S = 2 \cdot \pi \cdot r^2$, koja okružuje izvor i završava se na refleksionoj ravni.

Za određivanje zvučne snage se koriste glavni i dodatni položaji mikrofona. Merenja nivoa zvučnog pritiska potrebna su na dodatnim položajima mikrofona na polusfernoj mernoj površini ako opseg A-ponderisanih nivoa zvučnih pritisaka (razlika u decibelima najvišeg i najnižeg nivoa zvučnog pritiska meren u ključnim položajima mikrofona) prevazilazi broj koji je dvostruko veći od broja ključnih mernih tačaka.

Za slučaj kada se izvor buke nalazi u blizini jedne refleksione ravni koriste se 4 glavna položaja mikrofona: 4, 5, 6 i 10 koji su prikazani na sl. 4.4. Na istoj slici su prikazani i položaji dodatnih mernih tačaka: 14, 15, 16 i 20. Koordinate mernih tačaka su prikazane u tabeli 4.1.

4.2.2.5 Postupak merenja

Nakon definisanja adekvatnosti ispitnog okruženja, izbora merne površine i definisanja mernih tačaka, vrše se merenja nivoa zvučnog pritiska na odabranim mernim tačkama.

Tokom uobičajenog rada izvora se u svakom položaju mikrofona mere sledeće veličine [5]:

- A-ponderisani nivo zvučnog pritiska, $L'_{piA(ST)}$, za vreme rada izvora koji se ispituje;
- A-ponderisani nivo zvučnog pritiska pozadinske buke, $L_{piA(B)}$, neposredno pre ili posle merenja nivoa zvučnog pritiska kojeg generiše izvor buke.

Period merenja mora da bude najmanje 10 s [5].

4.2.2.6 Izračunavanje zvučne snage

Nivo zvučne snage se izračunava korišćenjem jednačine [5]:

$$L_{pA} = \overline{L_{pA}} + 10 \cdot \log \frac{S}{S_0}, S_0 = 1 \text{ m}^2 \quad (4.28)$$

gde je $\overline{L_{pA}}$ - vremenski usrednjeni nivo zvučnog pritiska na mernoj površini.

Vremenski usrednjeni nivo zvučnog pritiska na mernoj površini se izračunava korekcijom srednje vrednosti vremenski usrednjenih nivoa zvučnog pritiska, $\overline{L'_{pA(ST)}}$, za pozadinsku buku i za ispitnu okolinu [5]:

$$\overline{L_{pA}} = \overline{L'_{pA(ST)}} - K_1 - K_2. \quad (4.29)$$

Srednja vrednost vremenski usrednjenih nivoa zvučnog pritiska za jednake segmente površina se izračunava primenom jednačine (4.25).

Srednja vrednost nivoa pozadinske buke na mernoj površini, $\overline{L_{pA(B)}}$, se izračunava primenom jednačine (4.26).

4.3 Merni lanac i povezivanje

4.3.1 Merenje vremena reverberacije

Za merenje vremena reverberacije se primenjuje merni lanac naveden u poglavlju 1.3 (sl. 1.6), isključujući adapter JP-1041 i flet kabl AR-0199. Merilo nivoa zvuka, tip Bruel&Kjaer 2270 se koristi u jednokanalnoj varijanti sa softverom BZ-7227.

Postupak povezivanja merne opreme u merni lanac je identičan postupku opisanom u poglavlju 2.3 isključujući 8. korak.

4.3.2 Merenje zvučnog pritiska

Za merenje zvučnog pritiska (A-ponderisanih vrednosti i vrednosti u frekvencijskim opsezima) koristi se:

1. Merilo nivoa zvuka, tip Bruel&Kjaer 2270 sa softverom BZ-7223 (sl. 1.7) u jednokanalnoj varijanti;
2. Kondenzatorski mikrofoni, tip Bruel&Kjaer 4189 sa pretpojačavačem ZC-0032;
3. Kalibrator zvuka, tip Bruel&Kjaer 4231 (sl. 1.10);
4. Kablovi, stalci i držači za mikrofoni;
5. Računar (opciono).

Za povezivanje instrumenata u merni lanac ponoviti korake 1, 2, 3 i 5 koji su opisani u poglavlju 2.3.

Kompletna merna oprema (osim računara) za merenje vremena reverberacije i merenje zvučnog pritiska nabavljena je u okviru Erasmus+ projekta "Jačanje obrazovnih kapaciteta kroz izgradnju kompetencija i saradnju u oblasti inženjerstva bukom i vibracijama (SENVIBE)" br. 598241-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP.

4.4 Kalibracija mernog sistema

Postupak kalibracije je opisan u poglavlju 1.4. U jednokanalnoj varijanti merila nivoa zvuka 2270 potrebno je preskočiti korak izbora kanala za kalibraciju jer je na raspolaganju samo kalibracija jednog kanala.

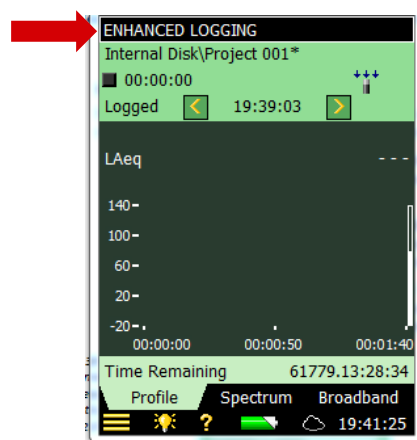
4.5 Podešavanje mernih instrumenata

4.5.1 Podešavanje mernih instrumenata za merenje vremena reverberacije

Podešavanje mernih instrumenata za merenje vremena reverberacije je opisano u poglavlju 3.5.

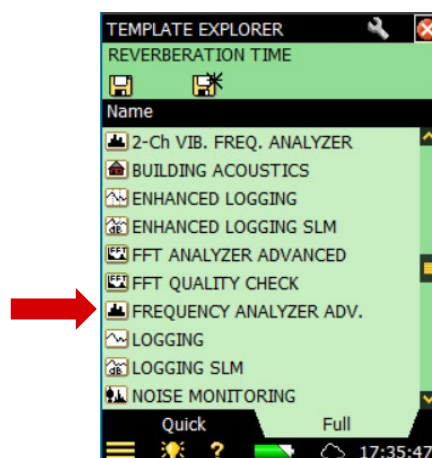
4.5.2 Podešavanje merila nivoa zvuka za merenje nivoa zvučnog pritiska

Kliknuti u desni ugao crne trake za izbor templejta za merenje.

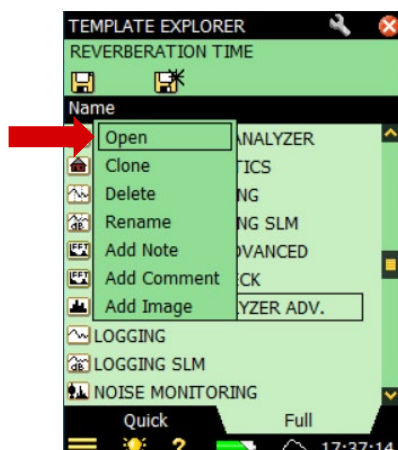


Iz padajućeg menija izabrati templejt „FREQUENCY ANALYZER ADV.“.

Izabrani templejt omogućava frekvencijsku analizu nivoa zvučnog pritiska.

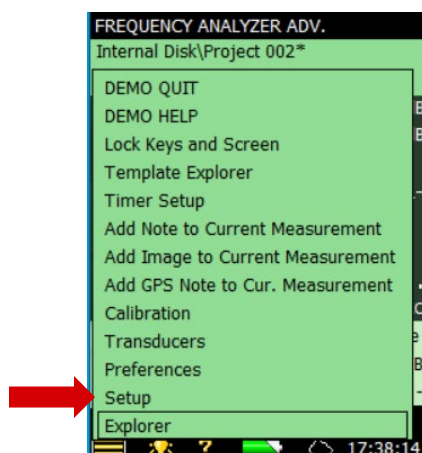


U padajućem meniju izabrati opciju „Open“.



Otvoriti meni za podešavanje merila nivoa zvuka.

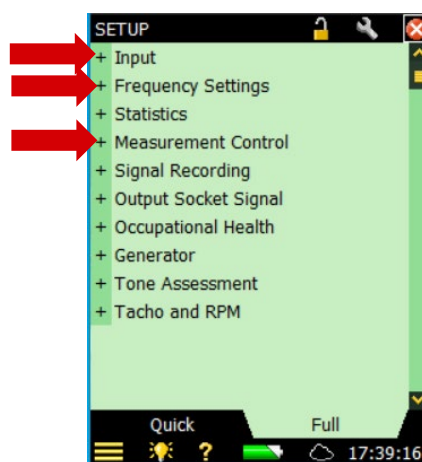
Izabrati opciju „Setup“.



U opciji „Setup“ je moguće podešavanje različitih grupa parametara. Grupa parametara se otvara klikom na +.

Za merenje zvučnog pritiska u svrhu određivanja zvučne snage značajne su sledeće grupe parametara: „Input“, „Frequency Settings“ i „Measurement Control“.

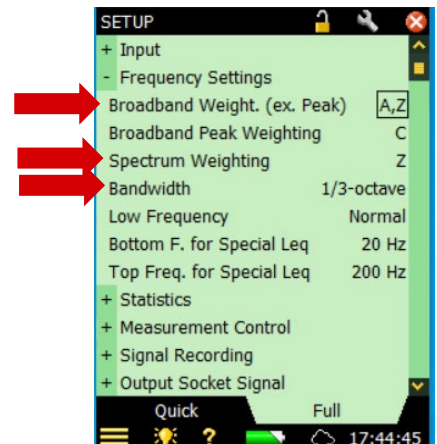
Podešavanje grupe parametara „Input“ je identično kao i kod merenja vremena reverberacije (vidi 2.5).



U grupi parametara „Frequency Settings“ važna su sledeća podešavanja:

- Podešavanje ponderacione frekvencijske krive za širokopojasne parametre (ukupni nivo) „Broadband Weight. (ex. Peak)“;
- Podešavanje ponderacione frekvencijske krive za frekvencijski spektar „Spectrum Weighting“;
- Podešavanje tipa filtera za frekvencijsku analizu „Bandwidth“.

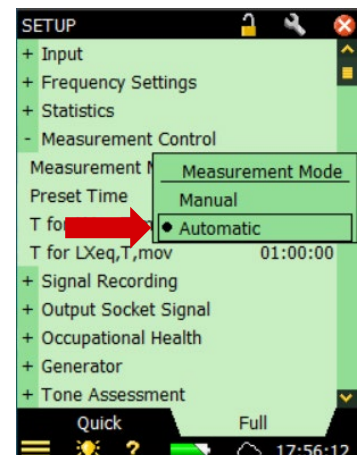
Izabrati podešavnja kao na slici.



U grupi parametara „Measurement mode“ podešava se način merenja:

- „Manual“ – merilac startuje i završava merenje;
- „Automatic“ – merilac startuje merenje, a merenje se automatski završava nakon podešenog vremena merenja.

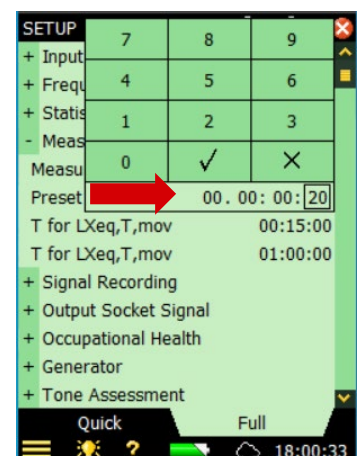
Izabrati opciju „Automatic“.



