

Josip Pavleka  
HEP ODS d.o.o.  
[josip.pavleka@hep.hr](mailto:josip.pavleka@hep.hr)

Lovro Vrus  
ZIRS d.o.o.  
[lovro.vrus@zirs.hr](mailto:lovro.vrus@zirs.hr)

## MJERENJE JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA, GUSTOĆE MAGNETSKOG TOKA TE RAZINE BUKE DISTRIBUTIVNIH TRAFOSTANICA RADI PRIBAVLJANJA RJEŠENJA O UPORABI NEPOKRETNIH IZVORA ELEKTROMAGNETSKIH POLJA

### SAŽETAK

U radu su prikazani parametri novoizgrađene transformatorske stanice (TS) 10/0,4 kV, 2x1000kVA, 50 Hz s pripadajućim priključnim SN kabelom. Dane su jednopolne sheme i tehnički podaci ugrađene opreme. Prikazane su razine opterećenja u pogonu. Sukladno Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja (N.N. 146/14, N.N. 31/19) na lokaciji su provedena sva potrebna mjerenja. Izmjerena je gustoća magnetskog toka B [ $\mu\text{T}$ ] te preračunata na nazivno opterećenje. O istom je sačinjen izvještaj sa usporedbom pravilnikom definiranih vrijednosti te izveden zaključak. Prikazane su i slike mjernih mjesta. Također, izvršeno je i ispitivanje razine buke koje potječe od rada TS, kako u dnevnim tako i u noćnim satima, poštujući i mikroklimatske kriterije koji moraju biti zadovoljeni za provođenje mjerenja. Mjerena su više minutna kontinuirana mjerenja ekvivalentnih razina zvučnog tlaka uz uključen i isključen izvor buke. Pokazano je da se sve izmjerene vrijednosti nalaze u području dopuštenih, te se može započeti s korištenjem TS kao nepokretnog izvora elektromagnetskog polja, o čemu će Ministarstvo zdravstva donijeti Rješenje.

**Ključne riječi:** gustoća magnetskog toka, jakost električnog polja, razina buke okoliša, Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja

### MEASUREMENT OF ELECTRIC FIELD STRENGTH, MAGNETIC FLUX DENSITY AND NOISE LEVEL OF DISTRIBUTION SUBSTATIONS IN ORDER TO OBTAIN A DECISION ON THE USE OF STATIONARY SOURCES OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

The parameters of the newly constructed DTS 10/0,4 kV, 2x1000kVA, 50 Hz with the associated MV connecting cable are shown in this paper. Single-pole diagram and technical data of built-in equipment are given. Load levels are displayed during operation. In accordance with the Regulation on protection against electromagnetic fields (N.N. 146/14, N.N. 31/19) on the site all necessary measurements were carried out. The density of magnetic flux B [ $\mu\text{T}$ ] is measured and converted to the nominal load. A report has been compiled in accordance with defined values and a conclusion has been drawn. Images of the measuring points are shown.

Also, the level of noise arising from the operation of the TS, both in daytime and at night, has been tested, respecting the microclimatic criteria that must be met for conducting the measurements. We measured several minutes' continuous measurements of equivalent sound pressure levels with on and off source of noise. It has been shown that all measured values are in the permitted area, and can be started with the use of TS as a fixed source of electromagnetic field, which will be passed by the Ministry of Health.

**Key words:** magnetic flux density, electric field strength, environmental noise level, Regulations on protection against electromagnetic fields

## **1. ISPITIVANJE ELEKTRIČNIH I MAGNETSKIH POLJA NAZIVNE FREKVENCIJE 50 Hz**

### **1.1. Svrha i namjena ispitivanja**

Provedeno je ispitivanje električnih i magnetskih polja nazivne frekvencije 50 Hz u okolini TS 2575 10(20)/0,4 kV za potrebe tehničkog prijema. Utvrđivanje sukladnosti izvora elektromagnetskog polja se vrši prema čl. 17. Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 146/14, 31/19) i prema Prilogu II. Pravilnika o zdravstvenim uvjetima kojima moraju udovoljavati radnici koji obavljaju poslove s izvorima neionizirajućeg zračenja (NN 59/16.).

