



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

OTO 2017

26. Međunarodni znanstveno-stručni skup „Organizacija i tehnologija održavanja“

**26th International Scientific and Profesional Conference
"Organization and Maintenance Technology"**

**ZBORNIK
RADOVA**

**CONFERENCE
PROCEEDINGS**

Osijek, 26. svibnja 2017.

Osijek, 26th May 2017

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT)

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

26. Međunarodni znanstveno-stručni skup „Organizacija i tehnologija održavanja“ - OTO 2017. - Zbornik radova

26th International Scientific and Profesional Conference
"Organization and Maintenance Technology" - OTO 2017 -
Conference Proceedings

Zbornik radova sadrži radove koji su prošli dvostruku neovisnu recenziju. Organizator skupa nije ulazio u sadržaj radova i način izražavanja te oni predstavljaju odraz razmišljanja autora.

Each paper in the conference proceedings was reviewed by two independent reviewers. The content of the conference proceedings does not reflect the official opinion of the conference organizers. Responsibility for the information and views expressed in the papers lies entirely with the respective author(s).

Naziv/Title:

26. Međunarodni znanstveno-stručni skup „Organizacija i tehnologija održavanja“ - OTO 2017. - Zbornik radova

26th International Scientific and Profesional Conference "Organization and Maintenance Technology" - OTO 2017 - Conference Proceedings

Mjesto održavanja skupa/ The place of the meeting:

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT),
Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek,
Adresa/Address: Kneza Trpimira 2B, HR-31000 Osijek, Croatia
Tel.: +385 (0) 31 224-600, Fax: +385 (0) 31 224-605, E-mail: etf@etfos.hr

Datum održavanja skupa/ Date of the meeting:

26. svibnja 2017./ 26th May 2017

Organizator skupa/ Organised by:

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT)/
Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

Izdavač/Published by:

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT)/
Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

Urednici/Editors:

Doc.dr.sc. Hrvoje Glavaš	- glavni urednik/ chief editor
Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić	- izvršni urednik/ executive editor
Doc.dr.sc. Emmanuel Karlo Nyarko	- tehnički urednik/ technical editor
Doc.dr.sc. Marinko Barukčić	
Doc.dr.sc. Tomislav Keser	
Izv.prof.dr.sc. Mirko Karakašić	

Naklada/Issue: 100

Tisak/Printed by: Biroprint d.o.o - Osijek

UDK klasifikacija/ UDK classification: Ljiljana Vučković Vizentaner, prof. dipl. knjižničar

ISBN: 978-953-6032-92-1

CIP zapis dostupan je u računalnom katalogu Gradske i sveučilišne knjižnice Osijek pod brojem 140712028.

MEĐUNARODNI ZNANSTVENI ODBOR/ INTERNATIONAL SCIENTIFIC BOARD:

Popis prema abecednom redu imena/List in alphabetical order

Prof.dr.sc. Andrej Štrukelj (Slovenia)
 Akademik prof.dr.sc. Božo Udovičić (Croatia)
 Prof.dr.sc. Drago Žagar (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Dražen Slišković (Croatia)
 Izv. prof.dr.sc. Eleonora Desnica (Serbia)
 Prof.dr.sc. Goran Martinović (Croatia)
 Prof.dr.sc. György Elmer (Hungary)
 Prof.dr.sc. Isak Karabegović (BiH)
 Izv.prof.dr.sc. Kruno Miličević (Croatia)

Prof.dr.sc. Lajos Jozsa (Hungary)
 Prof.dr.sc. Mirsad Raščić (BiH)
 Prof.emer.dr.sc. Safet Brdarević (BiH)
 Izv.prof.dr.sc. Sebastijan Seme (Slovenia)
 Prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drlje (Croatia)
 Prof.dr.sc. Tihomil Rausnitz (Germany)
 Prof.dr.sc. Vlado Majstorović (BiH)
 Akademik prof.emer.dr.sc. Zijad Haznadar (Croatia)

ORGANIZACIJSKI ODBOR/ ORGANIZING BOARD:

Prof.dr.sc. Tomislav Mrčela - predsjednik/ president
 Doc. dr.sc. Hrvoje Glavaš - zamjenik predsjednika/ vice president
 Igor Sušenka, dipl.ing.el. - tajnik/ secretary
 Doc.dr.sc. Damir Blažević
 Mr.sc. Držislav Vidaković
 Prof.dr.sc. Zlatko Lacković

UREDNIŠTVO/EDITORIAL BOARD:

Doc.dr.sc. Hrvoje Glavaš - glavni urednik/ chief editor
 Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić - izvršni urednik/ executive editor
 Doc.dr.sc. Emmanuel Karlo Nyarko - tehnički urednik/ technical editor
 Doc.dr.sc. Marinko Barukčić
 Doc.dr.sc. Tomislav Keser
 Izv.prof.dr.sc. Mirko Karakašić

RECENZETSKI ODBOR/REVIEWS BOARD:

Doc.dr.sc. Goran Knežević
 Doc.dr.sc. Irena Galić
 Izv.prof.dr.sc. Marijana Hadzima-Nyarko
 Prof.dr.sc. Marinko Stojkov
 Doc.dr.sc. Zlatko Tonković

RECENZENTI/REVIEWERS:

Popis prema abecednom redu imena/List in alphabetical order

Doc.dr.sc. Aleksandar N. Ašonja (Serbia)
 Prof.dr.sc. Andrej Štrukelj (Slovenia)
 Prof.dr.sc. Brdarević Safet (BiH)
 Doc.dr.sc. Damir Blažević (Croatia)
 Prof.dr.sc. Damir Šljivac (Croatia)
 Dr.sc. Daniela Dvornik Perhavec (Slovenia)
 Doc.dr.sc. Danijel Topić (Croatia)
 Mr.sc. Držislav Vidaković (Croatia)
 Izv. prof.dr.sc. Eleonora Desnica (Serbia)
 Doc.dr.sc. Emanuel Karlo Nyarko (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Marija Šperac (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Marijana Hadzima-Nyarko (Croatia)
 Doc. dr.sc. Marinko Barukčić (Croatia)
 Prof. dr. sc. Marinko Stojkov (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Mirko Karakašić (Croatia)
 Doc.dr.sc. Nenad Cvetković (Serbia)
 Doc. dr. sc. Goran Knežević (Croatia)
 Dr.sc. Goran Rozing (Croatia)
 Doc.dr.sc. Hrvoje Krstić (Croatia)
 Doc.dr.sc. Hrvoje Glavaš (Croatia)
 Doc.dr.sc. Ivana Šandrk Nukić (Croatia)
 Doc.dr.sc. Irena Ištoka Otković (Croatia)

Dr.sc. Ivica Petrović (Croatia)
 Dr.sc. Janoš Šimon (Serbia)
 Doc.dr.sc. Krešimir Fekete (Croatia)
 Prof.dr.sc. Lidija Tadić (Croatia)
 Doc.dr.sc. Ljiljana Radovanović (Serbia)
 Izv.prof.dr.sc. Predrag Marić (Croatia)
 Prof.dr.sc. Robert Cupec (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Sebastijan Seme (Slovenia)
 Prof.dr.sc. Srete Nikolovski (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Silva Lozančić (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić (Croatia)
 Doc.dr.sc. Tomislav Keser (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Tomislav Matić (Croatia)
 Izv. prof. Uroš Klanšek (Slovenia)
 Dr.sc. Višnja Križanović Čik (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Zlata Dolaček Alduk (Croatia)
 Prof. dr.sc. Zlatko Lacković (Croatia)
 Doc. dr.sc. Zlatko Tonković (Croatia)
 Prof.dr.sc. Zlatko Čović (Serbia)
 Doc.dr.sc. Zvonimir Klaić (Croatia)
 Izv.prof.dr.sc. Željko Hederić (Croatia)
 Dr.sc. Žiga Zadnik (Slovenia)

Predgovor dekana FERIT-a



Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT) je visokoškolska institucija koja provodi znanstveno-istraživačke, razvojne i obrazovne projekte te izvodi preddiplomske, diplomske, poslijediplomske i stručne studije iz područja elektrotehnike, računarstva i informacijsko-komunikacijskih tehnologija. FERIT svojim obrazovnim sustavom sveučilišnih i stručnih studija stvara kadrove koji razvijaju i primjenjuju suvremene tehnologije na područjima elektrotehnike i računarstva i stečena znanja koriste u rješavanju inženjerskih problema te izravnom suradnjom s gospodarstvom prenose znanja o novim tehnologijama utemeljenima na novim znanstvenim spoznajama.