Nakon izbora automatskog načina merenja podešava se vreme merenja „Preset time“.

Klikom na podešeno vreme merenja otvara se tastatura za unos novog vremena merenja. Unos se potvrđuje simbolom ✓.

Izabrati 20 s.



4.6 Postupak merenja

4.6.1 Merenje, memorisanje i očitavanje vremena reverberacije

Primenom metode koja je opisana u poglavlju 3, izmeriti, memorisati i očitati vrednosti vremena reverberacije u ispitnoj prostoriji sa jednim položajem izvora zvuka i tri položaja mikrofona.

4.6.2 Merenje, memorisanje i očitavanje nivoa zvučnog pritiska

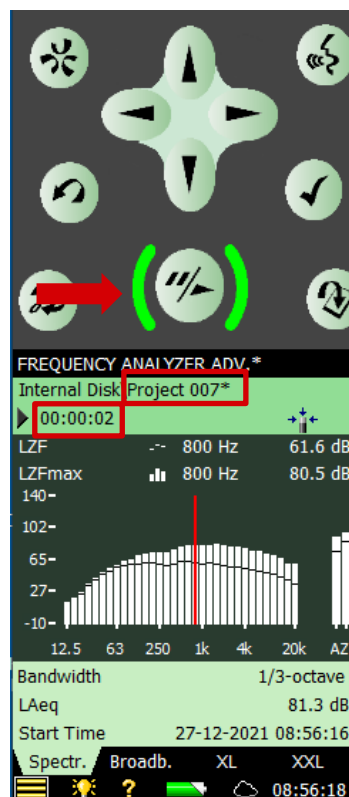
Za merenje zvučnog pritiska kada ispitivani izvor buke radi i merenje zvučnog pritiska pozadinske buke pozicionirati merni mikrofoni u odgovarajuću mernu tačku.

Kliknuti na taster u sredini za start merenja.

Ispod oznake mernog templejta naznačena je oznaka mernog projekta u kome će biti memorisani podaci o merenju pored koje stoji oznaka „*“ koja ukazuje da je projekat u toku.

Zabeležiti oznaku projekta.

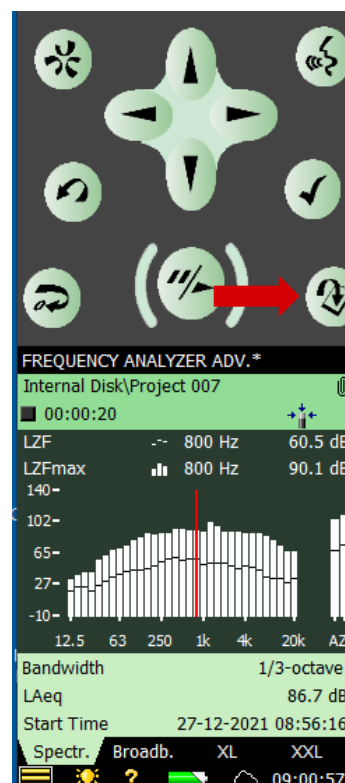
Ispod toga je prikazano proteklo vreme merenja (vidi sliku).



Po završetku merenja kliknuti za memorisanje podataka na desni taster.

Pored oznake projekta je izbrisana * što znači da je taj projekat završen.

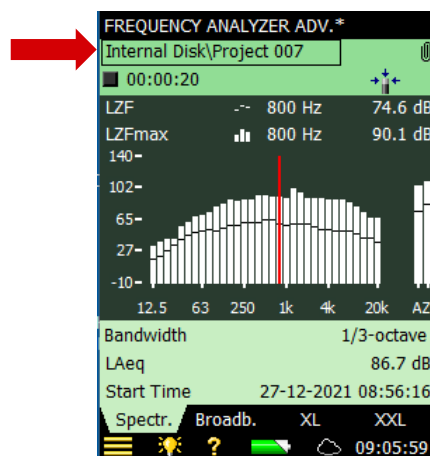
Ponoviti prethodna dva koraka za sve položaje mikrofona.



Nakon izvršenih merenja, merni podaci se preko softvera Measurement Partner Suite BZ-5503 mogu prebaciti u radno okruženje softvera gde se može vršiti dalja obrada i očitavanje rezultata merenja, kao što je opisano u 1.6.4.

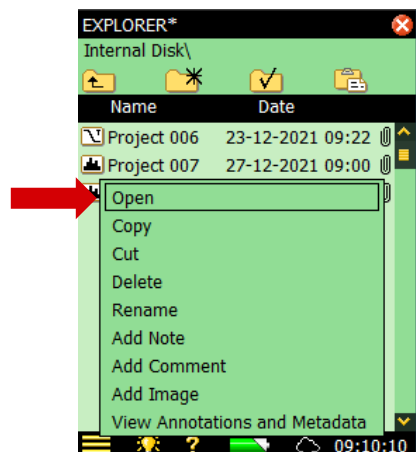
Rezultati merenja se mogu očitati i na samom merilu nivoa zvuka.

Kliknuti na radni direktorijum u kome se smeštaju memorisani podaci.



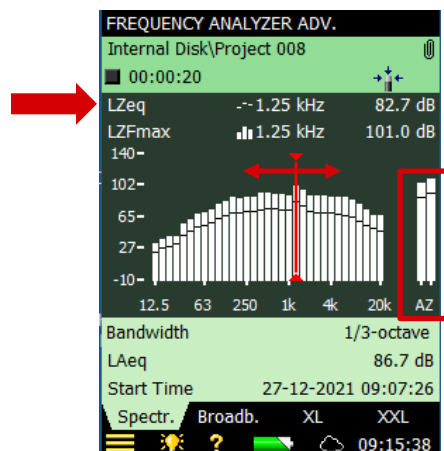
Otvora se lista memorisanih projekata u radnom direktorijumu.

Kliknuti na odgovarajući projekat i izabrati opciju „Open“.



Merni rezultati izabranog projekta se prikazuju na radnoj površini merila nivoa zvuka, gde se pomeranjem kursora može izvršiti očitavanje izmerenih vrednosti po frekvencijama, kao i širokopolasni parametri.

U statusnoj liniji izabrati merni parametar LZeq.



4.7 Zadatak

1. Izmeriti dimenzije ispitne prostorije. Izmeriti vreme reverberacije sa jednim položajem izvora zvuka i tri položaja mikrofona. Odrediti granični radijus prostorije i apsorpcionu površinu prostorije.
2. Smestiti ispitivani izvor buke u centralni deo prostorije i odrediti zvučnu snagu izvora buke:
 - a) inženjerskom metodom (vidi 4.2.1);

Definisati polusfernu mernu površinu poluprečnika 1 m i na njoj raspored glavnih mernih tačaka (ukupno 10). Odrediti korekciju za okolinu K2 i ukoliko je zadovoljen uslov da je vrednost manja ili jednaka od četiri izvršiti merenje zvučnih pritisaka za slučaj kada izvor buke radi i za slučaj kada izvor buke ne radi (pozadinska buka). U suprotnom preduzeti odgovarajuće mere za smanjenje korekcije K2 i ponoviti merenja.
 - b) informativnom metodom (vidi 4.2.2);

Zvučnu snagu izvora buke odrediti na osnovu izvršenih merenja u prethodnoj tački.
 - c) metodom reverberacione prostorije (vidi 4.1.2.3);

Merenje nivoa zvučnog pritiska kada izvor buke radi i kada ne radi sprovesti u šest mernih tačaka na rastojanjima koja su veća od graničnog radijusa.

4.8 Literatura

- [1] M. Praščević, D. Cvetković, D. Mihajlov, Buka u životnoj sredini, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, ISBN: 978-86-6093-095-0, Niš, 2020
- [2] Pravilnik o buci koju emituje oprema koja se upotrebljava na otvorenom prostoru („Sl. glasnik RS“ br. 1/2013)
- [3] Determination of the Sound Power of a Noise Source, Fundamentals of Acoustics ISVR 6030 Laboratory No. 2 report, ISVR 09/01/07
- [4] SRPS EN ISO 3744:2011 Akustika — Određivanje nivoa zvučne snage i nivoa zvučne energije izvora buke na osnovu zvučnog pritiska — Inženjerska metoda za približno slobodno polje iznad refleksione ravni
- [5] SRPS EN ISO 3746:2011 Akustika — Određivanje nivoa zvučne snage i nivoa zvučne energije izvora buke na osnovu zvučnog pritiska — Informativna metoda korišćenjem merne površine koja obuhvata izvor iznad refleksione ravni
- [6] Upustvo Q.CTI.UP.21, Određivanje zvučne snage izvora buke inženjerskom metodom zvučnog pritiska, Centar za tehnička ispitivanja, Fakultet zaštite na radu u Nišu, 2019
- [7] Upustvo Q.CTI.UP.20, Određivanje zvučne snage izvora buke informativnom metodom zvučnog pritiska, Centar za tehnička ispitivanja, Fakultet zaštite na radu u Nišu, 2019

4.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna

4.9.1 Određivanje graničnog radijusa prostorije, apsorpcione površine prostorije i korekcije za okolinu

Dimenzije izvora buke				Dimenzije referentnog paralelopipeda				
a [m]	b [m]	c [m]		l_1 [m]	l_2 [m]	l_3 [m]		
Karakteristična dimenzija izvora d_0 [m]:								
Merna površina, S [m²]=				Dimenzije ispitne prostorije				
f [Hz]	T_{30} [s]			A [m]	B [m]	C [m]	S_v [m²]	V [m³]
	Položaji mikrofona							
	1	2	3	$\bar{T}_{30}$ [s]	T_R [s]	r_g [m]	A [m²]	K_2 [dB]
100								
125								
160								
200								
250								
315								
400								
500								
630								
800								
1000								
1250								
1600								
2000								
2500								
3150								
4000								
5000								

4.9.2 Određivanje zvučne snage inženjerskom metodom

f [Hz]	Vrednosti nivoa zvučnog pritiska na površini kada izvor buke radi $L'_{pi(ST)}$ [dB]										$\overline{L'_{p(ST)}}$ [dB]
	Redni broj mernog projekta										
	Položaji mikrofona										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
100											
125											
160											
200											
250											
315											
400											
500											
630											
800											
1000											
1250											
1600											
2000											
2500											
3150											
4000											
5000											
A*											

*Samo za primenu informativne metode

f [Hz]	Vrednosti nivoa zvučnog pritiska na površini kada izvor buke ne radi – pozadinska buka, $L_{pi(B)}$ [dB]										$\overline{L}_{p(B)}$ [dB]
	Redni broj mernog projekta										
	Položaji mikrofona										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
100											
125											
160											
200											
250											
315											
400											
500											
630											
800											
1000											
1250											
1600											
2000											
2500											
3150											
4000											
5000											
A*											

*Samo za primenu informativne metode

f [Hz]	Proračun nivoa zvučne snage – inženjerska metoda							
	$\overline{L'_{p(ST)}}$	$\overline{L'_{p(B)}}$	K_1	K_2	$\overline{L_p}$	L_{p_a}	C	$L_{p_a} + C$
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100							-5.6	
125							-4.2	
160							-3.0	
200							-2.0	
250							-1.8	
315							-0.8	
400							-0.5	
500							-0.3	
630							-0.1	
800							0	
1000							0	
1250							0	
1600							0	
2000							-0.1	
2500							-0.2	
3150							-0.4	
4000							-0.7	
5000							-1.2	
L_{p_aA} [dB] =								

4.9.3 Određivanje zvučne snage informativnom metodom

$\overline{\alpha}$		A [m ²]		K_{2A} [dB]	K_{1A} [dB]				
0.15									
Vrednosti nivoa zvučnog pritiska na površini kada izvor buke radi, $L'_{pAi(ST)}$ [dB]*				$\overline{L'_{pA(ST)}}$ [dB]	Vrednosti nivoa zvučnog pritiska na površini kada izvor buke ne radi – pozadinska buka, $L_{pAi(B)}$ [dB]*				$\overline{L'_{pA(B)}}$ [dB]
					Položaji mikrofona				
4	5	6	10		4	5	6	10	

* Podatke preuzeti iz tabela u 4.9.2.