### **1.2. Primijenjeni propisi, mjerni postupci i oprema**

Propisi temeljem kojih su provedena mjerenja:

1. Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (N.N. 91/10.),
2. Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (N.N. 146/14., 31/19.),
3. \*HRN IEC 61786:2001- Mjerenje niskofrekvencijskih magnetskih i električnih polja s obzirom na izloženost ljudi – Posebni zahtjevi za instrumente i upute za mjerenja
4. Pravilnik o zdravstvenim uvjetima kojima moraju udovoljavati radnici koji obavljaju poslove s izvorima neionizirajućeg zračenja (N.N. 59/16.)

Oprema s kojom su mjerenja provedena:

Korišten je uređaj za mjerenje električnih i magnetskih polja proizvođača Wavecontrol, model SMP2 field meter sa sondom WP400. Sonda se spaja direktno sa mjernim uređajem da se isključe mogući utjecaja na mjerenje. Sonda i analizator su montirani na stalku od izolatorskog materijala (drvo), a omogućuje spektralnu analizu, sa utvrđivanjem svih frekvencija mogućih emisija u niskofrekventnom području. Kod mjerenja električnog polja rezolucija je  $< 0,4$  mV/m, s rasponom mogućih jačina polja: 1 V/m – 100 kV/m. Kod mjerenja magnetskih polja rezolucija je 0,1 nT, a raspon mjerenja jačine polja: 50 nT – 10 mT.

Sonda je izotropna, tj. rezultat mjerenja ne ovisi o položaju sonde u odnosu na električna i magnetska polja.

Za određivanje okolišnih uvjeta u vrijeme mjerenja korišten je uređaj TESTO 445.

Mjerni uređaji i sonde su umjerene u ovlaštenom laboratoriju za što postoje slijedeće umjernice:

- certifikat o umjeravanju izdan od strane LabCal – Wavecontrol Radio-electric Calibration Laboratory (umjerna oznaka: 17/02893) – sonda za mjerenje električnih i magnetskih polja (WP400) i analizator SMP2
- certifikat o umjeravanju izdan od strane CEI-IETA Mjeriteljskog Laboratorija (umjerna oznaka: U-0415/17) – TESTO 445

### **1.3. Opis ispitivane lokacije**

Predmet ispitivanja je TS 2575 10(20)/0,4 kV smještena u samostojećem objektu (DTS). Transformatorska stanica je opremljena jednim transformatorom nazivne snage 1000 kVA. U vrijeme ispitivanja transformatorska stanica je bila pod naponom i radila je s ukupnim teretom od 18 kVA. Situacija ispitivanih prostora s obilježenim pozicijama na kojima su provedena mjerenja prikazana je u prilogu.

---

\* Metode akreditirane prema HRN EN ISO/IEC 17025:2007; U slučaju odstupanja od akreditiranog postupka, isto se u ovom izvještaju označava simbolom #

Izvori polja u vrijeme mjerenja:

1. Uređaji: Transformator i pripadajući SN i NN vodovi u i oko transformatorske stanice
2. Objekti: TS 2575
3. Frekvencijsko područje izvora: osnovna frekvencija 50 Hz

#### 1.4. Opis mjerenja električnih i magnetskih polja

Ispitivane su jakost električnog polja i gustoća magnetskog toka polja koje potječu od naponskih vodova i uređaja. Mjerne točke su izabrane na pozicijama gdje se mogu očekivati maksimumi električnih i magnetskih polja u pojedinim prostorima, na osnovi kojih bi trebalo procijeniti izloženost pojedinaca električnim i magnetskim poljima.