Sama ideja i realizacija prvih skupova OTO započela je prije više od 27 godina na tadašnjem Elektrotehničkom fakulteta u Osijeku. Od tada pa do danas svjedočimo kontinuiranom rastu Fakulteta kao i profiliranju skupa OTO koji je izrastao u regionalni interdisciplinarni znanstveno-stručni skup. Kako bi se održao kontinuitet, a nakon prestanka rada Društva održavatelja Osijek, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek preuzima organizaciju i brigu o nastavku održavanja ovoga tradicionalnog skupa. Prilog tomu je i veliki broj autora iz sustava visokog školstva, koji značajno dominiraju posljednjih godina. Djelatnici FERIT-a članovi nekadašnjeg Društva održavatelja Osijek uz pomoć kolega s drugih fakulteta Sveučilišta J.J. Strossmayera uspješno su nastavili svoj rad na organizaciji skupa OTO 2017.

FERIT već tradicionalno njeguje održavanje znanstvenih skupova, od kojih je najznačajniji „Znanost za praksu“, koji se uspješno organizira već 35 godina u suradnji s partnerima iz Njemačke, Mađarske i Vojvodine. Od prošle godine Fakultet organizira i međunarodnu znanstvenu konferenciju „Smart Systems and Technologies“, pod visokim pokroviteljstvom IEEE Regije 8 i brojnih drugih partnera i sponzora. Fakultet izdaje i znanstveni časopis IJECES - International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems, koji je nedavno uvršten i referalnu bazu znanstvenih časopisa SCOPUS, a uskoro će biti indeksiran i u drugim značajnim svjetskim bazama.

Skupovi OTO pružaju mogućnost publiciranja našim bivšim i sadašnjim studentima, praktikantima i mentorima te poslovnim subjektima svoja bogata iskustva iz područja održavanja. Kroz podršku pisanju i publiciranju znanstveno stručnih radova podižemo razinu stručnih znanja, promoviramo cjeloživotno obrazovanje i podupiremo struku. Vjerujemo kako će ovaj tradicionalni skup, pod okriljem FERIT-a, uspješno nastaviti ostvarivati zacrtanu misiju.

Prof.dr.sc. Drago Žagar

Dean of FERIT (Foreword)



Faculty of Electrical Engineering, Computing and Information Technology Osijek (FERIT) is a higher education institution that conducts scientific research, development and education projects as well as undergraduate, graduate, postgraduate and professional studies in the fields of electrical engineering, computing, information and communication technologies. FERIT, with its university education and professional studies creates professionals who develop and apply modern technologies in the fields of electrical engineering and computing. These professionals use their acquired knowledge to solve engineering problems and, by directly cooperating with industry, transfer scientific knowledge of new technologies.

The very idea and realization of the initial OTO conferences started more than 27 years ago at the then Faculty of Electrical Engineering in Osijek. From then on, we have witnessed the continuous growth of the Faculty as well as the profile change of the OTO conference which has grown into a regional interdisciplinary scientific and professional conference. After the Society of Maintenance Engineers Osijek ceased to exist, the Faculty of Electrical Engineering, Computing and Information Technology Osijek has taken over the organization of this traditional conference. This is evident in the increasing number of authors from higher education institutions in recent years. FERIT employees who were members of the former Society of Maintenance Engineers Osijek, and with the help of colleagues from other faculties of J.J. Strossmayer University, have successfully continued organizing the OTO 2017 conference.

FERIT has traditionally nurtured the organization of scientific conferences, most notably „Science in Practice“, which has been successfully organized for 35 years in cooperation with partners from Germany, Hungary and Vojvodina. Since last year, the Faculty has started organizing the international scientific conference "Smart Systems and Technologies", under the patronage of IEEE Region 8 and numerous other partners and sponsors. The Faculty also publishes a scientific journal IJECES - International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems, which has been recently incorporated into the SCOPUS reference database of scientific journals and will soon be indexed in other relevant world databases.

The OTO conference provides the opportunity for our past and present students, mentors, professionals as well as businesses to publish papers detailing their rich experience in the field of maintenance. By supporting the writing and publishing of scientific and professional papers, we increase the level of professional knowledge, promote lifelong learning and support professionals. We believe that this traditional conference, under the auspices of FERIT, will continue to carry out the planned mission successfully.

Prof.dr.sc. Drago Žagar

Predgovor predsjednika Organizacijskog odbora



Organizacija i tehnologije održavanja 2017, sukladno zaključcima sjednice Skupštine Društva održavatelja Osijek održane dana 26. studenog 2016. godine u prostorijama Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, odvija se 2017. godine pod okriljem Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek.

Od prvog skupa "Organizacija održavanja u novim uvjetima" održanog 20. travnja 1990. na Elektrotehničkom fakultetu Osijek održano je još 27 skupova u jedanaest različitih gradova Slavonije i Baranje. Kontinuirani rad odraz je potrebe za dijalogom i razmjenom iskustava na području održavanja kojim se promiče razvoj tehnike i znanosti.

Dosadašnja iskustva kroz 469 prezentiranih i publiciranih radova ukazuju na pad zastupljenosti radova autora strojarske struke, najviše radova autora elektrotehničke, a zatim građevinske, ekonomske, poljoprivredne i prehrambeno tehnološke struke. Udio autora koji su zaposleni na tehničkim fakultetima Sveučilišta J.J. Strossmayera značajno dominira u ukupnom broju radova. Potreba visokoobrazovanog kadra koji danas bavi održavanjem za cjeloživotnim obrazovanjem nameće potrebu daljnjeg razvoja skupova OTO prema znanstvenoj izvrsnosti.

Prof.dr.sc. Tomislav Mrčela

Informacije o skupu

Znanstveno stručni skupovi OTO predstavljaju priliku za neposrednu razmjenu iskustava stručnjaka iz svih područja održavanja s ciljem istraživanja i analize primjene novih metoda i postupaka. Skup nastoji podići razinu znanja o održavanju uzimajući u obzir kontinuirani napredak tehnike i tehnologije u svim sferama gospodarstva, infrastrukture i javnih službi.

Od prvog kolokvija 20.04.1990. na Elektrotehničkom fakultetu Osijek održano je do sada na području Slavonije i Baranje 27 znanstveno-stručnih skupova u cilju promicanja znanstvenih metoda i struke. Protekle skupove organiziralo je Društvo održavatelja Osijek (utemeljeno 1983.) u suradnji s Elektrotehničkim fakultetom Osijek, Građevinskim fakultetom Osijek, Poljoprivrednim fakultetom u Osijeku, te Veleučilištem u Požegi, uključujući pri tome proizvođače industrijske opreme i reprodukcijanskog materijala. Komunikacija između znanstvenika i održavatelja podiže razinu stručnosti te uvodi primjenu novih metoda i postupaka održavanja u svakodnevnu praksu.

Dvadeset šesti međunarodni znanstveno stručni skup Organizacija i Tehnologija Održavanja kolokvijalno OTO 2017 održati će se 26. svibnja 2017. u organizaciji Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Službeni jezici Skupa su hrvatski i engleski.

Odabrani radovi prezentirani na OTO 2017 će biti pozvani za objavu u proširenom obliku na engleskom jeziku u časopisima International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems (www.etfos.unios.hr/ijeces/) i Journal of Energy (<http://journalofenergy.com/>)

President of the Organizing Committee (Foreword)



Organization and Maintenance Technology 2017, in accordance with the conclusions of the session of the assembly of the Society of Maintenance Engineers Osijek, held on 26th November, 2016 on the premises of the Faculty of Electrical Engineering, Computing and Information Technology Osijek, will be held in 2017 under the auspices of the Faculty of Electrical Engineering, Computing and Information Technology Osijek.

Since the first conference "Maintenance Organization under New Conditions" held on 20th April, 1990 at the Faculty of Electrical Engineering Osijek, 27 other conferences have been held in eleven different cities of Slavonia and Baranja. Continuous work is reflected by the need for dialogue and exchange of experiences in the field of maintenance which promotes the development of technology and science.

By analyzing all the 469 presentations and publications until now, a decrease in the number of publications by mechanical engineers is noticed, while most of the authors are from the field of electrical engineering, followed by civil engineering, economics, agriculture and food technology. Of the total number of papers, a significant number is dominated by authors who are employed at the technical faculties of the University J.J. Strossmayer. The need for lifelong learning by highly educated professionals currently engaged in maintenance imposes the need for OTO conferences to be further organized in accordance with scientific excellence.

Prof.dr.sc. Tomislav Mrčela

Information about the conference

The scientific and professional conference, OTO, represents an opportunity for direct exchange of experience by experts from all areas of maintenance with the aim of exploring and analyzing the implementation of new methods and procedures. The conference seeks to raise the level of maintenance knowledge, taking into account the continuous advancement of engineering and technology in all spheres of the economy, infrastructure and public services.