Proračun nivoa zvučne snage – informativna metoda

$\overline{L'_{pA(ST)}}$	$\overline{L'_{pA(B)}}$	K_{1A}	K_{2A}	$\overline{L_{pA}}$	L_{p_aA}
[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]

4.9.4 Određivanje zvučne snage metodom reverberacione prostorije

f [Hz]	Vrednosti nivoa zvučnog pritiska u prostoriji kada izvor buke radi, $L'_{pi(ST)}$ [dB]						$\overline{L_{p(ST)}} = \overline{L_p}$ [dB]
	Položaji mikrofona, i						
	1	2	3	4	5	6	
100							
125							
160							
200							
250							
315							
400							
500							
630							
800							
1000							
1250							
1600							
2000							
2500							
3150							
4000							
5000							

f [Hz]	Vrednosti nivoa zvučnog pritiska u prostoriji kada izvor buke ne radi, $L_{pi(B)}$ [dB]						$\overline{L_{p(B)}}$ [dB]
	Položaji mikrofona, i						
	1	2	3	4	5	6	
100							
125							
160							
200							
250							
315							
400							
500							
630							
800							
1000							
1250							
1600							
2000							
2500							
3150							
4000							
5000							

f [Hz]	Proračun nivoa zvučne snage – metoda reverberacione prostorije						
	$\overline{L_p}$	$\overline{L_{p(B)}}$	K_1	A	L_{p_a}	C	$L_{p_a} + C$
	[dB]	[dB]	[dB]	[m ²]	[dB]	[dB]	[dB]
100						-5.6	
125						-4.2	
160						-3.0	
200						-2.0	
250						-1.8	
315						-0.8	
400						-0.5	
500						-0.3	
630						-0.1	
800						0	
1000						0	
1250						0	
1600						0	
2000						-0.1	
2500						-0.2	
3150						-0.4	
4000						-0.7	
5000						-1.2	
L_{p_aA} [dB] =							

MERENJE I OCENA BUKE U RADNOJ SREDINI

5

5.1 Teorijske osnove

5.1.1 Buka kao profesionalna štetnost

Buka u radnoj sredini je posledica radnih aktivnosti i odvijanja tehnološkog procesa korišćenjem složenih postrojenja, mašina, alata i transportnih sredstava (viljuškara, kamiona...), ali i rada sistema za ventilaciju i klimatizaciju radnih prostora.

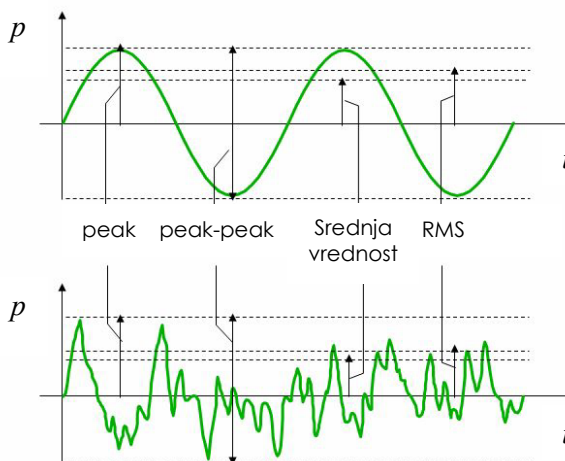
Mehanizmi stvaranja buke zavise od naročito bučnih operacija (uključujući drobljenje, zakivanje, miniranje, kovanje, bušenje, peskarenje, probijanje, presovanje) i bučne opreme (prese za bušenje, strugovi, pneumatska oprema, mašine za oblikovanje, deljenje i rezanje metala, glodalice i brusilice, tekstilne mašine, mašine za štampu, pumpe i kompresori, pogonske jedinice, ručno vođene mašine, samohodne radne mašine, transportni sistemi u pogonu i transportna vozila).

Buka je profesionalna štetnost na velikom broju radnih mesta u metalnoj industriji, industriji čelika, livnicama, pilanama, fabrikama tekstila, radionicama za održavanje aviona, kamenolomima i sl. Veoma često se javlja kao uzrok obostranog perceptivnog oštećenja sluha kao profesionalne bolesti.

5.1.2 Veličine za ocenu buke u radnoj sredini

Fizičke veličine koje se koriste u postupku procene rizika usled izlaganja buci su [1]:

- vršna vrednost zvučnog pritiska, p_{Cpeak} - maksimalna vrednost "C" frekvencijski ponderisanog trenutnog zvučnog pritiska u mernom intervalu;



Sl. 5.1 Veličine za opisivanje vremenski promenljivog zvučnog signala [2]

- nivo dnevne izloženosti buci, $L_{A,EX,8h}$ - vremenski ponderisana srednja vrednost nivoa izloženosti buci za 8-časovno radno vreme;
- nivo nedeljne izloženosti buci, $\bar{L}_{A,EX,8h}$ - vremenski ponderisana srednja vrednost nivoa izloženosti buci za radnu nedelju od pet 8-časovnih radnih dana.

Vršna vrednost zvučnog pritiska se koristi prevashodno kod ocene impulsne buke, dok se ostale dve veličine koriste kod ocene kontinualno promenljive ili isprekidane buke.

Nivo dnevne izloženosti buci, odnosno A-ponderisani nivo izloženosti buci normalizovan na 8-časovni radni dan, određuje se na osnovu A-ponderisanog ekvivalentnog nivoa zvučnog pritiska, L_{p,A,eq,T_e} , određenog za efektivno trajanje radnog vremena, T_e :

$$L_{A,EX,8h} = L_{p,A,eq,T_e} + 10 \log \frac{T_e}{T_0}, \quad (5.1)$$

gde je T_0 – referentno trajanje radnog dana od 8 h.

Ako efektivno trajanje radnog dana iznosi 8 h, tada je nivo dnevne izloženosti buci jednak $L_{p,A,eq,8h}$.

Ako je buka u toku radne nedelje promenljiva, određuje se prosečna vrednost u toku nedelje, odnosno nivo nedeljne izloženosti buci:

$$\bar{L}_{A,EX,8h} = 10 \log \left[\frac{1}{X} \sum_{i=1}^X 10^{0.1 \cdot L_{A,EX,8h,i}} \right], \quad (5.2)$$

gde je: X – broj radnih dana u nedelji,

$L_{A,EX,8h,i}$ – nivo dnevne izloženosti buci za i -ti dan u radnoj nedelji.

Ukoliko radnik u toku dana izvršava različite zadatke opslužujući različite mašine ili koristi različite radne alate, potrebno je za svaki radni zadatak odrediti A-ponderisani ekvivalentni nivo zvučnog pritiska, L_{p,A,eq,T_m} , i vreme izloženosti buci pri obavljanju tog radnog zadatka, T_m . Nivo dnevne izloženosti buci se u tom slučaju određuje na sledeći način:

$$L_{A,EX,8h} = 10 \log \left[\sum_{m=1}^M \frac{T_m}{T_0} 10^{0.1 \cdot L_{p,A,eq,T_m}} \right], \quad (5.3)$$

gde je M – broj radnih zadataka koje radnik izvršava u toku dana.

5.1.3 Granične i akcione vrednosti nivoa dnevne izloženosti buci i kriterijumi za ocenu

Pravilnik o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad pri izlaganju buci [1] definiše:

1. graničnu vrednost za nivo dnevne i nedeljne izloženosti buci i za vršnu vrednost zvučnog pritiska;
2. gornju akcionu vrednost za nivo dnevne i nedeljne izloženosti buci i za vršnu vrednost zvučnog pritiska;
3. donju akcionu vrednost za nivo dnevne i nedeljne izloženosti buci i za vršnu vrednost zvučnog pritiska.

Granične i akcione vrednosti su prikazane u tabeli 5.1, a u tabeli 5.2 su dati kriterijumi za ocenu izloženosti buci.

Tabela 5.1 Granične i akcione vrednosti nivoa izloženosti buci i vršne vrednosti zvučnog pritiska [1]

	Nivo izloženosti buci	Vršna vrednost zvučnog pritiska	Nivo vršne vrednosti zvučnog pritiska
Granična vrednost	85 dB	140 Pa	137 dB
Gornja akciona vrednost	83 dB	126 Pa	136 dB
Donja akciona vrednost	80 dB	112 Pa	135 dB

Tabela 5.2 Kriterijumi za ocenu izloženosti buci

Nivo izloženosti	Vršni nivo (za impulsnu buku)	OCENA
$L_{A,EX,8H} \leq 80$ dB	$L_{Cpeak} \leq 135$ dB	NE PREKORAČUJE DONJE AKCIONE VREDNOSTI Nisu potrebne dodatne mere zaštite
$80 < L_{A,EX,8H} < 83$ dB	$135 < L_{Cpeak} < 136$ dB	PREKORAČUJE DONJE AKCIONE VREDNOSTI Lična zaštitna oprema na raspolaganju
$L_{A,EX,8H} \geq 83$ dB	$L_{Cpeak} \geq 136$ dB	PREKORAČUJE GORNJE AKCIONE VREDNOSTI Obavezno korišćenje lične zaštitne opreme
$L_{A,EX,8H} > 85$ dB	$L_{Cpeak} > 137$ dB	PREKORAČUJE GRANIČNE VREDNOSTI Ocenu izloženosti vršiti uzimajući u obzir slabljenje lične zaštitne opreme

Prilikom ocene izloženosti zaposlenog buci u odnosu na akcione vrednosti izloženosti buci se ne uzima u obzir smanjenje izloženosti usled korišćenja štitnika za sluh.

Prilikom ocene izloženosti zaposlenog buci u odnosu na granične vrednosti izloženosti buci se uzima u obzir smanjenje izloženosti usled korišćenja štitnika za sluh.

5.1.4 Veličine za ocenu slabljenja lične zaštite opreme za zaštitu sluha

Za ocenu slabljenja lične zaštite opreme za zaštitu sluha (u daljem tekstu štitnici za sluh) koriste se sledeće veličine:

1. **Pretpostavljene vrednosti zaštite APV** (eng. *Assumed Protection Values*) - predstavljaju meru slabljenja štitnika za sluh u funkciji frekvencije. APV vrednosti se koriste i za izračunavanje drugih vrednosti za ocenu slabljenja štitnika za sluh, kao što su SNR i HML vrednosti. Mogu se takođe koristiti za direktnu ocenu smanjenja buke u pojedinačnom frekvencijskom opsegu kada je poznat oktavni spektar buke.
2. **SNR** (eng. *Singe Number Rating*) - jednobrojna vrednost koja se izračunava u skladu sa standardom SRPS EN ISO 4869-2 [3]. SNR se izračunava za različite nivo performansi zaštite, tj. procenat populacije za koju se može smatrati da neće imati slabljenje manje od izračunatog. Različite performanse zaštite su date u opsegu od 75 % do 98 %. Kada se izabere nivo performansi zaštite, on se označava u indeksu, npr. SNR₈₀.