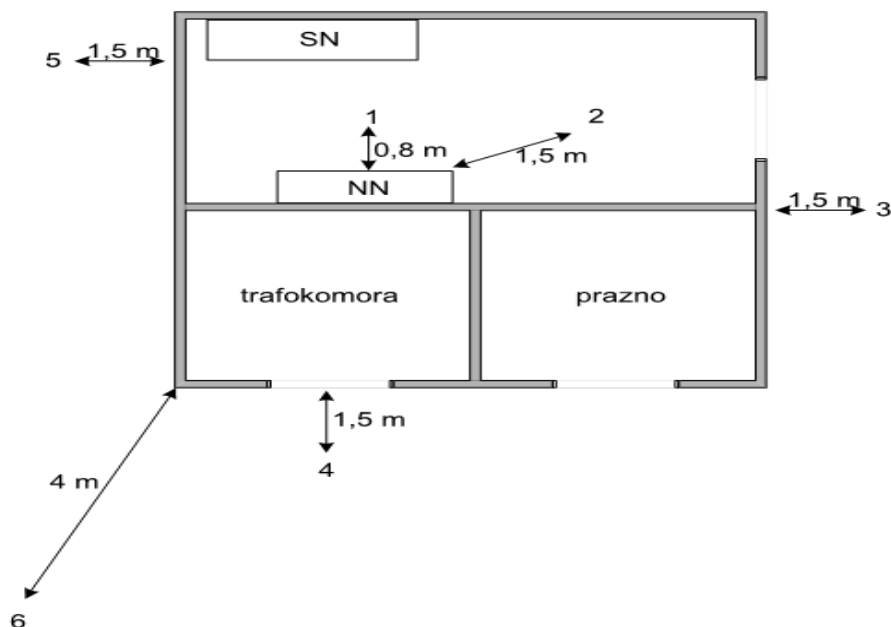
Mjerenja su provedena na ukupno 6 mjernih mjesta u TS i na otvorenom prostoru 1.4.2019. od 10 h do 11 h. U vrijeme mjerenja okolišni uvjeti su zadovoljavali kriterije za provođenje mjerenja.

Vanjski uvjeti: Temperatura zraka iznosila je 18°C, a relativna vlažnost zraka 48%, bez vjetra.

Mjerna sonda je postavljena na visini 1,2 m od tla.

Popis mjernih mjesta:

- 1: U SN i NN postrojenju – između SN i NN bloka
- 2: U SN i NN postrojenju – iznad kablenskog kanala
- 3: Zapadna strana TS, prema najbližem stambenom objektu (k.br. 86)
- 4: Ispred trafokomore I



- 5: Istočna strana TS, pored SN bloka i iznad ukopanih NN kabela
- 6: Iznad ukopanih SN i NN kabela

Slika 1. Situacija ispitivanog prostora

### 1.5. Rezultati mjerenja

Situacija ispitivanog prostora s obilježenim pozicijama na kojima su provedena mjerenja prikazana je na slici 1. U tablici I. dani su rezultati mjerenja na tako obilježenim mjernim mjestima.

**Tablica I. – Rezultati mjerenja jakosti električnog polja i gustoće magnetskog toka na navedenim mjernim mjestima**

Red. br.	Naziv prostora/ Oznaka mjernog mjesta	Jakost električnog polja (RMS) (V/m)	Gustoća magnetskog toka (RMS) ( $\mu$ T)	Napomena
		Širokopojasno (1 Hz-400 kHz)	Širokopojasno (1 Hz-400 kHz)	
1.	1***	6	0,63	
2.	2***	1,26	0,13	
3.	3*	0,73	0,07	
4.	4*	0,89	0,14	
5.	5*	0,68	0,08	
6.	6*	1,5	0,12	
Granične razine		5000*	100*	Za javna područja*, za cijelo tijelo
Granične razine		2000**	40**	Za područje povećane osjetljivosti**, za cijelo tijelo
Niske vrijednosti upozorenja		10000***	1000***	Za radnike koji obavljaju poslove s izvorima neionizirajućeg zračenja***

\* *Javna područja* jesu sva mjesta u urbanim i ruralnim sredinama na koja nije ograničen slobodan pristup općoj populaciji, a nisu u području povećane osjetljivosti odnosno profesionalne izloženosti. Granična razina prema tablici 1., Priloga 2. Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 146/14, 31/19)

\*\* *Područja povećane osjetljivosti* jesu zgrade stambene i poslovne namjene, škole, ustanove predškolskog odgoja, rodilišta, bolnice, domovi za starije i nemoćne, smještajni turistički objekti te dječja igrališta.

