

# Trajne meritve izpostavljenosti nizkofrekvenčnim magnetnim poljem v bivalnem okolju

Peter Gajšek, Blaž Valič

Inštitut za neionizirna sevanja, Ljubljana

Izpostavljenost elektriki ter posledično električnim in magnetnim poljem (EMP) ni nekaj novega, saj se z razvojem znanja in tehnologij jakost umetno ustvarjenih virov v okolju nenehno povečuje. Človek je doma in na delovnem mestu izpostavljen mešanici šibkih električnih in magnetnih polj – kot posledici proizvodnje, prenosa in distribucije električne energije ter uporabe najrazličnejših električnih in elektronskih naprav doma in na delovnem mestu.

V svojem življenju smo nizkofrekvenčnim električnim in magnetnim poljem frekvenc pod 100 kHz izpostavljeni vsak dan. Vsaka električna naprava, ki energijo pridobiva iz električnega omrežja, v svoji okolici povzroča električno in magnetno polje. Prav tako je vir takšnih polj tudi električna napeljava, ki jo imamo doma. Poleg virov, ki jih imamo doma, na delovnem mestu, v šoli... nizkofrekvenčna polja povzročajo tudi viri v okolju, predvsem naprave in sistemi za proizvodnjo in prenos električne energije: daljnovodi, kablovodi, transformatorske postaje, razdelilne transformatorske postaje in podobne naprave.

Za ugotavljanje morebitnih škodljivih vplivov električnih in magnetnih polj na zdravje ter oceno tveganja so potrebne različne študije z različnih področij raziskovanja. Ena največjih težav pri raziskovanju vplivov izpostavljenosti EMP na zdravje človeka je gotovo določanje izpostavljenosti. Če je izpostavljenost pri epidemiološki študiji definirana napačno, so lahko povsem napačni tudi dobljeni rezultati, ki kažejo na tveganje: lahko so prešibki ali pa premočni. Najprimernejši način določanja izpostavljenosti EMP so pri epidemioloških študijah trajne meritve izpostavljenosti.

Ker smo v vsakdanjem življenju izpostavljeni najrazličnejšim kombinacijam električnih in magnetnih polj, bi glede na množično izpostavljenost lahko že majhni škodljivi učinki na zdravje povzročili velik javno-zdravstveni problem. Da bi ugotovili dejansko največjo 24-urno povprečno izpostavljenost ljudi nizkofrekvenčnim magnetnim poljem, smo izvedli pilotno raziskavo v različnih bivalnih mikrookoljih v R Sloveniji.

## Izbor lokacij

Ker so magnetna polja nizkih frekvenc prisotna praktično povsod je poznavanje njihove porazdelitve in jakosti še toliko večjega pomena. Trajne meritve nizkofrekvenčnih magnetnih polj so bile izvedene v bivalnem okolju, kjer se trajno zadržujejo ljudje v različnih mikrookoljih, in sicer:

- na vplivnih območjih daljnovodov (DV) v bivalnem okolju znotraj stavb (3),
- na vplivnih območjih transformatorskih postaj (TP) v bivalnem okolju znotraj stavb (3),
- v tipičnem gospodinjstvu (3), kjer se uporabljajo različne električne naprave in niso v bližini transformatorskih postaj niti v bližini daljnovoda.

**T 1: Lokacije, kjer so bile opravljene trajne meritve gostote magnetnega pretoka.**

Mikro lokacija	Viri nizkofrekvenčnih magnetnih polj	Oddaljenost od vira*	Tip objekta
1	DV 1×110 kV Cerkno-Idrija	60 m	Individualna hiša
2	DV 2×400 kV Beričevo-Okroglo I, II DV 2×220 kV Beričevo-Kleče, Podlog DV 2×110 kV Kleče-Domžale DV 2×110 kV Kleče-Zaboršt	105 m 65 m 55 m 35 m	stanovanje v stanovanjskem bloku
3	DV 1×20 kV + TP 20/0,4 kV	10 m	Individualna hiša
4	TP 10/0,4 kV, 1×400 kVA	1 m nad TP	Stanovanjsko-poslovni objekt
5	TP 10/0,4 kV, 2×630 kVA	5 m, ob TP	Stanovanjsko-poslovni objekt
6	TP 10/0,4 kV, 2×630 kVA	1 m nad TP	Stanovanjsko-poslovni objekt
7	Vertikalni energetske razvod v bloku; v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje	-	stanovanje v stanovanjskem bloku
8	običajne gospodinjske naprave, v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje,	-	Individualna hiša
9	običajne gospodinjske naprave, v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje,	-	stanovanje v večstanovanjski hiši

\*Oddaljenost za daljnovode se meri od srednje osi daljnovoda, za transformatorske postaje pa od roba transformatorske postaje.