3. **HML** (eng. High Middle Low) - trobrojna vrednost H, M i L koja se takođe izračunava u skladu sa standardom SRPS EN ISO 4869-2 [3]. H i M vrednosti se koriste za izračunavanje nivoa izloženosti za buku koja ima dominantnu energiju na srednjim i visokim frekvencijama, tamo gde je razlika C-ponderisanog i A-ponderisanog nivoa jednaka ili manja od 2 dB. M i L vrednosti se koriste za izračunavanje nivoa izloženosti za buku koja ima приметne niskofrekvencijske komponente, tamo gde je razlika C-ponderisanog i A-ponderisanog nivoa veća od 2 dB.

Primer deklarisanja veličina za ocenu slabljenja štitnika za sluh je prikazan na sl. 5.2.

Optime I Head Band Version (H510A)

Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mf (dB)	14.1	11.6	18.7	27.5	32.9	33.6	36.1	35.8
sf (dB)	4.0	4.3	3.6	2.5	2.7	3.4	3.0	3.8
APVf (dB)	10.1	7.3	15.1	25.0	30.1	30.2	33.2	32.0

SNR = 27dB

H = 32dB

M = 25dB

L = 15dB



Izvor: <https://www.shponline.co.uk/ppe/is-your-hearing-overprotected/>

Sl. 5.2 Deklarisanje veličina za ocenu slabljenja štitnika za sluh

5.1.5 Procena efektivnosti korišćenja lične zaštitne opreme

Za procenu efektivnosti korišćenja štitnika za sluh mogu se koristiti tri metode:

1. Oktavna metoda, zasnovana na APV vrednostima slabljenja;
2. SNR metoda;
3. HML metoda.

Postupak primene oktavne metode:

1. Izmeriti oktavni nivo zvučnog pritiska na radnom mestu;
2. Očitati vrednosti APV iz kataloga proizvođača;
3. Oduzeti vrednosti APV od izmerenih oktavnih vrednosti;
4. Dodati odgovarajuće vrednosti slabljenja A-ponderacione krive;
5. Izračunati ukupni A-ponderisani nivo zvučnog pritiska;
6. Rezultat predstavlja A-ponderisani nivo zvučnog pritiska sa zaštitom.

Postupak primene SNR metode:

1. Izmeriti C-ponderisani nivo zvučnog pritiska na radnom mestu;
2. Očitati vrednost SNR iz kataloga proizvođača;
3. Oduzeti SNR vrednost od C-ponderisanog nivoa zvučnog pritiska;
4. Rezultat predstavlja A-ponderisani nivo zvučnog pritiska sa zaštitom.

Postupak primene HML metode:

1. Izmeriti A- i C-ponderisani nivo zvučnog pritiska na radnom mestu;
2. Oduzeti A-ponderisani nivo zvučnog pritiska od C-ponderisanog nivoa zvučnog pritiska;
3. Očitati vrednost HML iz kataloga proizvođača;
4. Izračunati procenjeni nivo slabljenja (PNR);
5. Oduzeti PNR vrednost od A-ponderisanog nivoa zvučnog pritiska;
6. Rezultat predstavlja A-ponderisani nivo zvučnog pritiska sa zaštitom.

Procenjeni nivo slabljenja (PNR) se računa primenom jednačine:

$$PNR = M - \frac{H - M}{4}(L_C - L_A - 2) \quad \text{ako je } L_C - L_A \leq 2 \text{ dB}$$

$$PNR = M - \frac{M - L}{8}(L_C - L_A - 2) \quad \text{ako je } L_C - L_A > 2 \text{ dB} \quad (5.4)$$

5.2 Određivanje izloženosti buci u radnoj okolini

Postupak merenja buke u radnoj okolini radi određivanja nivoa izloženosti radnika buci na radnom mestu i u radnoj okolini i ocenjivanja stanja buke poređenjem sa dozvoljenim graničnim i akcionim vrednostima utvrđen je Standardom [4]. Za ocenu stanja nivoa buke se meri A-ponderisani ekvivalentni nivo buke i po potrebi C-ponderisani vršni nivo buke za slučaj kada radnik nosi ušne štitnike.

Postupak za određivanje nivoa izloženosti buci je opisan i u uputstvu Q.CTI.UP.11 [5].

5.2.1 Merne strategije

Standard [4] utvrđuje tri različite merne strategije koje se mogu primeniti u zavisnosti od karakteristika poslova koje radnik obavlja:

- **merenje zasnovano na radnim zadacima** - izvršeni rad u toku dana se deli na reprezentativne zadatke i za svaki zadatak se vrši merenje; primenjuje se za fiksna radna mesta (jednostavan ili pojedinačan zadatak i složeni i višestruki zadaci) i mobilna (mali broj zadataka sa predvidljivim aktivnostima);
- **merenje zasnovano na poslu** - određeni broj slučajnih uzoraka nivoa buke se meri u toku izvršavanja određenog posla; primenjuje se za fiksna i mobilna radna mesta sa više zadataka nedefinisano trajanja ili gde zadaci nisu definisani;
- **celodnevno merenje** - primenjuje se za mobilna radna mesta sa velikim brojem složenih zadataka ili kada aktivnosti nisu predvidljive.

Za potrebe realizacije predviđene laboratorijske vežbe biće opisana strategija merenja zasnovana na radnim zadacima.

5.2.2 Merna mesta

Mikrofon se pri merenju buke na radnom mestu postavlja na mesto rada radnika u visini ušiju radnika, na odstojanju od 0.1 m do 0.4 m od vrha ramena. Ako radnik nosi personalno merilo nivoa zvuka (dozimetar), mikrofon se postavlja na odstojanju od 0.10 m od uva i 0.04 m od vrha ramena. Mikrofon mora biti usmeren prema izvoru buke. Između mikrofona i izvora buke ne sme biti prepreka.

Na radnom mestu i u prostorijama u kojima položaj glave radnika nije tačno određen, merenje se vrši na mestu koje je karakteristično za opterećenje radnika, i to na visini od 1.55 ± 0.075 m ako radnik radi stojeći, ili na visini od 0.8 ± 0.05 m ako radi sedeći [4].

5.2.3 Strategija merenja zasnovana na radnim zadacima

Strategija merenja zasnovana na radnim zadacima podrazumeva: podelu nominalnog radnog dana od 8 h na radne zadatke koje radnik obavlja u toku nominalnog radnog dana, merenje ekvivalentnog kontinualnog nivoa zvučnog pritiska za svaki od radnih zadataka i određivanje trajanja radnih zadataka na osnovu izjava radnika i poslovođe, ili posmatranja samih radnih zadataka. Na osnovu različitih procena određuje se aritmetička srednja vrednost trajanja m -tog radnog zadatka:

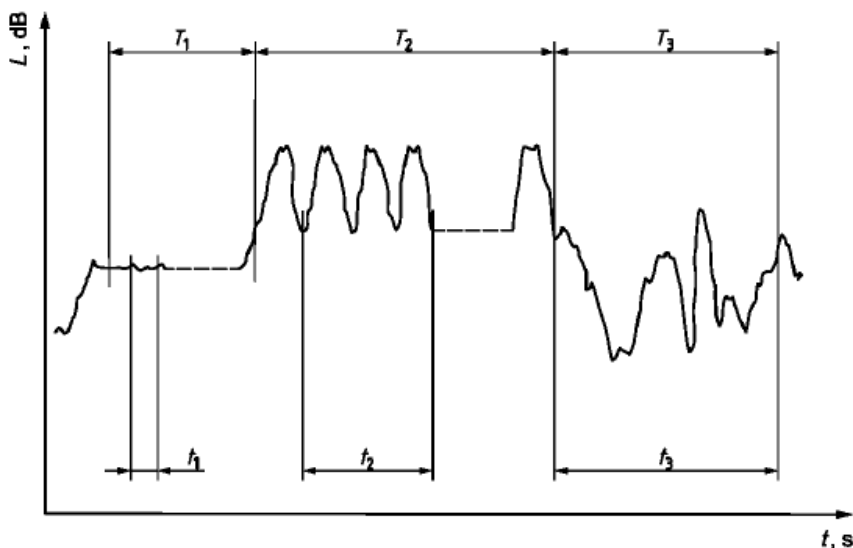
$$\bar{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j}, \quad (5.5)$$

gde je J – broj procena trajanja m -tog radnog zadatka.

Merni interval mora da obuhvati sve promene u nivou zvuka tokom obavljanja radnog zadatka i to u vremenu, prostoru i radnim uslovima. Merni interval za svako merenje mora da bude dovoljno dug da reprezentuje prosečan ekvivalentni kontinualni nivo zvučnog pritiska za aktuelni radni zadatak.

Ako je trajanje radnog zadatka kraće od 5 min, merni interval mora da bude jednak trajanju radnog zadatka. Merni interval za duže radne zadatke mora da bude najmanje 5 min.

Merni interval može da bude skraćen ako je buka nepromenljiva ili ponovljiva, ili ako se smatra da buka radnog zadatka zanemarljivo utiče na ukupni nivo izloženosti. Npr, za radni zadatak trajanja T_1 je dovoljan merni interval trajanja t_1 (vidi sl. 5.3).



Sl. 5.3 Izbor adekvatnog mernog intervala [4]

Ako je buka slučajno promenljiva, npr. kod radnog zadatka trajanja T_3 , onda merni interval čije je trajanje t_3 mora da bude dovoljno dug da obezbedi reprezentativni uzorak (sl. 5.3).

Ako je buka tokom radnog zadatka ciklična, trajanja T_2 , tada merni interval trajanja t_2 mora da obuhvati najmanje tri jasno definisana ciklusa (sl. 5.3). Ako je trajanje tri ciklusa kraće od 5 min, merenje mora da traje najmanje 5 min. Trajanje svakog merenja mora uvek da odgovara trajanju određenog broja punih ciklusa.

Za svaki od radnih zadataka treba ponoviti merenje najmanje tri puta. Ako se rezultati tri merenja za radni zadatak razlikuju za 3 dB ili više, tada je potrebno:

- izvršiti tri ili više dodatnih merenja za isti radni zadatak, ili
- podeliti radni zadatak na više podzadataka i ponoviti postupak merenja, ili
- ponoviti merenje sa dužim mernim intervalom.

Prvi pristup pri određivanju dnevnih nivoa izloženosti buci podrazumeva izračunavanje $\overline{L_{pAeq,T_m}}$ za m -ti radni zadatak na osnovu izvršenih I merenja ekvivalentnog kontinualnog nivoa zvučnog pritiska, $L_{pAeq,T_{mi}}$:

$$\overline{L_{pAeq,T_m}} = 10 \log \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0.1 \cdot L_{pAeq,T_{mi}}} \right). \quad (5.6)$$

Dnevni nivo izloženosti buci za posao koji se sastoji od M radnih zadataka izračunava se primenom jednačine (5.3).