Since the first conference held on 20th April, 1990 at the Faculty of Electrical Engineering Osijek, a total of 27 scientific and professional conferences have since been held in Slavonia and Baranja in order to promote scientific methods and profession. Former meetings were organized by the Society of Maintenance Engineers Osijek (founded in 1983) in cooperation with the Faculty of Electrical Engineering Osijek, the Faculty of Civil Engineering Osijek, the Faculty of Agriculture in Osijek and the Polytechnic of Požega, including manufacturers of industrial equipment and reproduction materials. Communication between scientists and maintenance experts raises the level of expertise and introduces new methods and maintenance procedures into everyday practice.

The twenty-sixth international scientific and professional conference on Organization and Maintenance Technology, OTO 2017, to be held on May 26th, 2017, is organized by the Faculty of Electrical Engineering, Computing and Information Technology Osijek. The official languages of the conference are Croatian and English. Selected papers presented at OTO 2017 will be invited for publication in English in the International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems (www.etfos.unios.hr/ijeces/) and the Journal of Energy (<http://journalofenergy.com/>)

Sadržaj

1. Domagoj Bilandžija, Marinko Barukčić, Dalibor Buljić, Željko Hederić Primjeri numeričkih simulacija elektromagnetskog polja kod kvarova električnih uređaja	1
2. Ivan Petrović, Marinko Stojkov, Ivan Samardžić, Ante Čikić: Umjeravanje opreme za elektrolučno zavarivanje	7
3. Eleonora Desnica, Danilo Mikić, Ivan Palinkaš Dijagnostika stanja kotrljajnih ležajeva na mašinsko-tehničkim sistemima	13
4. Ivan Korov, Goran Knežević, Vladimir Caha Održavanje niskonaponske distribucijske mreže u tehnologiji rada pod naponom	21
5. Ivan Mijić, Goran Knežević, Vladimir Caha Čišćenje srednjenaponskih postrojenja u tehnologiji rada pod naponom	27
6. Branimir Perković, Tomislav Barić, Nenad Janković, Dalibor Kos, Hrvoje Glavaš Održavanje plinskih i uljnih uređaja	33
7. Adam Martinek, Ivan Ostheimer, Luka Patrun Primjena računalnog programa Thorium A+ za određivanje optimalnih mjera energetske učinkovitosti pri održavanju stambenog objekta	43
8. Dino Obradović, Marija Šperac, Livio Međurečan, Marina Pavošević Postupak i svrha izdavanja Uporabne dozvole za određene građevine u sustavu eDozvola	53
9. Dino Obradović, Saša Marenjak Uloga održavanja u životnom ciklusu građevine	61
10. Marko Dugandžić Održavanje trafostanice prema stanju primjenom internet tehnologija	69
11. Držislav Vidaković, Krešimir Pavelić Primjena IT kod održavanja građevina – analiza na primjeru nove zgrade Građevinskog fakulteta u Osijeku	77
12. Tatjana Mijušković-Svetinović, Božica Cvijančević Održavanje plovnih putova	85
13. Siniša Maričić, Mario Žeruk Razvoj hidrotehničkog sustava Bačica	95
14. Tomislav Kordić, Hrvoje Marinac, Hrvoje Glavaš Terensko mjerenje zvučne izolacije građevina	103

15. Dalibor Buljić, Marinko Barukčić, Željko Špoljarić, Krešimir Miklošević Pregled tehnologija baterijskih skladišta energije u električnim mrežama	113
16. Matej Žnidarec Upravljanje održavanjem elektrane na biomasu	119
17. Marija Šperac, Ivan Hrskanović, Željko Šreng Održavanje gravitacijskih kanalizacijskih sustava	125
18. Hrvoje Stojčić, Mirko Karakašić, Hrvoje Glavaš Izrada parametarskog modela ručne dizalice pomoću CAD sustava za parametarsko modeliranje temeljeno na značajkama	133
19. Milan Ivanović, Dalibor Mesarić, Franjo Ambroš Osnivanje službi za upravljanje lokalnim optičkim mrežama i njihovo održavanje na području regije Slavonije i Baranje	141
20. Dinka Šafar Đerki, Krešimir Lacković Upravljanje održavanjem sustava pomoću suvremenog informacijskog sustava održavanja	151
21. Lacković Krešimir, Dinka Šafar Đerki Informatičko-komunikacijski proces upravljanja troškovima u složenom proizvodnom tehničkom sustavu	157
22. Matej Petko, Tomislav Barić Održavanje dizala na području Osječko-baranjske županije	163
23. Hrvoje Dragovan, Želimir Kučibradić, Damir Nožica Ocjena stanja kolnika i prijedloga strategije održavanja državnih cesta primjenom neuralnih mreža	169
24. Borivoj Novaković, Ljiljana Radovanović, Jasmina Pekez, Mila Kavalić Primena preventivnog održavanja na kočionim sistemima putničkih vozila	177
25. Igor Lukić, Mirko Karakašić, Milan Kljajin Projektiranje i funkcionalna razrada idejnog rješenja koncepcijske varijante metalne konstrukcije nadstrešnice	183
26. Davor Beck, Damir Blažević, Hrvoje Dragovan Projektiranje dnevne rasvjete tunela - analiza zahtjeva, izrada modela i izračun	193
27. Rebeka Raff Kogeneracijska jedinica na bioplin za proizvodnju električne i toplinske energije	199
28. Josip Grgić, Saša Stokuća, Damir Blažević Primjena CAD/CAM alata u projektiranju cestovne rasvjete	207

Contents

1. Domagoj Bilandžija, Marinko Barukčić, Dalibor Buljić, Željko Hederić THE EXAMPLES OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD NUMERICAL CALCULATION IN CASE OF THE FAULTS IN ELECTRICAL DEVICES	1
2. Ivan Petrović, Marinko Stojkov, Ivan Samardžić, Ante Čikić: VALIDATION OF ARC WELDING EQUIPMENT	7
3. Eleonora Desnica, Danilo Mikić, Ivan Palinkaš DIAGNOSTICS OF ROLLING BEARINGS IN THE MECHANICAL AND TECHNICAL SYSTEMS	13
4. Ivan Korov, Goran Knežević, Vladimir Caha MAINTENANCE OF A LOW VOLTAGE DISTRIBUTION SYSTEM IN THE TEHNOLOGY OF LIVE-LINE WORKING	21
5. Ivan Mijić, Goran Knežević, Vladimir Caha POWER SYSTEM EQUIPMENT CLEANING IN THE TECHNOLOGY OF LIVE-LINE WORKIN	27
6. Branimir Perković, Tomislav Barić, Nenad Janković, Dalibor Kos, Hrvoje Glavaš MAINTENANCE OF GAS AND OIL DEVICES	33
7. Adam Martinek, Ivan Ostheimer, Luka Patrun APPLICATION OF COMPUTER PROGRAM THORIUM A+ FOR ASSESSMENT OF OPTIMAL ENERGY EFFICENCY MEASURES	43
8. Dino Obradović, Marija Šperac, Livio Međurečan, Marina Pavošević THE PROCEDURE AND THE PURPOSE OF ISSUING A CERTIFICATE OF OCCUPANCY FOR SPECIFIC STRUCTURES IN THE EDOZVOLA SYSTEM	53
9. Dino Obradović, Saša Marenjak THE ROLE OF MAINTENANCE IN THE LIFE CYCLE OF A BUILDING	61
10. Marko Dugandžić CONDITION BASED MAINTENANCE OF SUBSTATION WITH USE OF INTERNET TECHNOLOGY	69
11. Držislav Vidaković, Krešimir Pavelić APPLICATION OF IT IN BUILDING MAINTENANCE – ANALYSIS ON EXAMPLE OF THE NEW BUILDING OF THE CIVIL ENGINEERING FACULTY IN OSIJEK	77
12. Tatjana Mijušković-Svetinović, Božica Cvijančević INLAND FAIRWAY MAINTENANCE	85
13. Siniša Maričić, Mario Žeruk DEVELOPMENT OF BAČICA HYDROTECHNICAL SYSTEM	95
14. Tomislav Kordić, Hrvoje Marinac, Hrvoje Glavaš FIELD MEASUREMENT OF BUILDING SOUND INSULATION	103