Na vsaki lokaciji so meritve potekale najmanj 24 ur, tako da so se pridobili značilni dnevni poteki sevalnih obremenitev. Iz dnevnih potekov so bile določene najvišje ter 24 urne povprečne vrednosti sevalnih obremenitev. Ker so trajne meritve potekale le v določenem časovnem oknu, so seveda lahko sevalne obremenitve, ki jih povzročajo viri, tudi višje. V času, ko se na določenem daljnovodu izvajajo vzdrževalna dela, so lahko sosednji daljnovodi tudi bolj obremenjeni, in v tistem času so sevalne obremenitve ustrezno višje. Na letno povprečje takšna obdobja vplivajo le zanemarljivo, saj vzdrževalna dela običajno trajajo le nekaj dni, medtem ko bi pomembno vplivala na 24 urne povprečne vrednosti v primeru, če bi potekala ravno v tistem časovnem intervalu.

Meritve so bile izvedene z osebni merilnikom EMDEX II, ki meri gostoto magnetnega pretoka v vnaprej nastavljenih časovnih intervalih in izmerjene vrednosti shranjuje v vgrajen spomin, ter z merilno postajo Narda Area Monitor System 2600. Merilni sistem EMDEX II je kompakten multifunkcijski merilni sistem namenjen epidemiološkim študijam ter ugotavljanju osebne izpostavljenosti magnetnim poljem v področju nizkih frekvenc, merilna postaja Narda pa je namenjena izvajanju trajnih meritev na terenu. Oba merilna sistema sta izotropna, kar pomeni, da sočasno izvajata meritve gostote magnetnega pretoka v vseh treh smereh prostora, zato izmerjene vrednosti vedno podajajo pravilno trenutno vrednost gostote magnetnega pretoka.

Glavne karakteristike obeh merilnih sistemov so:

- beleženje vrednosti 24 ur na dan v nastavljenih intervalih (1,5 do 300 s),
- občutljivost 0,05  $\mu\text{T}$  – 300  $\mu\text{T}$ ,
- izotropnost,
- frekvenčno območje najmanj 40 do 800 Hz,
- nekajdnevna avtonomija,
- zaslon za prikaz izmerjenih vrednosti (EMDEX II).

Merilna negotovost merilnega sistema EMDEX II znaša  $\pm 4,1$  dB, merilna negotovost merilnega sistema Narda 2600 pa znaša  $\pm 2,7$  dB.

Na vsaki od izbranih lokacij je bil merilnik nameščen za obdobje najmanj en dan, tako da so bili izmerjeni značilni dnevni poteki gostote magnetnega polja. Rezultati so bili nato obdelani, in sicer so bile vse vrednosti, manjše od 0,05  $\mu\text{T}$ , ponastavljene na 0,05  $\mu\text{T}$ . Določene so bile povprečne vrednosti ter najvišje 24 urne povprečne vrednosti.

## Rezultati trajnih meritev v različnih mikrookoljih

Trajne meritve so bile izvedene na 9 lokacijah (tabela T1), od tega so bile tri lokacije takšne, da je bil v bližini srednje ali visokonapetostni daljnovod, v bližini treh lokacij je bila transformatorska postaja, tri lokacije pa so predstavljale tipično bivalno okolje: stanovanje v stanovanjskem bloku, samostojno hišo in stanovanje v večstanovanjski hiši. Meritve so skupno potekale 1398 ur oziroma 58 dni, najvišje vrednosti za posamezno lokacijo pa so se gibale med 0,31 in 4,47  $\mu\text{T}$ , povprečne vrednosti med 0,05 in 0,82  $\mu\text{T}$  ter najvišje 24-urne povprečne vrednosti med 0,06 in 0,89  $\mu\text{T}$ .