Drugi pristup podrazumeva određivanje doprinosa dnevnom nivou izloženosti buci svakog radnog zadatka:

$$L_{EX,8h,m} = \overline{L_{pAeq,T_m}} + 10 \log \left(\frac{\bar{T}_m}{T_0} \right) \quad (5.7)$$

i određivanje ukupnog nivoa dnevne izloženosti buci:

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left(\sum_{m=1}^M 10^{L_{EX,8h,m}/10} \right). \quad (5.8)$$

5.2.4 Merna nesigurnost kod strategije merenja zasnovane na radnim zadacima

Kombinovana merna nesigurnost se izračunava kao:

$$u^2(L_{EX,8h}) = \left(\sum_{m=1}^M \left[c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} u_{1b,m})^2 \right] \right), \quad (5.9)$$

gde je:

- u_{2m} - standardna nesigurnost mernog instrumenta; ima vrednost 0.7 dB za merila nivoa zvuka, odnosno 1.5 dB za dozimetre;
- u_3 - standardna nesigurnost zbog položaja mernog mesta; ima vrednost 1 dB;

- $u_{1a,m}$ - standardna nesigurnost zbog uzorkovanja nivoa buke za m -ti radni zadatak:

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \sum_{i=1}^I (L_{pAeq,T_{mi}} - \overline{L_{pAeq,T_m}})^2}; \quad (5.10)$$

- $u_{1b,m}$ - standardna nesigurnost zbog trajanja m -tog radnog zadatka:

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \sum_{j=1}^J (T_{m,j} - \overline{T_{m,j}})^2}. \quad (5.11)$$

Ako se vreme trajanja zadatka iskazuje u opsegu, tada je:

$$u_{1b,m} = 0.5 \cdot (T_{\max} - T_{\min}), \quad (5.12)$$

U jednačini (5.10) je $\overline{L_{pAeq,T_m}}$ aritmetička sredina I merenja za m -ti zadatak i izračunava se primenom jednačine (5.6).

Koeficijenti osetljivosti su:

$$c_{1a,m} = \frac{T_m}{T_0} \cdot 10^{0.1 \cdot (L_{pAeq,T_m} - L_{EX,8h})}, \quad (5.13)$$

$$c_{1b,m} = 4.34 \cdot \frac{c_{1a,m}}{T_m}. \quad (5.14)$$

Proširena merna nesigurnost se računa kao:

$$U(L_{EX,8h}) = 1.65 \cdot u(L_{EX,8h}). \quad (5.15)$$

5.3 Merni lanac i povezivanje

Za merenje zvučnog pritiska (A-ponderisanih vrednosti, C-ponderisanih vrednosti i vršnih vrednosti) koristi se:

1. Merilo nivoa zvuka, tip Bruel&Kjaer 2250 sa softverom BZ-7223 (sl. 5.4);
2. Kondenzatorski mikrofون, tip Bruel&Kjaer 4189 sa pretpojačavačem ZC-0032;
3. Kalibrator zvuka, tip Bruel&Kjaer 4231 (sl. 1.10);
4. Stalak za merilo nivoa zvuka;
5. Računar (opciono).



Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 5.4 Merilo nivoa zvuka, tip Bruel&Kjaer 2250

Na merilo nivoa zvuka povezati pretpojačavač ZC-0032 i kondenzatorski mikrofonski 4189 i sve zajedno postaviti na stalak za merilo nivoa zvuka.

Kompletna merna oprema (osim računara) nabavljena je u okviru Erasmus+ projekta "Jačanje obrazovnih kapaciteta kroz izgradnju kompetencija i saradnju u oblasti inženjerstva bukom i vibracijama (SENVIBE)" br. 598241-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP.

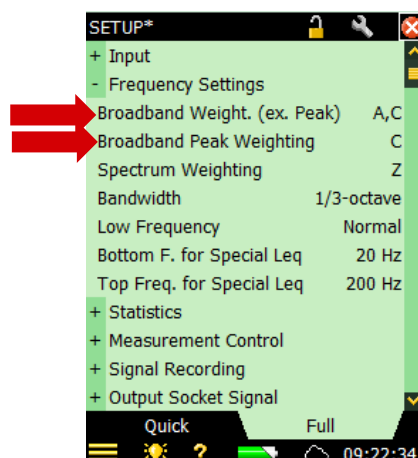
5.4 Kalibracija mernog sistema

Postupak kalibracije je identičan postupku koji je opisan u poglavlju 1.4. Potrebno je samo preskočiti korak izbora kanala za kalibraciju jer se radi o jednokanalnom merilu nivoa zvuka.

5.5 Podešavanje merila nivoa zvuka

Postupak podešavanja merila nivoa zvuka je identičan postupku koji je opisan u 4.5.2. Potrebno je izabrati merni template „FREQUENCY ANALYZER ADV.“ i izvršiti podešavanja na isti način kako je opisano u 4.5.2.

U grupi parametara „Frequency Settings“ izabrati podešavanja kao na slici, čime se omogućuje određivanje širokopojasnih parametara primenom A i C ponderacione frekvencijske krive u skladu sa zahtevom standarda [4].



5.6 Postupak merenja

Za merenje zvučnog pritiska pozicionirati merni mikrofonski u odgovarajuću mernu tačku. Postupak merenja, memorisanja i očitavanja mernih podataka je identičan postupku koji je opisan u 4.6.2.

5.7 Zadatak

Za radnika koji u toku nominalnog radnog dana rukuje sa tri ručna alata odrediti:

- 1) Dnevni nivo izloženosti buci za nominalni radni dan kada radnik ne koristi ličnu zaštitnu opremu za zaštitu sluha, kao i mernu nesigurnost;
- 2) Dnevni nivo izloženosti buci za nominalni radni dan kada radnik koristi ličnu zaštitnu opremu za zaštitu sluha, kao i mernu nesigurnost.

Za proračun koristiti kalkulator ISO_9612_calculations.xls.

5.8 Literatura

- [1] Pravilnik o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad pri izlaganju buci („Sl. glasnik RS“ br. 96/2011, 78/2015 i 93/2019)
- [2] M. Praščević, D. Cvetković, D. Mihajlov, Buka u životnoj sredini, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, ISBN: 978-86-6093-095-0, Niš, 2020
- [3] SRPS EN ISO 4869-2: 2019 Akustika – Ušni štitnici - Procena efektivnog A-ponderisanog nivoa zvučnog pritiska prilikom nošenja ušnih štitnika
- [4] SRPS EN ISO 9612:2016 Akustika – određivanje izloženosti buci u radnoj okolini – Inženjerska metoda
- [5] Upustvo Q.CTI.UP.11, Merenje buke u radnoj sredini, Centar za tehnička ispitivanja, Fakultet zaštite na radu u Nišu, 2012

5.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna

5.9.1 Rezultati merenja

R.br. radnog zadatka, m	Alat	R.br. uzorka	$L_{pAeq,T_{mi}}$	$\overline{L_{pAeq,T_m}}$	$L_{pCeq,T_{mi}}$	$\overline{L_{pCeq,T_m}}$
1		1				
		2				
		3				
2		1				
		2				
		3				
3		1				
		2				
		3				

5.9.2 Dnevni nivo izloženosti buci za nominalni radni dan bez primene lične zaštitne opreme za zaštitu sluha

Naziv zadatka	Zadatak 1		Zadatak 2		Zadatak 3		Zadatak 4	
							Planiranje/pauza	
Redni broj uzorka	$L_{pAeq,T_{mi}}$ [dB]	T_{mi} [h]	$L_{pAeq,T_{mi}}$ [dB]	T_{mi} [h]	$L_{pAeq,T_{mi}}$ [dB]	T_{mi} [h]	$L_{pAeq,T_{mi}}$ [dB]	T_{mi} [h]
1		1.5		2		2	60	2
2		2.5		3		1	60	2
3							60	
U_2	0.7		0.7		0.7		0.7	
Broj uzoraka	3		3		3		3	
$\overline{L_{pAeq,T_m}}$								
U_{1a}								
$\overline{T_m}$								
U_{1b}								

Budžet nesigurnosti	jednačina	Simboli, relacije	Zadatak 1	Zadatak 2	Zadatak 3	Zadatak 4
Nivo buke	(5.9)	$U_{1a,m}$				
	(5.12)	$C_{1a,m}$				
Trajanje radnog zadatka	(5.10/5.11)	$U_{1b,m}$				
	(5.13)	$C_{1b,m}$				
Doprinos nivoa buke		$C_{1a,m}U_{1a,m}$				
Doprinos trajanja zadatka		$C_{1b,m}U_{1b,m}$				
Doprinos mernih instrumenata		$C_{1a,m}U_{2,m}$				
Doprinos merne pozicije		$C_{1a,m}U_3$				

Rezultati		Simboli, relacije	Zadatak 1	Zadatak 2	Zadatak 3	Zadatak 4
Srednji nivo buke	(5.6)	$\overline{L_{pAeq,T_m}}$ [dB]				
Srednja vrednost trajanja radnog zadatka	(5.4)	$\overline{T_m}$ [s]				
Doprinos m-tog zadatka nivou $L_{EX,8h}$	(5.5)	$L_{EX,8h,m}$ [dB]				
Doprinos nesigurnosti	Nivo buke	$(C_{1a,m}U_{1a,m})^2$				
	Trajanje	$(C_{1b,m}U_{1b,m})^2$				
	Merni instrumenti	$(C_{1a,m}U_{2,m})^2$				
	Merna pozicija	$(C_{1a,m}U_3)^2$				
	Suma po zadatku m	$U^2 (L_{EX,8h})_m$				

Suma za sve zadatke	(5.8)	$U^2 (L_{EX,8h})$		dB
Kombinovana standardna nesigurnost		$U (L_{EX,8h})$		dB
Dnevni nivo izloženosti buci	(5.7)	$L_{EX,8h}$		dB
Proširena merna nesigurnost	(5.14)	$U(L_{EX,8h})$		dB

5.9.3 Dnevni nivo izloženosti buci za nominalni radni dan sa primenom lične zaštitne opreme za zaštitu sluha

Naziv zadatka	Zadatak 1		Zadatak 2		Zadatak 3		Zadatak 4	
							Planiranje/ pauza	
Redni broj uzorka	$L_{pAeq,T_{mi}}^*$ [dB]	T_{mi} [h]	$L_{pAeq,T_{mi}}^*$ [dB]	T_{mi} [h]	$L_{pAeq,T_{mi}}^*$ [dB]	T_{mi} [h]	$L_{pAeq,T_{mi}}^*$ [dB]	T_{mi} [h]
1		1.5		2		2	60	2
2		2.5		3		1	60	2
3							60	
U_2	0.7		0.7		0.7		0.7	
Broj uzoraka	3		3		3		3	
$\overline{L_{pAeq,T_m}^*}$								
U_{1a}								
$\overline{T_m}$								
U_{1b}								

$$L_{pAeq,T_{mi}}^* = L_{pCeq,T_{mi}} - \text{SNR}$$

Budžet nesigurnosti	jednačina	Simboli, relacije	Zadatak 1	Zadatak 2	Zadatak 3	Zadatak 4
Nivo buke	(5.9)	$U_{1a,m}$				
	(5.12)	$C_{1a,m}$				
Trajanje radnog zadatka	(5.10/5.11)	$U_{1b,m}$				
	(5.13)	$C_{1b,m}$				
Doprinos nivoa buke		$C_{1a,m}U_{1a,m}$				
Doprinos trajanja zadatka		$C_{1b,m}U_{1b,m}$				
Doprinos mernih instrumenata		$C_{1a,m}U_{2,m}$				
Doprinos merne pozicije		$C_{1a,m}U_3$				

Rezultati		Simboli, relacije	Zadatak 1	Zadatak 2	Zadatak 3	Zadatak 4
Srednji nivo buke	(5.6)	$\overline{L_{pAeq,T_m}^*}$ [dB]				
Srednja vrednost trajanja m-tog radnog zadatka	(5.4)	$\overline{T_m}$ [s]				
Doprinos m-tog zadatka nivou $L_{EX,8h}$	(5.5)	$L_{EX,8h,m}$ [dB]				
Doprinos nesigurnosti	Nivo buke	$(C_{1a,m}U_{1a,m})^2$				
	Trajanje	$(C_{1b,m}U_{1b,m})^2$				
	Merni instrumenti	$(C_{1a,m}U_{2,m})^2$				
	Merna pozicija	$(C_{1a,m}U_{3,m})^2$				
	Suma po zadatku m	$U^2(L_{EX,8h})_m$				
Suma za sve zadatke	(5.8)	$U^2(L_{EX,8h})$				
Kombinovana standardna nesigurnost		$U(L_{EX,8h})$				
Dnevni nivo izloženosti buci	(5.7)	$L_{EX,8h}$				
Proširena merna nesigurnost	(5.14)	$U(L_{EX,8h})$				

dB

dB

dB

dB

MERENJE I OCENA VIBRACIJA ŠAKA-RUKA

6

6.1 Teorijske osnove

6.1.1 Vrste vibracija koje se prenose na čoveka

Vibracije koje se prilikom rukovanja ručnim alatima, upravljanja transportnim sredstvima ili opsluživanja mašina prenose na radnika (eng. *Human Vibration*), rezultat su dejstva dinamičkih sila koje se javljaju u mašinama tokom njihovog rada.