Granična razina prema tablici 2., Priloga 2. Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 146/14, 31/19)

\*\*\* *Za radnike koji obavljaju poslove s izvorima neionizirajućeg zračenja*

Niske vrijednosti upozorenja prema Tablicama B1 i B2 Priloga II. Pravilnika o zdravstvenim uvjetima kojima moraju udovoljavati radnici koji obavljaju poslove s izvorima neionizirajućeg zračenja (NN 59/16)

## 1.6. Procjena mjerne nesigurnosti

Mogući čimbenici mjerne nesigurnosti su: nesigurnost umjeravanja, nehomogenost polja i s tim u vezi pozicioniranje mjerne sonde, šum ili utjecaj drugih izvora, postojanje viših harmonika iznad pojasa propuštanja, te temperatura okoline. Nesigurnost umjeravanja kod pojedine frekvencije se vidi u protokolu umjeravanja za pojedinu komponentu mjernog uređaja. Šum, kao i utjecaj drugih izvora zračenja je bio zanemariv obzirom da se u blizini nisu nalazili drugi izvori niskofrekventnih elektromagnetskih polja, a granica šuma je u uređaju niža od donje granice mjernog područja uređaja (što je riješeno softverski u samom mjernom uređaju). Iako je postojanje viših harmonika osnovne frekvencije 50 Hz utvrđeno, razina tih viših harmonika je bila daleko niža od vrijednosti mjerenih veličina na osnovnoj frekvenciji pri čemu je pojas propuštanja postavljen tako da je obuhvaćao sve više harmonike (do 400 kHz), pa je potencijalna greška zbog neobuhvaćanja viših harmonika zanemariva. Standardna mjerna nesigurnost (tipa "A") je određena na način opisan u publikaciji GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement) kao standardno odstupanje srednje vrijednosti niza od 5 uzastopnih mjerenja na istoj mjestnoj poziciji. Udaljenost mjernih pozicija od izvora električnih i magnetskih polja je bila veća od 1,5 m (osim na mjernom mjestu 1), što je u odnosu na dimenzije mjerne sonde od 0,1 m znatno veća vrijednost. Na osnovi tablice B.1 iz Anexa B norme HRN IEC 61786:2001. može se uzeti da je mjerna nesigurnost zbog pozicioniranja mjerne sonde u nehomogenom polju manja od 0,8% pri mjerenju gustoće magnetskog toka, pa je u izračunu za ukupnu mjernu nesigurnost uzeta ta vrijednost. Na mjernom mjestu 1 udaljenost od izvora bila je 0,8m zbog skučenosti prostora, pa je mjerna nesigurnost zbog pozicioniranja 2,7%.

Ukupna mjerna nesigurnost je izračunata prema relaciji:  $\delta = \sqrt{s^2 + \sigma^2 + \varepsilon^2}$

**Tablica II. Prikaz mjerne nesigurnosti prilikom mjerenja**

Red.br.	Mjerna nesigurnost:	Iznos (%)					
		Jakost električnog polja					
	Mjerno mjesto:	1	2	3	4	5	6
1.	standardna (s)	0	0	0,1	0,3	0,1	3,8
2.	mjernog uređaja određene postupkom umjeravanja ( $\sigma$ )	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
3.	zbog pozicioniranja sonde u nehomogenom polju ( $\varepsilon$ )	0	0	0	0	0	0
4.	ukupna, kombinirana ( $\delta$ )	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	4,6
5.	proširena (k=2)	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	9,2

**Tablica III. Prikaz mjerne nesigurnosti prilikom mjerenja**

Red.br.	Mjerna nesigurnost:	Iznos (%)					
		Gustoća magnetskog toka					
	Mjerno mjesto:	1	2	3	4	5	6
1.	standardna ( $s$ )	1,4	0,3	0,4	0,1	0,4	0,9
2.	mjernog uređaja određene postupkom umjeravanja ( $\sigma$ )	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
3.	zbog pozicioniranja sonde u nehomogenom polju ( $\varepsilon$ )	2,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
4.	ukupna, kombinirana ( $\delta$ )	4,0	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8
5.	proširena ( $k=2$ )	8,0	5,4	5,4	5,4	5,4	5,6

### 1.7. Prilozi

Situacija ispitivanog prostora s označenim mjernim mjestima, prikazane su u nastavku:



**Mjerno mjesto 1**



**Mjerno mjesto 2**



**Mjerno mjesto 3**



**Mjerno mjesto 4**



**Mjerno mjesto 5**



**Mjerno mjesto 6**

Slika 2. Fotografije s mjernim mjestima

## 2. ISPITIVANJE RAZINE BUKE OKOLIŠA

## 2.1. Svrha i namjena ispitivanja

Provedeno je ispitivanje razine buke okoliša koja potječe od rada TS 2575 za potrebe tehničkog prijema, odnosno u postupku ishođenja uporabne dozvole, uz ocjenu sukladnosti prema Pravilniku [5].