15. Dalibor Buljić, Marinko Barukčić, Željko Špoljarić, Krešimir Miklošević OVERVIEW OF BATTERY STORAGE TECHNOLOGIES IN POWER GRIDS	113
16. Matej Žnidarec MAINTENANCE MANAGEMENT OF A BIOMASS POWER PLANT	119
17. Marija Šperac, Ivan Hrskanović, Željko Šreng MAINTENANCE OF GRAVITY SEWERAGE SYSTEMS	125
18. Hrvoje Stojčić, Mirko Karakašić, Hrvoje Glavaš CREATING A PARAMETRIC MODEL OF HAND CRANE WITH CAD SYSTEM FOR PARAMETRIC MODELING BASED ON FEATURES	133
19. Milan Ivanović, Dalibor Mesarić, Franjo Ambroš ESTABLISHMENT OF OFFICIALS FOR THE MANAGEMENT OF LOCAL BROADBAND AND THEIR MAINTENANCE IN THE REGION OF SLAVONIA AND BARANJA	141
20. Dinka Šafar Đerki, Krešimir Lacković MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM USING MODERN INFORMATION SYSTEM MAINTENANCE	151
21. Lacković Krešimir, Dinka Šafar Đerki INFORMATION AND COMMUNICATION PROCESS OF COST MANAGEMENT IN A COMPLEX PRODUCTION TECHNICAL SYSTEM	157
22. Matej Petko, Tomislav Barić MAINTENANCE OF ELEVATORS IN OSIJEK-BARANJA COUNTY	163
23. Hrvoje Dragovan, Želimir Kučibradić, Damir Nožica EVALUATION OF PAVEMENT CONDITIONS AND PROPOSALS FOR THE STRATEGY OF MAINTAINING STATE ROADS USING NEURAL NETWORKS	169
24. Borivoj Novaković, Ljiljana Radovanović, Jasmina Pekez, Mila Kavalić APPLICATION OF PREVENTIVE MAINTENANCE ON PASSENGER VEHICLES BRAKING SYSTEMS	177
25. Igor Lukić, Mirko Karakašić, Milan Kljajin DESIGNING AND FUNCTIONAL ELABORATION OF CONCEPTUAL SOLUTION OF CONCEPTUAL VARIANT OF THE METAL CONSTRUCTION EAVE	183
26. Davor Beck, Damir Blažević, Hrvoje Dragovan DESIGNING DAYTIME LIGHTING FOR TUNNELS, REQUEST ANALYSIS, MODELING AND CALCULATION	193
27. Rebeka Raff BIOGAS COGENERATION UNIT FOR ELECTRICAL AND THERMAL ENERGY PRODUCTION	199
28. Josip Grgić, Saša Stokuća, Damir Blažević CAD/CAM TOOLS FOR ROAD LIGHTING DESIGN	207

Terensko mjerenje zvučne izolacije građevina

Professional paper

Tomislav Kordić

Alfa Atest d. o. o.
Sljemenska 58, 31000 Osijek, Hrvatska
osijek@alfa-atest.hr

Hrvoje Marinac

Alfa Atest d. o. o.
Sljemenska 58, 31000 Osijek, Hrvatska
osijek@alfa-atest.hr

Hrvoje Glavaš

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku,
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
Kneza Trpimira 2B, 31000 Osijek, Hrvatska
hrvoje.glavas@ferit.hr

Sažetak – Održavanje razine zvuka u propisanim granicama značajno doprinosi kvaliteti svakodnevnog obitavanja u građevinama. Naglasak na zvučnu izolaciju je još veći ako se radi o stambenom prostoru. Cilj ovog rada je opisati praktičnu provedbu terenskog mjerenja zračne i udarne zvučne izolacije na novoj građevini. Pravna osoba koja provodi mjerenje treba biti akreditirana (HRN EN ISO/IEC 17025:2007). Ispitani zidovi i međukatne konstrukcije trebaju zadovoljavati zahtjeve navedene tehničkim propisom HRN U.J6.201:1989 i projektnom dokumentacijom. Mjerenje je provedeno na međukatnoj konstrukciji između dva stana, a rezultati mjerenja ukazuju da navedeni prostor zadovoljava zahtjeve propisane normama. Vrijednost normalizirane razine udarnog zvuka izmjerena u prijemnoj prostoriji za 11 decibela je manja od maksimalne vrijednosti razine udarnog zvuka navedene u propisu, te je pregrada ocjenjena klasom poboljšane zvučne zaštite. Potrebna oprema kao i normativne vrijednosti prikazani su u radu kako bi čitatelj dobio osjećaj za detalje provedbe ispitivanja.

Ključne riječi - zračna zvučna izolacija, udarna zvučna izolacija, norme, međukatna konstrukcija

FIELD MEASUREMENT OF BUILDING SOUND INSULATION

Abstract – Maintaining a sound level in requested limits greatly contributes to quality of everyday living in buildings. The emphasis is on sound insulation even greater if we consider residential building. This work is based on detailed description of field measurement of airborne and impact sound insulation implementation on new building. Person that performs measurements is obligated to be accredited (HRN EN ISO/IEC 17025:2007). Tested walls and floors also need to meet requests specified in technical regulation HRN U.J6.201:1989 and in project documentation. Measurement is performed on surface between two flats on different floor, and results of measurement shows that tested area meets requests that are specified in technical regulations. Value of normalized level of airborne sound measured in reception room is for 11 decibels lower than maximum value of airborne sound level listed in regulation, barrier is evaluated by the class of improved sound protection. In this work are also mentioned technical regulations and needed equipment for better understanding of measurement implementation.

Keywords – airborne sound insulation, impact sound insulation, standards, intermediate structure

1. UVOD

Buka je svaki neugodni i štetni zvuk koji ometa čovjekov rad i odmor, ugrožava sigurnost i oštećuje čovjekovo zdravlje. Buka kao fizikalna pojava najčešće je nepravilan ili statistički slučajni zvuk [1]. Zvučna izolacija značajno utječe na kvalitetu boravka u prostoru. Izolacija zvuka između dvije prostorije izazvana je djelomičnom refleksijom od čvrstih prepreka, koje unutaraju energiju

zvuka vraćaju u predajnu prostoriju, dok drugi dio energije prepreku stavlja u stanje osciliranja, tj. nastaje strukturni zvuk koji se u pobuđenom građevinskom elementu širi na sve strane. Najveći dio zvuka prenesi se u obliku zračnog zvuka. Razlika razina između predajne i prijemne prostorije opada s porastom površine pregradnog zida, a raste s porastom ekvivalentne površine apsorpcije zvuka.

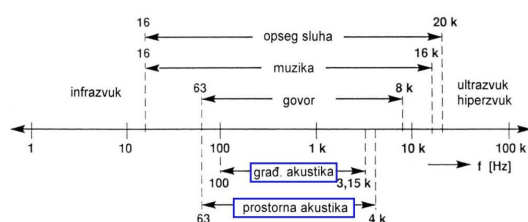
Radom se nastoji prikazati kompleksnost mjerenja zvučne izolacije. Obrađene su osnovne definicije i pojmovi vezani uz teoriju zvuka. Definirane osnovne veličine mjerenja zvučne izolacije i prema normama HRN EN ISO 140-4:1999 i HRN EN ISO 140-7:1999, opisani teorijski zahtjevi, odnosno način i postupak mjerenja zvučne izolacije kojega se pri obavljanju mjerenja stručne osobe pridržavaju.

S ciljem upoznavanja sa zakonskim propisima vezanim uz ovo područje navedeni su zakoni, norme i pravilnici, te su izdvojeni bitni zahtjevi iz zakonske regulative koji se odnose na mjerenje zvučne izolacije.

Na novoizgrađenoj zgradi proveden je postupak mjerenja na međukatnoj konstrukciji. Odabrana su dva stana istih dimenzija jedan ispod drugoga, kako bi izmjerili udarnu i zračnu zvučnu izolaciju, koje se provodi samo na horizontalnim pregradama, tj. međukatnim konstrukcijama.

2. FIZIKALNA SVOJSTVA ZVUKA

Zvuk je prema fizikalnoj definiciji titranje čestica u elastičnom mediju, koje se kao zvučni val širi brzinom karakterističnom za taj medij. To je fiziološka pojava koja se utvrđuje organom sluha. Riječ zvuk ima dva značenja: subjektivno ili psihološko, te objektivno ili fizikalno. U prvom slučaju zvuk vežemo za slušni osjet, dok fizikalno zvuk promatramo kao energiju. U arhitektonskoj akustici se razmatraju samo zvučne pojave koje čuje normalno uho, te se i konačan sud o akustičnoj kvaliteti nekog prostora donosi na temelju slušanja.



Sl. 1. Frekvencijski raspon zvuka, [1].