Prema efektima i lokaciji dejstva na ljudski organizam, razlikuju se:

- vibracije koje se prenose na čoveka preko sistema šaka-ruka (u daljem tekstu **vibracije šaka-ruka**, eng. *Hand-Arm Vibration*) i
- vibracije koje se prenose na čoveka preko celog tela (u daljem tekstu **vibracije celog tela**, eng. *Whole-Body Vibration*).

Vibracije šaka-ruka pripadaju grupi lokalnih vibracija budući da dejstvuju na pojedine delove ljudskog tela koji su u neposrednom kontaktu sa vibrirajućim sistemom – izvorom vibracija. Javljaju se tipično pri korišćenju ručnih alata (električnih: brusilica, bušilica, rende...; pneumatskih: čekić, vibro-nabijač/ploča/žaba...; motornih testera i trimera; benzinskih kosačica), kao i pri rukovanju poljoprivrednim mašinama kao što je npr. motokultivator.

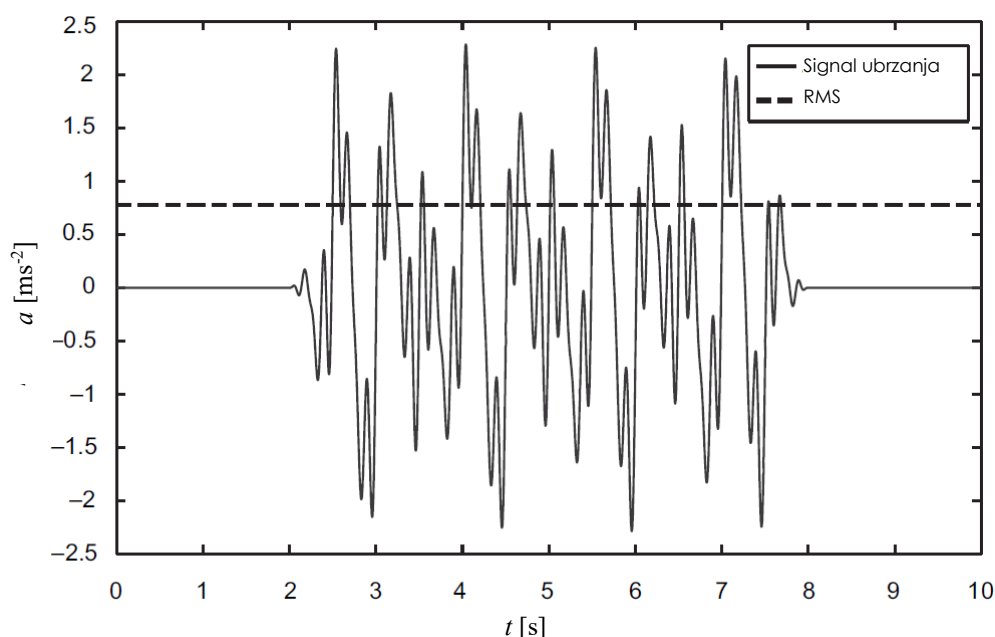
Vibracije celog tela pripadaju grupi opštih vibracija koje dejstvuju na ljudsko telo kao celinu (na celu površinu tela) kada se čovek nalazi u okruženju mašine koja vibrira, ili se prenose na celo telo kroz mesto kontakta, odnosno strukturu oslonca. Javljaju se tipično u industrijskim zgradama pri opsluživanju stacionarnih mašina (prese, generatori, pumpe, kompresori, turbine, vibraciona sita, kompaktori) i pri upravljanju transportnim sredstvima (građevinske mašine: bager, buldožer, utovarivač, skreper, grejder, valjak; mašine za dizanje i prenos tereta: auto-dizalica, viljuškar, lift, auto-pumpa za beton, toranjka dizalica, mosna dizalica; poljoprivredna mehanizacija: traktor, kombajn, sejačica, kosilica...; prevozna sredstva: autobus, tramvaj, voz, brod, avion).

6.1.2 Veličine za ocenu vibracija šaka-ruka

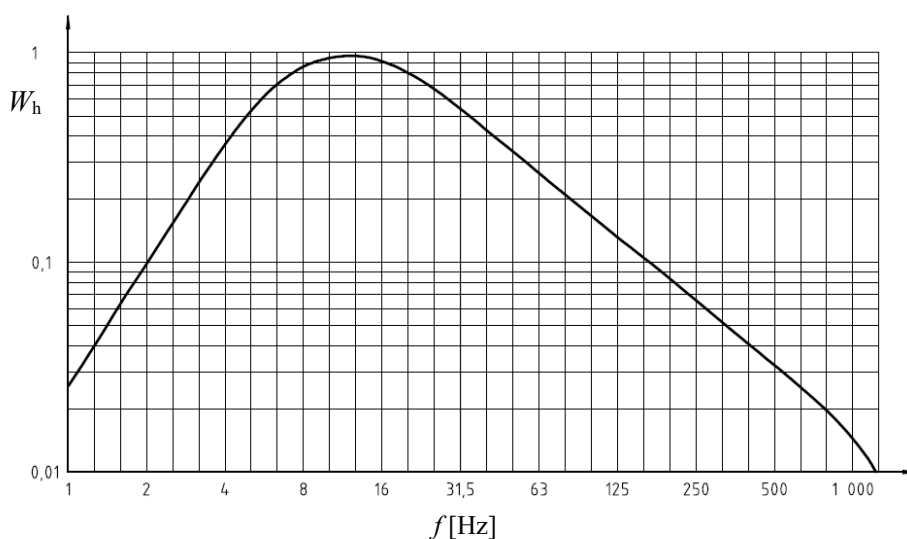
Pošto se vrednosti vibracija pri istoj frekvenciji menjaju tokom vremena, takav složeni proces je potrebno prikazati jednim pokazateljem, zbog čega se izračunava efektivna (RMS) vrednost vibracija za svaku merenu frekvenciju (sl. 6.1).

Kao osnovna veličina za ocenu vibracija koje se tokom rada prenose na telo radnika preko sistema šaka-ruka se koristi efektivna (RMS) vrednost frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija, a_{hw} . Određuje se na osnovu proizvoda vrednosti ponderacionog (težinskog) faktora za dati teretni opseg, W_{hi} (sl. 6.2) i izmerenih efektivnih vrednosti ubrzanja vibracija za pojedine teretne opsege, a_{hi} [2]:

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (W_{hi} a_{hi})^2} . \quad (6.1)$$



Sl. 6.1 Signal ubrzanja i njegova RMS vrednost [1]



Sl. 6.2 Frekvencijska ponderaciona kriva za vibracije koje se prenose preko ruke [2]

Frekvencijska ponderacija vibracija se koristi jer rizik od zdravstvenih efekata na organizam nije isti za vibracije svih frekvencija. Kao rezultat frekvencijske ponderacije se dobija ponderaciona vrednost ubrzanja vibracija koja opada sa povećanjem frekvencije i predstavlja verovatnoću negativnih efekata vibracija - oštećenja pojedinih organa i tkiva na različitim frekvencijama.

Frekvencijska ponderaciona kriva za vibracije šaka-ruka daje najveći značaj frekvencijama u opsegu od 8 Hz do 16 Hz, što znači da vibracije čije su frekvencije u navedenom opsegu predstavljaju najveći rizik po zdravlje radnika u predelu tela na koji dejstvuju (pre svega šake).

Efektivna vrednost frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija se određuje za svaku od ortogonalnih osa primenom jednačine (6.1). Na osnovu tih vrednosti se određuje ukupna efektivna vrednost frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija, a_{hv} [2], koja se obeležava i sa VTV (eng. *Vibration Total Value* - ukupna vrednost vibracija):

$$a_{hv} = VTV = \sqrt{a_{hw x}^2 + a_{hw y}^2 + a_{hw z}^2} . \quad (6.2)$$

Izloženost vibracijama šaka-ruka je određena amplitudom vibracija, iskazanom preko ukupne efektivne vrednosti frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija i trajanjem izloženosti. Veličina koja se koristi za ocenu izloženosti vibracijama šaka-ruka naziva se dnevna izloženost vibracijama, $A(8)$. Određuje se za različite slučajeve na sledeći način [2]:

- Slučaj 1 - rukovanje jednim alatom u toku radnog vremena:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \left[\text{m/s}^2 \right]; \quad (6.3)$$

- Slučaj 2 - rukovanje sa više alata u toku radnog vremena:

$$A(8) = \frac{1}{T_0} \sqrt{\sum_{i=1}^n a_{hv,i}^2 \cdot T_i} \left[\text{m/s}^2 \right]; \quad (6.4)$$

U prethodnim izrazima je: T – vreme dnevne izloženosti ukupnoj efektivnoj vrednosti frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija, a_{hv} ; T_0 – referentni vremenski interval (8h); $a_{hv,i}$ – ukupna efektivna vrednost frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija pri korišćenju i -tog alata; T_i – vreme dnevne izloženosti vibracijama za i -ti alat.

Za slučaj 2 se dnevna izloženost vibracijama može izračunati i na osnovu jednačine:

$$A(8) = \sqrt{A(8)_1^2 + A(8)_2^2 + \dots + A(8)_n^2} \left[\text{m/s}^2 \right], \quad (6.5)$$

gde je $A(8)_i$ – parcijalna dnevna izloženost vibracijama pri korišćenju i -tog alata određena primenom jednačine (6.3).

6.1.3 Granične i akcione vrednosti vibracija šaka-ruka

Pravilnikom o preventivnim metama za bezbedan i zdrav rad pri izlaganju vibracijama [3] su propisane granične i akcione vrednosti izloženosti vibracijama šaka-ruka sa kojima se upoređuju izračunate vrednosti dnevne izloženosti vibracijama šaka-ruka.

Dnevna granična vrednost izloženosti u odnosu na referentni period od osam sati iznosi 5 m/s^2 , dok dnevna akciona vrednost izloženosti u odnosu na referentni period od osam sati iznosi 2.5 m/s^2 .