## 2.2. Akustički zahtjevi

Sukladnost rezultata mjerenja se određuje prema kriteriju iz čl.6., Pravilnika o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (N.N. 145/04):

Za područja u kojima je postojeća rezidualna buka niža od dopuštene razine prema Tablici I. čl.5 navedenog pravilnika, emisija buke koja bi nastala od novoprojektiranih, izgrađenih, rekonstruiranih ili adaptiranih građevina sa pripadnim izvorima buke ne smije povećati postojeću razinu buke za više od 1 dB(A).

## 2.3. Opis ispitivane lokacije

Predmet ispitivanja je TS 2575. Transformatorska stanica je smještena u samostojećem objektu u blizini poslovnih i stambenih objekata. Ispitivan je utjecaj buke koja potječe od rada TS. Najugroženiji boravišni prostori se nalaze zapadno od TS na udaljenosti 10 m i sjeverno (s druge strane ulice) na udaljenosti 15 m. Prema dokumentima prostornog uređenja za promatrani izvor buke i navedeni boravišni prostor zona buke nije definirana. Prema GUP-u Grada Zagreba, TS i navedeni boravišni prostori se nalaze u području mješovite, pretežito stambene namjene, a najugroženiji boravišni objekt u području mješovite namjene.

Situacija ispitivanih prostora s obilježenim pozicijama na kojima su provedena mjerenja prikazana je u prilogu.

U vrijeme ispitivanja mikroklimatski uvjeti su zadovoljavali kriterije za provođenje mjerenja. U dnevnim uvjetima temperatura zraka bila je 19,1°C, relativna vlažnost zraka 39%, bez vjetra, vedro. U noćnim uvjetima temperatura zraka je bila 8,0°C, relativna vlažnost zraka 75%, bez vjetra, vedro.

## 2.4. Izvori buke u vrijeme ispitivanja

### ***Vanjska buka***

Vanjsku buku na promatranoj lokaciji čini rad transformatora.

### ***Rezidualna buka***

Rezidualnu buku na promatranoj lokaciji čine nestacionarni izvori, tj. promet ulicom Križnog puta i okolnim ulicama, te radovi u okolici.

## 2.5. Opis mjerenja razine buke

Budući da je buka koja dopire od promatranog izvora zanemariva u odnosu na rezidualnu buku na lokaciji, mjerno mjesto je odabrano u neposrednoj blizini transformatorske stanice:

1. 1,5 m ispred trafokomore

Mjerenja su provedena 1.4.2019., od 11 do 12 sati i od 23 do 23:40 sati. Za ocjenu stanja buke na izabranim mjernim mjestima provedena su višeminutna kontinuirana mjerenja ekvivalentnih razina zvučnog tlaka uz primjenu filtra A, s mikrofonom postavljenim na visini 1,5 m od tla.

Ekvivalentna razina buke mjerena je kad su ocjenjivani izvori buke (transformator) bili uključeni i kad su bili isključeni kako bi se utvrdilo u kojoj mjeri njihov rad utječe na postojeću razinu rezidualne buke okoliša.





Slika 3. Situacija ispitivanog prostora



Slika 4. Fotografija mjernog mjesta

## 2.6. Rezultati mjerenja

Rezultati mjerenja ekvivalentne razine buke okoliša uspoređeni su sa dopuštenim vrijednostima prema Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (N.N. 145/04.) i prikazani su u Tablicama IV. i V.

Tablica IV. Rezultati mjerenja ekvivalentne razine buke okoliša u dnevnim uvjetima

Red. br.	Položaj mjerne točke	Izmjerene ekvivalentne razine buke $L_{Aeq}$ u dB (A)		Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisije $L_{RAeq}$ u dB(A)
		a – izvori buke su isključeni (rezidualna buka)	b – izvori su uključeni	
1.	1,5 m ispred trafokomore	65,1	64,9	66,1 <sup>1)</sup>

**Tablica V. Rezultati mjerenja ekvivalentne razine buke okoliša u noćnim uvjetima**

Red. br.	Položaj mjerne točke	Izmjerene ekvivalentne razine buke $L_{Aeq}$ u dB (A)		Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisije $L_{RAeq}$ u dB(A)
		a – izvori buke su isključeni (rezidualna buka)	b – izvori su uključeni	
1.	1,5 m ispred trafokomore	50,9	51,0	51,9 <sup>1)</sup>

1) Kriterij prema čl.6 Pravilnika o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (N.N. 145/04.).