Nastanak zvuka je povećanje ukupnog zvuka u danoj situaciji koje potječe od nekog specifičnog izvora zvuka pa bi se po tome moglo reći da mu znamo izvor. Impulsni zvuk je zvuk za kojega su svojstveni kratki impulsi zvučnog tlaka (trajanje takve pojave obično traje manje od jedne sekunde). Tonalni zvuk je zvuk karakteriziran pojedinačnom frekvencijskom komponentom ili

uskopojasnom komponentom koja se čujno ističe u ukupnom zvuku.

Vrste zvukova:

- Ukupni zvuk
- Specifični zvuk
- Rezidualni zvuk

Posljedica naizmjeničnih promjena koji se javljaju kod zvuka kao titranje čestica u obliku zvučnih valova je zvučni tlak koji je ujedno i osnovna fizikalna veličina kojom je zvuk definiran. On predstavlja izmjenični tlak u nekoj točki medija, koji se pri širenju zvučnih valova superponira postojećem statičkom tlaku, tj. atmosferskom tlaku zraka. Razlika između tlaka u određenoj točki medija u određenom trenutku i statičkoga tlaka naziva se trenutni zvučni tlak [1].

Efektivna vrijednost trenutnoga zvučnog tlaka (Root Mean Square – RMS) kao kvadratna (energijska) srednja vrijednost zvučnog tlaka u određenom vremenskom intervalu može se ikazati kao, [1]:

$$p_{eff} = p = \sqrt{\frac{1}{n} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt}$$

gdje su:

- n - broj uzoraka,
- $t_2 - t_1$ - vrijeme usrednjavanja,
- $P(t)$ - trenutna vrijednost zv. tlaka

U akustici pokazalo se praktičnije izražavati zvučni tlak, intenzitet zvuka i zvučnu snagu, ne u apsolutnim, već u relativnim, logaritamskim vrijednostima. Iz tog razloga uvedeni su pojmovi razina i to: Razina zvučnog tlaka, Razina intenziteta i Razina zvučne snage.

3. ZVUČNA IZOLACIJA

Zvučna izolacija je sposobnost neke pregrade ili druge konstrukcije da u određenoj mjeri spriječi širenje zvuka kroz istu. Sve veličine za izražavanje zvučne izolacije normalizirane su u odnosu na apsorpcijska svojstva prijemne prostorije. Zvučna se apsorpcija prostorije iskazuje tzv. ekvivalentnom apsorpcijskom ploštinom odnosno ploštinom zamišljene plohe koja je ekvivalent apsorpcije stvarne prostorije A (m^2). Razlikuju se dvije vrste zvučne izolacije:

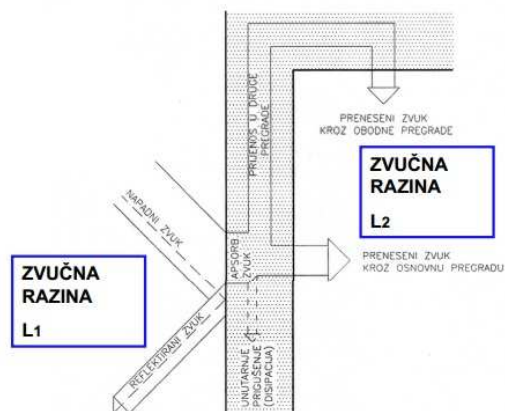
- Zračna zvučna izolacija
- Udarna zvučna izolacije

Prema normama građevinske akustike zvučna se izolacija prikazuje u tercama i to u frekvencijskom području od 100 Hz do 3150 Hz. U posebnim slučajevima to se područje

može proširiti na više frekvencije do 5000 Hz i na niže do 50 Hz.

U slučaju dviju susjednih prostorija razlikuju se dva puta prenošenja zvuka iz predajne u prijemnu prostoriju: direktni put (preko zajedničkog dijela pregrade) i bočni put (uzduž bočnih zidova, međukatnih konstrukcija, instalacijskih kanala...).

Energija zvučnog vala koji udari u pregradu između predajne i prijemne prostorije se: djelomično reflektira i vraća natrag u predajnu prostoriju, dijelom se predaje pregradi koja zbog toga počne vibrirati, dio energije vibriranja se vraća natrag u predajnu prostoriju, manji dio vibriranja širi se uzduž pregrade na susjedne pregrade, a preostali dio energije zrači pregradna stijena u prijemnu prostoriju, slika 2.



SI. 2. Prikaz energije zvučnog vala koji udari u pregradu između predajne i prijemne prostorije,[2].

4. MJERENJE ZVUČNE IZOLACIJE PREMA NORMNOM NIZU HRN EN ISO 140:1999

Prema HRN EN ISO 140:1999 zvučna izolacija se mjeri u tercnim pojasima od 100 Hz do 3 150 Hz. Razina zvuka na prijemnoj strani mora biti za najmanje deset decibela viša od osnovne razine buke, no ukoliko to nije moguće osigurati, moraju se unijeti korekcije za osnovnu buku. Kod mjerenja zračnog zvuka mora se odrediti prostorna i vremenska srednja vrijednost razine zvuka.

Prostorna srednja vrijednost razine zvuka može se dobiti mjerenjem na više fiksnih položaja mikrofona uz uvažavanje sljedećih zahtjeva minimalnih razmaka:

- 0,7 m između mjesta mikrofona,
- 0,5 m između bilo kojih mjesta mikrofona i graničnih ploha prostorije ili difuzora,

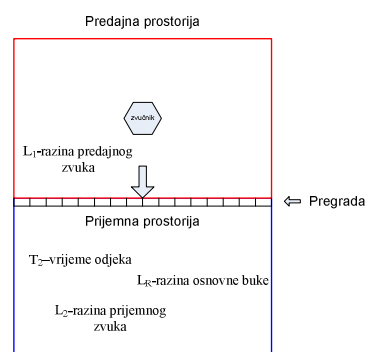
- 1 m između bilo kojeg mjesta mikrofona i izvora zvuka. Kod mjerenja zračne zvučne izolacije poželjno je koristiti veće razmake kad god je moguće.

Mjerna mjesta unutar dopuštenog prostora u prostoriji moraju biti jednoliko raspoređena, te vrijeme usrednjavanja na svakom pojedinom mjestu mora biti najmanje šest sekundi. Mjerenje je moguće obavljati i kretanjem mikrofona duž kružnice polumjera najmanje 0.7 metara [3].

4.1 Zračna zvučna izolacija

Zračna zvučna izolacija predstavlja svojstvo svih pregradnih konstrukcija zgrade, koje mogu biti vertikalne i horizontale, te konstrukcije koje uključuju fasade i fasadne elemente.

Kod mjerenja razdjelnih zidova, kao izvor zvuka se koristi dodekaedarski zvučnik koji se napaja signalom generiranim zvukomjerom i pojačanim pojačalom snage. Mjera razine osnovne buke određuje se radi osiguranja da na mjerenja u prijemnoj prostoriji ne djeluje strani zvuk ili električni šumovi. Osnovna razina buke treba biti najmanje šest decibela, no poželjno je više od deset decibela, ispod kombinacije razine signala i osnovne buke.



SI. 3. Mjerenja zračne zvučne izolacije

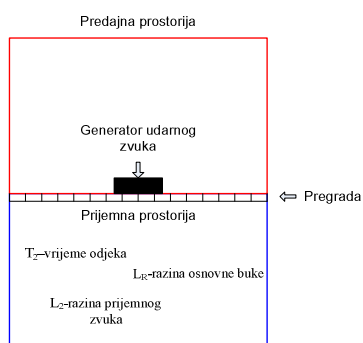
Mjerenja u zgradama potrebno je obavljati uz rad izvora na dva mjesta, kod uporabe jednog izvora zvuka. Zvučnu kutiju je potrebno smjestiti tako da daje što difuznije zvučno polje i da pri toj udaljenosti od razdjelnog elementa i bočnih elemenata koji utječu na prijenos zvuka, daje što manje dominantno zračenje. Ukoliko su prostorije različitog obujma, veću treba odabrati kao predajnu, što je obvezno kada se određuje standardna razlika razina. Pobudni signal može biti bijeli ili ružičasti šum, s tim da prednost treba dati bijelom šumu.

Pri određivanju zvučne izolacije vrata potrebno je dokazati da je prijenos zvuka kroz ostatak okolnog zida zanemariv. U slučaju međusobno vodoravno ili okomito posmaknutih

prostorija, ploština je dio pregrada zajedničkih za obje prostorije. No, ako je zajednička ploština manja od 10 m^2 , to treba naznačiti u izvještaju o ispitivanju. U slučaju kada nema zajedničke pregrade ili je pregrada između smaknutih prostorija, određuje se normalizirana razlika razina D_n .