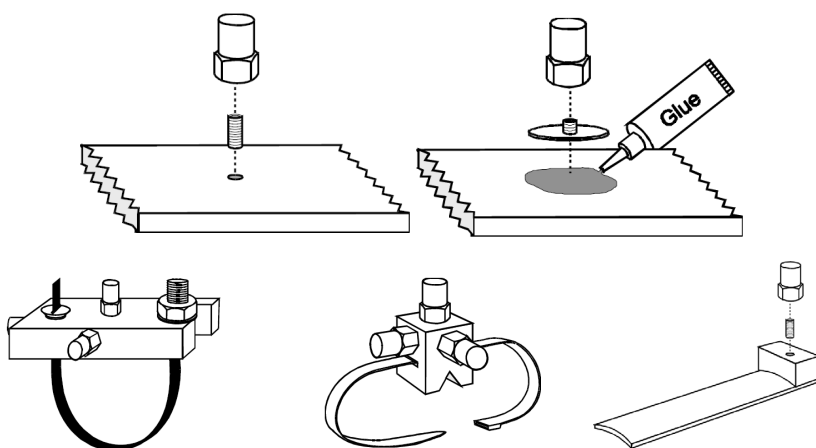
6.2 Određivanje izloženosti vibracijama šaka-ruka

Opšti zahtevi za merenje vibracija koje se prenose preko sistema šaka-ruka u tri ortogonalna pravca utvrđeni su standardom SRPS EN ISO 5349-1:2014 [2]. Standard se primenjuje za merenje periodičnih i slučajnih ili neperiodičnih vibracija u frekvencijskom opsegu od 8 Hz do 1000 Hz. Standard [2] takođe daje i smernice za ocenu vibracija šaka-ruka na osnovu frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija i vremena izloženosti. Standard SRPS EN ISO 5349-1:2014 [4] daje smernice za merenje i ocenu vibracija šaka-ruka na radnom mestu.

Postupak merenja i ocene vibracija šaka-ruka opisan je i u Q.CTI.UP.12 [5].

6.2.1 Montiranje akcelerometra

Akcelerometar mora biti montiran čvrstom vezom za mesto merenja. Smernice date u standardu [4] su grafički prikazane na sl. 6.3.



Sl. 6.3 Načini montiranja akcelerometra [4]

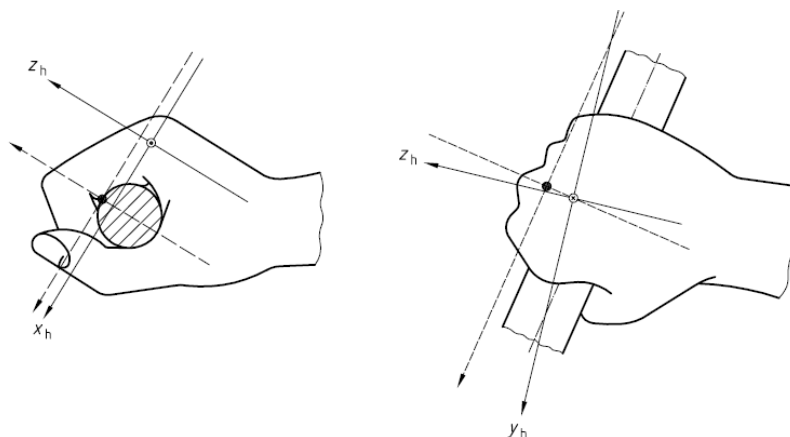
Mogu se koristiti i adapteri koje rukovalac alatom pridržava za vreme merenja (sl. 6.4).



Sl. 6.4 Adapteri za montiranje akcelerometara [1]

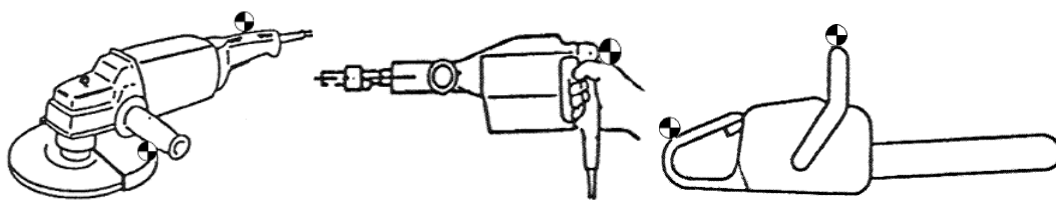
6.2.2 Lokacija i orijentacija akcelerometra

Vibracije šaka-ruka se mere simultano u tri ortogonalna pravca koordinatnog sistema koji je prikazan na sl. 6.5, u frekvencijskom opsegu od 6.3 Hz do 1250 Hz primenom tercnih opsega. Koordinatni sistem može biti definisan kao biodinamički koordinatni sistem (označen punom linijom na sl. 6.5) ili kao koordinatni sistem sa koordinatnim početkom na kontaktnoj vibracionoj površini (isprekidana linija na sl. 6.5)



Sl. 6.5 Adapteri za montiranje akcelerometara [2]

U dodatku A standarda SRPS EN ISO 5349-2 [4] date su smernice za izbor lokacija akcelrometara. Na sl. 6.6 dati su neki od primera.



Sl. 6.6 Lokacija akcelerometara [4]

6.2.3 Vremenski interval merenja

Merenjem treba da se odredi usrednjena vrednost za period koji je reprezentativan za tipično korišćenje ručnih alata. Merenje treba da startuje kada šaka radnika ima prvi kontakt sa vibracionom površinom i treba da se završi kada se kontakt prekida. Merni interval može da uključi i periode kada ne postoji izloženost vibracijama.

Minimalni ukupni vremenski interval merenja (broj uzoraka pomnožen sa vremenskim intervalom merenja po uzorku) treba da bude najmanje 1 min. Za svaku operaciju je potrebno uzeti najmanje tri uzorka [4].

Merenja veoma kratkog trajanja se ne preporučuju. Ako je to neizbežno, potrebno je uzeti više od tri uzorka tako da ukupno vreme merenja bude veće od 1 min.

6.3 Merni lanac i povezivanje

Za merenje vibracija šaka-ruka se koristi merni lanac prikazan na sl. 6.7.



Sl. 6.7 Merni lanac za merenje vibracija šaka-ruka [4]

Merni lanac obuhvata:

1. Analizator vibracija, tip Brüel&Kjær 4447 (sl. 6.8);
2. Dodatke za montažu;
3. Akcelerometar, tip Brüel&Kjær 4524-B-001 sa kablom, tip AO-0694-D-012;
4. Softver, BZ-5623;
5. USB kabl za povezivanje za računarom;
6. Punjač;
7. Jastuče, tip Brüel&Kjær 4515-B-002 sa akcelometrom, tip Brüel&Kjær 4524-B (koristi se za merenje vibracija celog tela);
8. Kalibrator, tip Brüel&Kjær 4294.

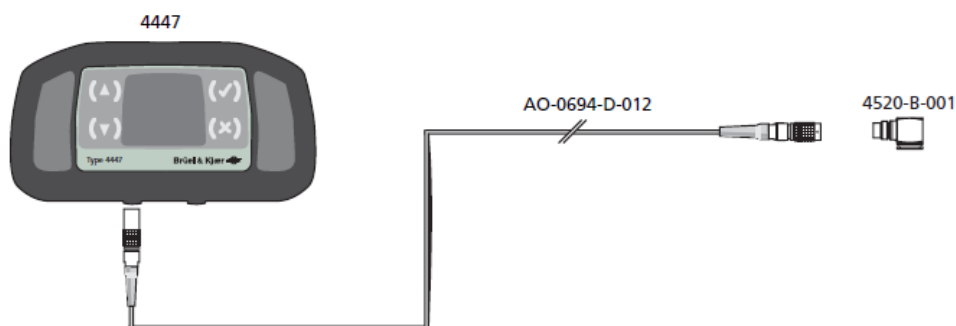


Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 6.8 Analizator vibracija tip Brüel&Kjær 4447 [1]

Analizator vibracija u centralnom delu ima displej, a sa leve i desne strane četiri tastera za upravljanje radom analizatora. Dva tastera sa leve strane su namenjena za kretanje kroz različita polja u meniju analizatora i promenu sadržaja izabranog polja. Gornji taster sa desne strane služi za uključivanje instrumenta, potvrdu izbora i završetak merenja, dok se donjim tasterom vraća na prethodni meni, pauzira merenje ili dvostrukim pritiskom završava merenje.

Za merenje vibracija šaka-ruka u tri ortogonalna pravca povezati akcelometar, tip Bruel&Kjaer 4524-B-001 sa odgovarajućom utičnicom analizatora vibracija pomoću kabla AO-0694-D-012 (sl. 6.9).



Sl. 6.9 Povezivanje analizatora vibracija sa akcelometrom [1]

U zavisnosti od alata na kome se vrši merenje vibracija šaka-ruka postaviti akcelometar na odgovarajući adapter ukoliko je potrebno njegovo korišćenje (sl. 5.10).



Sl. 6.10 Postavljanje akcelometra na adapter [1]

Na akcelometru su označeni pravci merenja (sl. 6.11.) Adapter sa akcelometrom postaviti na merno mesto u skladu sa izabranim koordinatnim sistemom i smernicama datim u 6.2.2.



Foto: Laboratorija za buku i vibracije Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Sl. 6.11 Oznaka pravaca merenja

6.4 Kalibracija mernog sistema

Neposredno pre i posle svake serije merenja, merni sistem mora da se kalibriše etaloniranim kalibratorom, tip 4297.

Pre početka kalibracije je potrebno podesiti odgovarajuće napajanje akcelometra i opciju za ulazni signal.

6.4.1 Podešavanje napajanja

1. U meniju **Main** (sl. 6.12), izabrati **Setup**, a zatim **Transd. power**.
2. Korišćenjem strelica za izbor, izabrati **CCLD ON** (za DeltaTron akcelometre).
3. Potvrditi izbor tasterom za potvrdu. Sledi povratak na meni **Setup**.



Izvor: <https://www.engineerlive.com/content/16384>

Sl. 6.12 Glavni meni **Main**

6.4.2 Podešavanje ulaznog signala

1. U meniju **Setup** izabrati **Transducer**.
2. Korišćenjem strelica za izbor, izabrati **Triaxial** (za troosne akcelometre).
3. Potvrditi izbor tasterom za potvrdu. Sledi povratak na meni **Setup**.

6.4.3 Podešavanje tipa merenja

1. U meniju **Setup** izabrati **Weighting**.
2. Korišćenjem strelica za izbor, izabrati tip ponderacije *Unweighted* (frekvencijski neponderisano merenje).
3. Potvrditi izbor tasterom za potvrdu. Sledi povratak na meni **Setup**.

6.4.3 Izbor tipa kalibracije

1. Pritisnuti taster za povratak u prethodni meni. Sledi povratak na meni **Main**.
2. U meniju **Main** izabrati **Calibration**, a zatim **Calib. Transd.** i **Calib. Mode**.
3. Korišćenjem strelica za izbor, izabrati *Calibrator* (za kalibraciju kalibratorom).

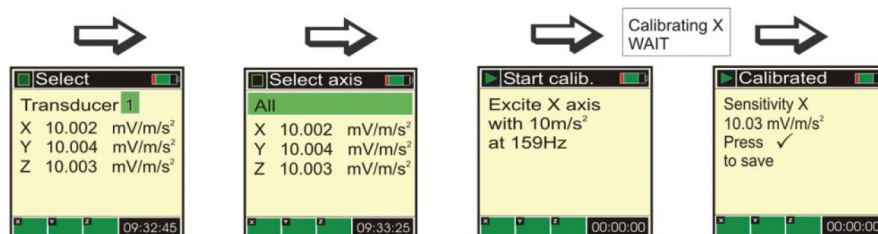
6.4.4 Kalibracija

1. Montirati akcelometar na kalibrator duž X-ose korišćenjem adaptera DV-0459 ili cementiranjem metalnog prstena DB-0756 voskom (sl. 6.13). Drugi pristup omogućava orijentaciju akcelometra u sva tri ortogonalna pravca, dok korišćenje adaptera DV-0459 omogućuje kalibraciju samo u pravcu X-ose. Koristi se za jednoosne akcelometre.