## 2.7. Procjena mjerne nesigurnosti

Procijenjena ukupna mjerna nesigurnost pri mjerenju prikazana je u tablicama VI. i VII. kao proširena mjerna nesigurnost sa faktorom pokrivanja  $k=2$  i razinom pouzdanosti 95%.

**Tablica VI. Prikaz mjerne nesigurnosti prilikom mjerenja u dnevnim uvjetima**

Red. br.	Položaj mjerne točke	Izmjerene ekvivalentne razine buke $L_{Aeq}$ u dB (A)	
		a – izvori buke su isključeni (rezidualna buka)	b – izvori buke su uključeni
1.	1,5 m ispred trafokomore	±2,5	±2,4

**Tablica VII. Prikaz mjerne nesigurnosti prilikom mjerenja u noćnim uvjetima**

Red. br.	Položaj mjerne točke	Izmjerene ekvivalentne razine buke $L_{Aeq}$ u dB (A)	
		a – izvori buke su isključeni (rezidualna buka)	b – izvori buke su uključeni
1.	1,5 m ispred trafokomore	±2,3	±2,4

## 2.8. Analiza rezultata mjerenja

Iz rezultata mjerenja razine buke okoliša prikazanim u Tablicama IV. i V, vidljivo je da **rad navedene transformatorske stanice ne povećava postojeću razinu buke okoliša** u neposrednoj okolini za više od 1 dB. Buka koju transformatorska stanica proizvodi zanemariva je u odnosu na rezidualnu buku na promatranoj lokaciji (u kratkim trenucima kada buka prometa padne na minimum,  $L_{AFmin}$  iznosi oko 30 dB, što znači da je buka transformatorske stanice manja od te razine). Kako transformatorska stanica nema utjecaja na razinu rezidualne buke na mjernom mjestu neposredno uz transformatorsku stanicu, svakako nema utjecaja niti na većim udaljenostim (bliže navedenim stambenim objektima). Prilikom mjerenja nije utvrđena tonalna karakteristika ispitivane buke.

## 3. ZAKLJUČAK

Izmjerene razine jakosti električnog polja i gustoće magnetskog toka u okolini TS 2575, u vrijeme ispitivanja **sukladne su** zahtjevima iz članka 17. Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja (N.N. 146/14, 31/19) i iz Priloga II Pravilnika o zdravstvenim uvjetima kojima moraju udovoljavati radnici koji obavljaju poslove s izvorima neionizirajućeg zračenja (NN 59/16.).

Ekvivalentna razina buke koja potječe od rada TS 2575 **u skladu je s navedenim akustičkim zahtjevima** iz Poglavlja 3 za dnevne i noćne uvjete.

Rezultati mjerenja odnose se samo na zatečene i opisane uvjete mjerenja i uvjete rada izvora buke.

## 4. LITERATURA

- [1] Zakon o zaštiti od buke (N.N. 30/09, 55/13, 153/13, 41/16).
- [2] Pravilnik o djelatnostima za koje je potrebno utvrditi provedbu mjera za zaštitu od buke (N.N. 91/07).
- [3] HRN ISO 1996-1:2004 (en), Akustika – opis, mjerenje i utvrđivanje buke okoliša – 1. dio: Osnovne veličine i postupci uvrđivanja
- [4] HRN ISO 1996-2:2008 (en), Akustika – opis, mjerenje i utvrđivanje buke okoliša – 2. dio: Određivanje razina buke okoliša
- [5] Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (N.N. 145/04)
- [6] Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (N.N. 91/10.),
- [7] Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (N.N. 146/14., 31/19.),
- [8] \*HRN IEC 61786:2001- Mjerenje niskofrekvencijskih magnetskih i električnih polja s obzirom na izloženost ljudi – Posebni zahtjevi za instrumente i upute za mjerenja
- [9] Pravilnik o zdravstvenim uvjetima kojima moraju udovoljavati radnici koji obavljaju poslove s izvorima neionizirajućeg zračenja (N.N. 59/16.)

---

\* Metode akreditirane prema HRN EN ISO/IEC 17025:2007; U slučaju odstupanja od akreditiranog postupka, isto se u ovom izvještaju označava simbolom #