4.2 Udarne zvučne izolacije

Udarne zvučne izolacije odnosi se samo na horizontalne pregrade tj. na međukatne konstrukcije. Udarne zvučne izolacije se mjeri mehaničkim uređajem koji metalnim batićima mase po pola kilograma i slobodnim padom s visine 40 milimetara proizvodi deset udara u sekundi. Kod udarne zvučne izolacije mjeri se apsolutna razina, odnosno niža razina znači bolja izolacija.



Sl. 4. Mjerenja udarne zvučne izolacije

Kao izvor udarnog zvuka rabi se normirani izvor koji se postavlja na četiri različita mjesta na međukatnoj konstrukciji i to ne niže od 0,5 m od rubova. Simetrala padajućih čekića treba biti približno pod kutom 45° u odnosu na rubove konstrukcije, a u slučaju anizotropne međukatne konstrukcije (s rebrima, gredama i sl.) potrebno je više mjesta. Mjerenje se treba vršiti na četiri fiksna mjesta mikrofona ili četiri mjesta pokretnog mikrofona. Najmanji broj mjerenja uz fiksna mjesta mikrofona je šest, ali treba primijeniti kombinaciju od najmanje četiri mjesta mikrofona i najmanje četiri mjesta izvora zvuka.

Razina udarnog zvuka određuje se s pomoću jednog mikrofona koji se pomiče od mjesta do mjesta ili s pomoću niza pričvršćenih mikrofona ili mikrofona koji se pokreće kontinuirano ili njišući. Najmanji razmaci između mjesta mikrofona i graničnih ploha su jednaki kao kod mjerenja zračne zvučne izolacije. Kada se ispituju međukatne konstrukcije s mekim oblogama, normirani izvor udarnog zvuka treba ispunjavati posebne zahtjeve, odnosno treba osigurati da čekići mogu padati najmanje 4mm ispod ravnine na kojoj leže noge izvora udarnog zvuka.

Na osnovu zahtjeva koji su propisani za normirani izvor udarnog zvuka moraju se provjeravati ispunjenja zahtjeva u pravilnim intervalima pod laboratorijskim uvjetima. Neke parametre treba mjeriti samo jednom osim ako na izvoru nisu obavljene izmjene, odnosno razmak između čekića, noge uređaja, promjer čekića, masa čekića (osim ako su glave čekića bile poravnane) vrijeme između udaranja i podizanja i najveća moguća visina padanja čekića. Ključno je da se brzina čekića, promjer zakrivljenosti glave čekića, smjer padanja čekića i vrijeme između udara redovito provjerava.

5. NORME I PRAVILNICI

Zakonom o zaštiti od buke („NN“ br. 30/09, 55/13, 153/13) se utvrđuju mjere u cilju izbjegavanja, sprječavanja ili smanjivanja štetnih učinaka na zdravlje ljudi koje uzrokuje buka u okolišu. U članku 11. ovoga zakona piše da stručne poslove zaštite od buke utvrđene pravilnikom mogu obavljati pravne osobe registrirane za obavljanje te djelatnosti koje imaju ovlaštenje Ministarstva zdravlja, a akreditirane su prema normi HRN EN ISO/IEC 17025 uz prijelazni period za dobivanje akreditacije od dvije godine. Zakonom je navedeno da osobe koje obavljaju stručne poslove zaštite od buke moraju imati položen stručni ispit, te su se obvezne u načinu i postupku mjerenja proračuna i ocjenjivanja te sadržaja nalaza o mjerenju pridržavati međunarodnih normi (ISO), europskih normi (EN), hrvatskih normi (HRN) i odgovarajućih preporuka Europske unije. Ovo područje je pokriveno pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave („NN“ br. 145/04), te Pravilnikom o djelatnostima za koje je potrebno utvrditi provedbu mjera za zaštitu od buke („NN“ br. 91/07). Osnovne norme koje se odnose na terenska mjerenja zvučne izolacije u zgradama su:

Norme za terenska mjerenja zvučne izolacije: HRN EN ISO 140-4:1999, Akustika – Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 4. dio: Terenska mjerenja zračne zvučne izolacije između prostorija.; HRN EN ISO 140-7:1999, Terenska mjerenja udarne zvučne izolacije međukatnih konstrukcija.

Norme za vrednovanje zvučne izolacije: HRN EN ISO 717-1:1999, Akustika - Vrednovanje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 1. dio: Izolacija od zračnog zvuka; HRN EN ISO 717-2:1999, Izolacija od udarnog zvuka.

Norma za mjerenje vremena odjeka: HRN EN ISO 3382-2:2010, Akustika – Mjerenje

akustičkih parametara prostorija - 2. dio: Vrijeme odjeka u običnim prostorijama.

Ostale norme koje se odnose na zvučnu izolaciju u zgradama su: HRN EN 20140-2:1998, Akustika - Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 2. dio: Određivanje, provjera i primjena preciznosti podataka; HRN EN ISO 140-14:2006, Smjernice za posebne situacije na terenu.

Navedeni normativni elementi bili su važeći za vrijeme provedbe terenskog mjerenja.

6. PRAKTIČNA PROVEDBA MJERENJA

Priprema za terensko mjerenje započinje pribavljanjem osnovnih podataka o lokaciji ispitivanja (lokacija zgrade, broj etaža, namjena i sl.) te uvidom u projektnu dokumentaciju zgrade. Posebno se analizira Elaborat fizikalnih svojstava zgrade i traži izvješće ovlaštenog revidenta ukoliko je zgrada veća od 800 m². Terensko mjerenje zvučne izolacije rađeno je na primjeru međukatne konstrukcije između dva stana.

Oprema koja je korištena pri terenskom mjerenju zračne zvučne izolacije: Modularni prijenosni zvukomjer tip 2250 Brüel & Kjaer, Zvučni umjerivač proizvođača Brüel & Kjaer tip 4231, Mjerni mikrofonski uložak proizvođača Brüel & Kjaer tip 4189, Dodekaedarski zvučnik Brüel & Kjaer tip 4292 L, Pojačalo snage zvučnog signala Brüel & Kjaer tip 2734 i Programski paket Brüel & Kjaer tip Qualifier 7830

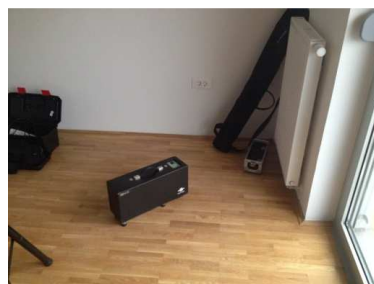
Radi točnijih rezultata mjerenja odabrana su dva stana istih dimenzija. Izvršeno je mjerenje dimenzija prostorije i međukatne konstrukcije. S obzirom da je mjerenje izvršeno na prostorijama koje su jedna ispod druge, gornja prostorija je bila predajna, a donja prijemna, iako je moglo biti i obrnuto. U predajnu prostoriju se postavlja generator normiranog izvora zvuka sa pripadajućim stalkom, te normirani izvor udarnog zvuka.



SI. 5 Zvučnik Brüel & Kjaer tip 4292 L



SI. 6. Pojačalo Brüel & Kjaer tip 2734.



SI. 7 Generators udarnog zvuka

Generator udarnog zvuka ne smije biti postavljen okomito u odnosu na bilo koju graničnu površinu.



SI. 8. Zvukomjer tip 2250 Brüel & Kjaer.

Na slici 8. prikazani su osnovni dijelovi zvukomjera korištenog pri mjerenju zvučne izolacije.



SI. 9. Kalibrator za umjeravanje zvukomjera.

Prije samog mjerenja potrebno je izvršiti umjeravanje tj. kalibriranje zvukomjera. Ono se izvodi postavljanjem kalibratora (prikazanog na slici 9) na mikrofonski uložak te se pet puta zaredom pokrene kalibracija na 114 decibela. Mjerenje započinje s mjerenjem predajnog šuma unutar

predajne prostorije. Mikrofon treba biti postavljen na visinu od $1,5 \pm 0,1$ m i udaljen barem 0,5 m od graničnih ploha prostorije ili difuzora.



Sl. 10. Zvukomjer postavljen na pripadajući stalak s podešivom visinom.

Udaljenost mikrofona od zvučnika mora biti barem jedan metar. Odabire se interval trajanja mjerenja, minimalno trajanje jednog mjerenja je šest sekundi. Odabiru se minimalno dva položaja zvučnika, tako da su položaji pravilno raspoređeni unutar prostorije.