Sl. 6.13 Postavljanje akcelometra na kalibrator [1]

2. Na ekranu koji se pojavljuje (sl. 6.14) strelicama za izbor izabrati redni broj akcelometra koji se kalibriše. **Izabrati redni broj 1 za merenje vibracija šaka-ruka.** Potvrditi izbor.
3. Strelicama za izbor izabrati *All* i potvriti izbor.
4. Pobuditi X-osu sa 10 m/s^2 na 159 Hz . U tu svrhu uključiti kalibrator i pritisnuti taster za potvrdu.
5. Nakon 12 s se završava kalibracija X-ose i na ekranu se prikazuje osetljivost ose. Podaci se memorišu pritiskom na taster za potvrdu.
6. Nakon završetka kalibracije X-ose promeniti orijentaciju akcelometra na Y-osu i ponoviti 4. i 5. korak.
7. Ponoviti 6. korak za Z-osu.



Sl. 6.14 Koraci za kalibraciju [1]

6.5 Podešavanje analizatora

6.5.1 Podešavanje tipa merenja

1. U meniju **Main** izabrati **Setup**, a zatim **Weighting**.
2. Korišćenjem strelica za izbor, izabrati tip ponderacije *Hand-arm* (za merenje vibracija šaka-ruka).

Napomena: Na raspolaganju su još dve opcije:

Whole-body – merenje vibracija celog tela prema standardu SRPS EN ISO 2631-1.

Unweighted – merenje vibracija bez frekvencijske ponderacije. Koristi se za kalibraciju.

3. Potvrditi izbor tasterom za potvrdu. Sledi povratak na meni **Setup**.

6.5.2 Podešavanje jedinice za prikaz rezultata merenja

1. U meniju **Setup** izabrati **Display Units**.
2. Korišćenjem strelica za izbor, izabrati željeni tip jedinice. **Izabrati m/s^2** .
3. Potvrditi izbor tasterom za potvrdu. Sledi povratak na meni **Setup**.
4. Pritisnuti taster za povratak u prethodni meni. Sledi povratak na meni **Main**.

6.6 Merenje i očitavanje rezultata merenja

6.6.1 Postupak merenja

1. Postaviti akcelerator na adapterom na utvrđeno merno mesto u skladu sa preporukama datim u 6.2.2, a što je moguće bliže uobičajenom mestu zahvata, odnosno držanja alata prilikom rada sa njim.
2. Obezbediti akceleratori kabl od mogućih oštećenja pričvršćivanjem za ruku rukovoaca alatom.
3. Startovati rad alata.
4. U meniju **Main** izabrati **Measurement**, a zatim startovati merenje pritiskom na taster za početak merenja.
5. U toku merenja mogu da se prate rezultati merenja na ekranu analizatora, kao i status ulaznih kanala na dnu ekrana:

Ljubičasto – analizator se podešava prema zadatim parametrima;

Zeleno – status kanala je OK.

Crveno – postoji greška. Ako je prikazano slovo O znači da postoji prekoračenje, slovo B – prekid u kablju, slovo S – kratak spoj u kablju, a slova B i S – greška u akceleratoru ili kablju.

Žuto – upozorenje. Oznaka U označava da su merni rezultati ispod lineranog opsega merenja.

Hand-arm		
Total	RMS	Peak
X	1.501	23.41
Y	1.146	13.26
X	1.110	14.74
VTV	2.191	m/s^2
x	y	z
00:14:51		

Na ekranu analizatora su prikazane RMS (efektivne) i Peak (vršne) vrednosti ubrzanja vibracija za sve tri ose, kao i ukupna vrednost ubrzanja vibracija VTV (eng. *Vibration Total Value*) koja se izračunava primenom jednačine (6.2).

6. Nakon isteka 30 s zaustaviti merenje pritiskom na taster za potvrdu 3 s. Ukoliko je merenje u redu, pritisnuti taster za potvrdu za memorisanje. Ukoliko merenje treba da se poništi, pritisnuti taster za povratak na prethodni meni.
7. Ponoviti merenje za svaku lokaciju akcelometra tri puta. Zabeležiti oznake datoteka sa mernim rezultatima.
8. Za svaku lokaciju akcelometra ponoviti prethodne korake.

U toku merenja, merenje se može privremeno zaustaviti pritiskom na taster za povratak na prethodni meni. Pritiskom na isti taster se merenje može nastaviti ili prekinuti pritiskom na isti taster 3 s.

Merenje je moguće restartovati dvostrukim pritiskom tastera za povratak na prethodni meni u trajanju od 1 s.

6.6.2 Očitavanje rezultata merenja

1. U meniju **Main** izabrati **File manager**, a zatim **Recall saved**.
2. Na ekranu se prikazuje lista datoteka sa snimljenim mernim podacima. Strelicama za izbor izabrati odgovarajuću datoteku i potvrditi izbor.
3. Odgovarajući podaci se prikazuju na ekranu instrumenta, a kroz listu podataka je moguće preći strelicama za izbor. Očitati vrednosti RMS i Peak za svaki od tri ortogonalna pravca.
4. Zabeležiti rezultate merenja.
5. Ponoviti prethodne korake za sve datoteke sa rezultatima merenja.

6.7 Zadatak

Odrediti dnevni nivo izloženosti vibracijama šaka-ruka za radnika koji u toku nominalnog radnog rada rukuje sa tri ručna alata.

Za svaki od alata:

- a) Izvršiti po tri merenja trajanja 30 s na odgovarajućem broju položaja akcelometra (najviše dva položaja) i rezultate merenja memorisati;
- b) Očitati vrednosti mernih veličina RMS i Peak;
- c) Na osnovu očitanih RMS vrednosti za sva tri pravca merenja izračunati vrednost VTV primenom jednačine (6.2);
- d) Na osnovu izračunatih VTV vrednosti za tri merenja, izračunati srednju vrednost VTV kao aritmetičku sredinu;
- e) Ukoliko je merenje vršeno na dva položaja, odrediti maksimalnu VTV vrednost.
- f) Na osnovu određenih maksimalnih VTV vrednosti za sva tri alata i datih vremena izloženosti izračunati parcijalnu i ukupnu vrednost A(8) primenom jednačina (6.4) i (6.5).

6.8 Literatura

- [1] Human Vibration Analyzer Tzpe 4447, User manual BE 1772 – 14, Bruel&Kjaer, Denmark, 2009
- [2] SRPS EN ISO 5349-1:2014 Mehaničke vibracije – Merenje i vrednovanje izlaganja ljudi vibracijama koje se prenose kroz ruke – Deo 1: Opšti zahtevi
- [3] Pravilnik o preventivnim metama za bezbedan i zdrav rad pri izlaganju vibracijama („Sl. Glasnik RS“, br. 93/2011)
- [4] SRPS EN ISO 5349-2:2014 Mehaničke vibracije – Merenje i vrednovanje izlaganja ljudi vibracijama koje se prenose kroz ruke – Deo 2: Praktično uputstvo za merenje na radnom mestu
- [5] Uputstvo Q.CTI.UP.11, Merenje vibracija u radnoj sredini koje se prenose na radnika preko sistema šaka-ruka, Centar za tehnička ispitivanja, Fakultet zaštite na radu u Nišu, 2019

6.9 Izveštaj sa rezultatima merenja i proračuna

6.9.1 Rezultati merenja

Proračun ukupne efektivne vrednost frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija, a_{hv} , odnosno ukupne vrednosti vibracija, VTV							
Alat 1							
				Pozicija akcelometra			
Merenje br. 1							
Merna veličina				$RMS [m/s^2]$	$Peak [m/s^2]$	$RMS [m/s^2]$	$Peak [m/s^2]$
Oznaka datoteke		Pravac merenja	X				
			Z				
			Z				
$VTV [m/s^2]$							
Merenje br. 2							
Oznaka datoteke		Pravac merenja	X				
			Z				
			Z				
$VTV [m/s^2]$							
Merenje br. 3							
Oznaka datoteke		Pravac merenja	X				
			Z				
			Z				
$VTV [m/s^2]$							
Srednja vrednost $VTV [m/s^2]$							
Max. vrednost $VTV [m/s^2]$ na pozicijama adaptera							

Proračun ukupne efektivne vrednosti frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija, a_{hv} , odnosno ukupne vrednosti vibracija, VTV							
Alat 2							
				Pozicija akcelometra			
Merenje br. 1							
Merna veličina				$RMS [m/s^2]$	$Peak [m/s^2]$	$RMS [m/s^2]$	$Peak [m/s^2]$
Oznaka datoteke		Pravac merenja	X				
			Z				
			Z				
$VTV [m/s^2]$							
Merenje br. 2							
Oznaka datoteke		Pravac merenja	X				
			Z				
			Z				
$VTV [m/s^2]$							
Merenje br. 3							
Oznaka datoteke		Pravac merenja	X				
			Z				
			Z				
$VTV [m/s^2]$							
Srednja vrednost $VTV [m/s^2]$							
Max. vrednost $VTV [m/s^2]$ na pozicijama adaptera							

Proračun ukupne efektivne vrednost frekvencijski ponderisanog ubrzanja vibracija, a_{hv} , odnosno ukupne vrednosti vibracija, VTV

Alat 3							
				Pozicija akcelometra			
Merenje br. 1							
Merna veličina				$RMS [m/s^2]$	$Peak [m/s^2]$	$RMS [m/s^2]$	$Peak [m/s^2]$
Oznaka datoteke		Pravac merenja	X				
			Z				
			Z				
$VTV [m/s^2]$							
Merenje br. 2							
Oznaka datoteke		Pravac merenja	X				
			Z				
			Z				
$VTV [m/s^2]$							
Merenje br. 3							
Oznaka datoteke		Pravac merenja	X				
			Z				
			Z				
$VTV [m/s^2]$							
Srednja vrednost $VTV [m/s^2]$							
Max. vrednost $VTV [m/s^2]$ na pozicijama adaptera							

6.9.2 Rezultati proračuna

Proračun parcijalne i ukupne izloženosti vibracijama šaka-ruka						
	$VTV\ [m/s^2]$	$T_e\ [h]$	$VTV\ [m/s^2]$	$T_e\ [h]$	$VTV\ [m/s^2]$	$T_e\ [h]$
		2		2.5		1.5
$A(8)_i$ [m/s ²]						
$A(8)$ [m/s ²]						

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

534.83(075.8)(076)

ПРАШЧЕВИЋ, Момир, 1965-

Buka i vibracije : priručnik za laboratorijske
vežbe / Momir Praščević, Darko Mihajlov. - 1. izd. -
Niš : Univerzitet, 2022 (Niš : Atlantis). - 166 str. : ilustr.
; 24 cm

"Ova publikacija je razvijena i štampana u okviru
Erasmus+ projekta 598241-EPP-1-2018- 1-RS-
EPPKA2-CBHE-JP ..." --> nasl. str. - Tiraž 300. -
Bibliografija uz svako poglavlje.

ISBN 978-86-7181-115-6

1. Михајлов, Дарко, 1969- [аутор]
а) Бука -- Вежбе б) Вибрације -- Вежбе

COBISS.SR-ID 68370441



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union





Buka i vibracije – priručnik za laboratorijske vežbe

Momir Praščević

Darko Mihajlov

Univerzitet u Nišu, 2022.