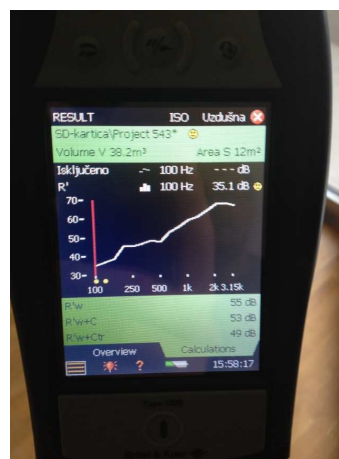
Ukoliko je prostorija većeg ili nepravilnog obujmu odabire se više od dva položaja zvučnika. Na svakom položaju zvučnika s neusmjerenom karakteristikom vrši se minimalno pet mjerenja s fiksnim položajem mikrofona. Svako mjerenje se obavlja s drugim fiksnim položajem mikrofona, tako da je razmak između dva fiksna položaja mikrofona barem 0,7 m. Mjerenje je moguće obavljati i kretanjem mikrofona duž kružnice polumjera najmanje 0,7 m. Vrijeme usrednjavanja pri kružnom kretanju mikrofona mora iznositi najmanje petnaest sekundi, a minimalni broj mjerenja je dva. Mikrofon ne smije biti u paralelnom odnosu s niti jednom graničnim površinom.

Kada je izvršeno mjerenje predajnog šuma, s instrumentom se prelazi u prijemnu prostoriju te se započinje mjerenje prijemnog šuma. Pri svakom položaju zvučnika s neusmjerenom karakteristikom, unutar predajne prostorije, u prijemnoj prostoriji se odabire pet mjernih mjesta s fiksnim položajem mikrofona (minimalno deset mjerenja) ili se vrše minimalno dva mjerenja kretanjem mikrofona duž kružnice. Nakon završenih mjerenja prijemnog šuma daljinski predajnik signala se deaktivira.

Na slici 11 je prikazan zvukomjer koji ima mogućnost grafičkog prikaza izmjerenih vrijednosti u obliku krivulje. Sličnu krivulju ćemo prikazati u izvještaju o mjerenju zvučne izolacije.

Tada se vrši mjerenje rezidualne buke prijemne prostorije. Minimalno trajanje jednog

mjerenja je petnaest sekundi. Broj i položaj fiksnih položaja mikrofona određuje se ovisno o položaju, veličini i konfiguraciji prostora. Sama provedba mjerenja identična je mjerenju predajnog i prijemnog šuma. Ukoliko je tokom mjerenja uočeno da je razlika između razine rezidualnog zvuka i razine prijemnog šuma u prijemnoj prostoriji manja od 10 dB treba upisati napomenu unutar obrasca, zbog unošenja korekcija za rezidualnu buku tokom obrade izmjerenih vrijednosti.



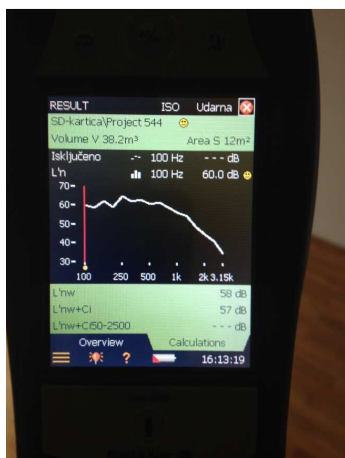
Sl. 11. Grafički prikaz rezultata mjerenja prijemnog šuma.

Nakon toga se vrši mjerenje vremena odjeka prijemne prostorije koje se provodi pomoću izvora impulsnog zvuka. Najčešće se koristi papirnata vrećica. Mjerenje vremena odjeka moguće je obaviti metodom prekida zvuka ili integracijsko-impulsnom metodom. Kod metode prekida zvuka mjerenja se obavljaju na fiksnim mjestima mikrofona, s minimalno šest mjerenja na svakoj frekvenciji. Prva opcija je postavljanje zvučnika na jedno mjesto, dok se mikrofon postavlja na tri pozicije, na svakoj se vrše dva mjerenja. Druga opcija je postavljanje mikrofona na šest mjesta unutar prostorije sa po jednim mjerenjem na svakom mjestu, gdje je minimalni broj mjerenja na svakoj frekvenciji šest, odnosno jedno mjesto zvučnika sa tri mjesta mikrofona sa po dva mjerenja na svakom mjestu ili šest mjesta mikrofona sa po jednim mjerenjem na svakom mjestu. Kod integracijsko-impulsne metode mjerenja se obavljaju isključivo na fiksnim mjestima mikrofona gdje je minimalni broj mjerenja na svakoj frekvenciji šest, odnosno jedno mjesto izvora sa šest mjesta mikrofona sa po jednim mjerenjem na svakom mjestu. Dobiveni podaci se spremaju u posebnu datoteku u memoriju instrumenta.

Vrijeme odjeka određuje se u području opadanja razine od najmanje 20 decibela, a donja granica mora biti barem deset decibela iznad razine osnovne buke

Posljednje mjerenje koje se izvršava je mjerenje udarne zvučne izolacije koje se izvodi samo na horizontalnim pregradama unutar građevine. Normirani izvor udarnog zvuka se postavlja unutar predajne prostorije i priključuje se na električnu mrežu (230 V). Ukoliko je pod predajne prostorije prekriven mekanom oblogom (tepih) potrebno je pomoću odvrtanja nožica normiranog izvora udarnog zvuka omogućiti propadanje udarnih batića za 4 mm niže od nulte pozicije.

Mjerenje se započinje mjerenjem razine udarnog zvuka unutar prijemne prostorije. Jedan ispitivač ostaje u predajnoj prostoriji, a drugi s instrumentom odlazi u prijemnu prostoriju. Ispitivač unutar predajne prostorije treba odrediti barem četiri mjesta postavljanja normiranog izvora udarnog zvuka. Izvor ne smije biti udaljen manje od 0,5 m od rubova ispitivane međukatne konstrukcije, a simetrala padajućih batića treba biti približno 45° u odnosu na rubove konstrukcije. Ispitivač unutar prijemne prostorije odabire interval trajanja mjerenja, minimalno trajanje jednog mjerenja je šest sekundi. Odabiru se minimalno četiri fiksna položaja mikrofona tako da je mikrofonski udaljen barem 0,5 m od graničnih ploha prostorije ili difuzora, a razmak između dva fiksna položaja mikrofona treba biti barem 0,7 m. Ukupni broj potrebnih mjerenja je barem šest. Mjerenje je moguće obavljati i kretanjem mikrofona duž kružnice polumjera najmanje 0,7 m. Vrijeme usrednjavanja pri kružnom kretanju mikrofona mora iznositi najmanje petnaest sekundi, a minimalni broj mjerenja je četiri (za svaki položaj normiranog izvora zvuka po jedno mjerenje). Mikrofonski ne smije biti u paralelnom odnosu s niti jednom graničnom površinom.



Sl. 12. Grafički prikaz rezultata mjerenja udarne zvučne izolacije.

Nakon završenog mjerenja razine udarnog zvuka unutar prijemne prostorije, potrebno je izmjeriti rezidualnu razinu buke i vrijeme

odjeka koja se provode identično kao i kod mjerenja zračne zvučne izolacije.

7. IZVJEŠĆE O PROVEDENOM MJERENJU ZVUČNE IZOLACIJE

Izveštaj o mjerenju zvučne izolacije daje osnovne informacije:

- sastava ispitanih konstrukcija i obujam prostorija,
- opis mjernih mjesta, predajne i prijemne prostorije,
- rezultatima mjerenja i osvrt na rezultate terenskog mjerenja.

Mjerenje je izvršeno na međukatnoj konstrukciji S koja je sastavljena od slijedećim materijala: Dvoslojna ukočena drvena podna obloga 1,40 cm, Poliuretansko ljepilo 0,60 cm, Armiranobetonski plivajući cementni estrih 6,00 cm, Polietilenska folija 0,025 cm, EPS 2,00 cm, Stirobeton 3,00 cm, Armirani beton 5,00 cm, EPS 15,00 cm, armirani beton 4,00 cm. Obujam obje prostorije iznosi 38,20 m³, dok je površina međukatne konstrukcije 12,00 m².

Tab1. Broj mjerenja Oznaka sastava konstrukcije

Broj mjerenja	Oznaka sastava konstrukcije	Predajna prostorija	Prijemna prostorija	Napomena
1.	S/ zrak	L1 - SOBA	L2 - SOBA	-
2.	S/udar	L1 - SOBA	L2 - SOBA	-

Tablica 2. sadrži opis prostorija nad kojima je mjerenje izvršeno, te vrsta mjerenja koja su provedena. Izvršeno je mjerenje zračne i udarne zvučne izolacije pregrade između soba L1 i L2, gdje je soba L1 u oba mjerenja bila predajna, dok je soba L2 bila prijemna.

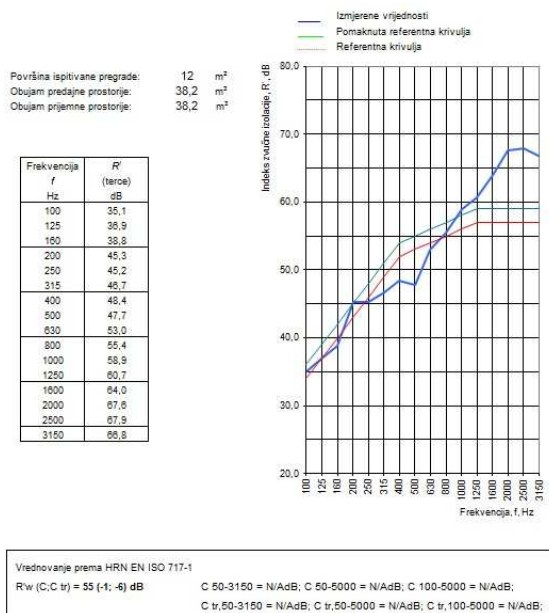
Tab. 2. Zračna zvučna izolacija ispitnih konstrukcija

ZRAČNA ZVUČNA IZOLACIJA MEĐUKATNIH KONSTRUKCIJA - R'_{w} u dB				
Opis pregradne konstrukcije	Zahtjev R'_{wmin}	Izmjereno R'_{w}	Klasa	Ocjena
S	52	55	Minimalna	Z

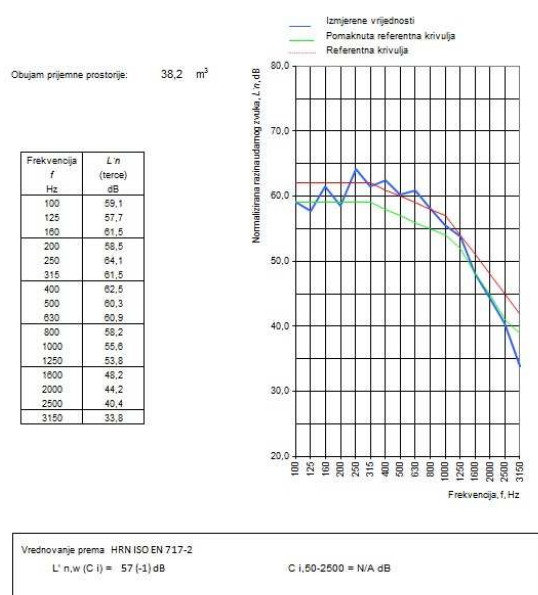
Tab. 3. Udarne zvučne izolacije ispitnih konstrukcija

UDARNA ZVUČNA IZOLACIJA MEĐUKATNIH KONSTRUKCIJA - L'_{nw} u dB				
Opis pregradne konstrukcije	Zahtjev $L'_{nw max}$	Izmjereno L'_{nw}	Klasa	Ocjena
S	68	57	Poboljšana	Z

U tablicama 3. i 4. navedene su jednobrojne vrijednosti koje su očitane prema normama [8] i [9] na krivuljama prikazanim na slikama 13. i 14. Potrebno je očitati vrijednost u decibelima na pomaknutoj referentnoj krivulji, označenoj zelenom bojom, pri frekvenciji od 500 Hz.



SI. 13 Indeks zvučne izolacije R'



SI. 14 Normirana razina udarnog zvuka

Na osnovi obavljenih mjerenja zvučne izolacije, utvrđeno je da razina zvučne izolacije ispitanih konstrukcija zadovoljava dopuštene vrijednosti norme HRN U.J6.201:1989 i projektom zahtijevane vrijednosti za te konstrukcije. Izmjerena vrijednost zvučne izolacije je za tri decibela veća od propisane

minimalne vrijednosti zvučne izolacije za strop između dva stana propisane normom [6], što znači da je pregrada ocjenjena klasom minimalne zvučne zaštite. Izmjerena vrijednost zvuka udara je za 11 decibela manja od maksimalne vrijednosti nivoa zvuka udara propisanog normom [6], te je stoga pregrada ocjenjena klasom poboljšane zvučne zaštite. Slika 13. prikazuje vrijednosti indeksa zvučne izolacije R izraženog na svim frekvencijama, na jedno decimalno mjesto, u tabličnom obliku i u obliku krivulje koji prikazuje vrijednosti u decibelima u ovisnosti o frekvenciji u logaritamskom mjerilu prema [3]. Prema normi [8], koje kaže da se na dijagramu očitava vrijednost pomaknute referentne krivulje na 500 Hz dobiva se rješenje $R_w = 55$ (dB).

Slika 14. prikazuje izmjerene vrijednosti normalizirane razine udarnog zvuka L'_n izražene na svim frekvencijama, na jedno decimalno mjesto, u obliku tablice i krivulje kao što je propisano normom ISO 140-7:1999, te se izračunata jednobrojna cjelobrojna normalizirana razina udarnog zvuka L'_{n,w} = 57 (dB).

8. ZAKLJUČAK

Mjerenja zvučne izolacije su kompleksna i pokrivena su nizom zakonskih i podzakonskih propisa te normama navedenim u poglavlju pet. Navedeni normativni elementi bili su važeći za vrijeme provedbe terenskog mjerenja. Naknadno je došlo do izmjena u normama koje nisu značajno utjecale na način provedbe mjerenja. Izvještaj o mjerenju zvučne izolacije nije opširan, ali za izradu istoga potrebno je poznavanje normativnih propisa i posjedovanje potrebnih znanja i vještina za provođenje mjerenja. Kao i za sva ostala mjerenja pri iskazu rezultata navodi se mjerna nesigurnost mjerenja, koja u ovom radu, zbog svoje kompleksnosti nije posebno obrađena.

Korištenjem normi za terenska mjerenja zvučne izolacije, te normi za vrednovanje zvučne izolacije odrađeno je terensko mjerenje u novoizgrađenoj zgradi na osnovu kojeg je utvrđeno da građevina zadovoljava u pogledu minimalne vrijednosti zvučne izolacije i maksimalne vrijednosti razine zvuka udara prema normi HRN U.J6.201:1989. U slučaju da su rezultati ispitivanja bili negativni, odnosno da ispitane pregrade nisu zadovoljile predviđene zahtjeve potrebno je izraditi projekt sanacije. Izrada sanacijskog rješenja za investitora predstavlja veliko financijsko opterećenje, te je sam pothvat najčešće nemoguće izvesti bez značajnih zahvata na zgradi. Taj se problem mogao spriječiti još u

fazi projektiranja. Već od faze prostornog planiranja potrebno je pridodati značajnu pažnju zaštiti od buke. Kako je učešće zaštite od buke u zgradarstvu zastupljeno u svim projektnim fazama, od idejnog rješenja do izvedbenog projekta, potrebno je projektiranje zvučne zaštite i zaštite od buke prepustiti stručnjacima i iskusnim projektantima kako kasnije ne bi bilo potrebe za projekt sanacije i zahtijevanim radovima saniranja.

LITERATURA:

- [1] V. M. Vilems, K. Šild, S. Dinter, Građevinska fizika, priručnik 2. Dio, Građevinska knjiga, 2008.
- [2] E. Šild, H.F.Kaselman, G. Damen, R. Polenc, Građevinska tehnika: Projektiranje i primjena, IRO „Građevinska knjiga“, Beograd, 1985.
- [3] HRN EN ISO 140-4:1999 (en), Akustika – Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 4. dio: Terenska mjerenja zračne zvučne izolacije između prostorija.
- [4] C. Hopkins, Sound insulation, Elsevier Ltd, Oxford, 2007.
- [5] V. Šimetin, Građevinska fizika, Fakultet građevinskih znanosti sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1983.
- [6] HRN EN ISO 140-7:1999 (en), Akustika – Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 7. dio: Terenska mjerenja udarne zvučne izolacije međukatnih konstrukcija.
- [7] HRN U.J6.201:1989, Akustika u zgradarstvu - Tehnički uvjeti za projektiranje igradenje zgrada.
- [8] HRN EN ISO 717-1:1999 (en), Akustika - Vrednovanje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 1. dio: Izolacija od zračnog zvuka.
- [9] HRN EN ISO 717-2:1999 (en), Akustika - Vrednovanje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata – 2. dio: Izolacija od udarnog zvuka.
- [10] Zakon o zaštiti od buke („NN“ br. 30/09, 55/13, 153/13)