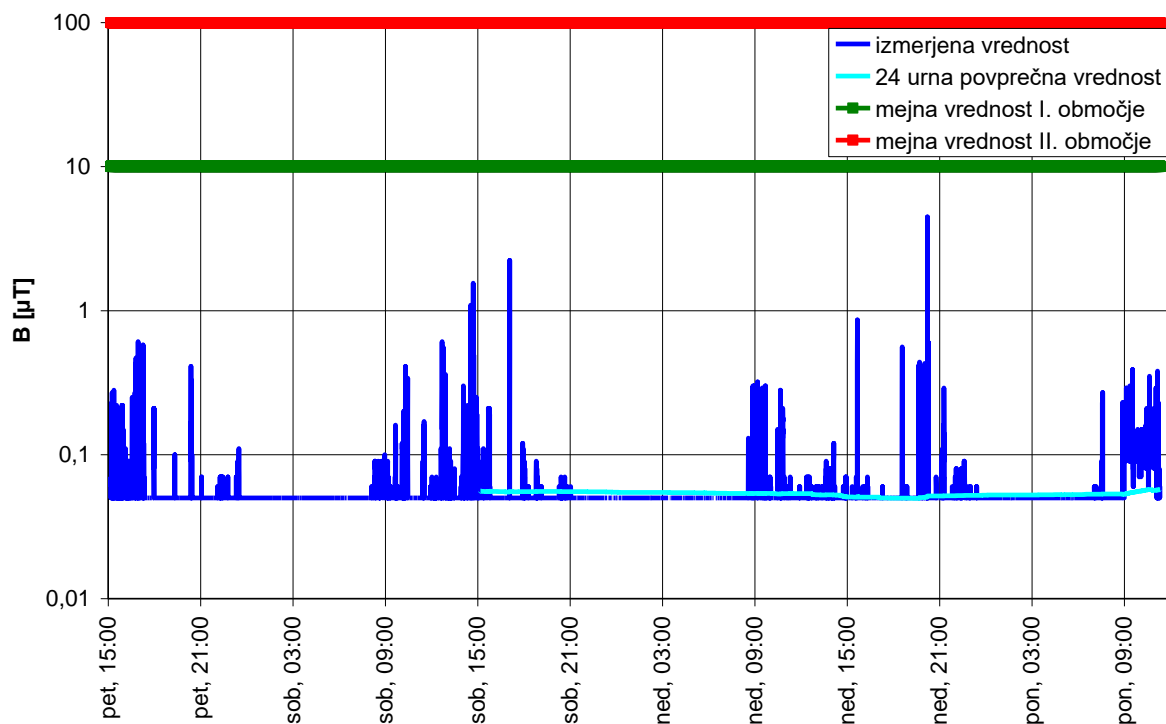
**T 2: Rezultati trajnih meritev gostote magnetnega pretoka.**

mikrolokacija	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Število vseh meritev:	46081	7719	16358	22817	20361	20554	19441	21624	21601
Interval vzorčenja [s]:	30	30	15	30	30	30	15	15	30
Celoten čas meritev [ur]:	384	64	68	190	170	171	81	90	180
Najvišja trenutna vrednost B [ $\mu\text{T}$ ]:	0,37	0,31	4,47	1,12	1,66	0,92	3,09	0,56	0,33
Povprečna vrednost B [ $\mu\text{T}$ ]:	0,14	0,24	0,05	0,59	0,82	0,47	0,65	0,16	0,05
Najvišja 24 urna povprečna vrednost B [ $\mu\text{T}$ ]:	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,06</b>	<b>0,65</b>	<b>0,89</b>	<b>0,53</b>	<b>0,85</b>	<b>0,22</b>	<b>0,06</b>

Pregled rezultatov meritev kaže, da so najvišje 24-urne povprečne vrednosti gostote magnetnega pretoka ugotovljene v bivalnih okoljih, ki se nahajajo v neposredni bližini transformatorske postaje. Vrednosti so celo višje od vrednosti magnetnih polj na lokacijah, ki se nahajajo v bližini visokonapetostnih daljnovodov.

Za lokacije v bližini transformatorske postaje so znašale najvišje 24-urne povprečne vrednosti magnetnega polja 0,65, 0,89 ter 0,53  $\mu\text{T}$ , za lokacije v bližini daljnovodov pa so te vrednosti znašale 0,20, 0,25 ter 0,06  $\mu\text{T}$ . Vzrok temu je gotovo v oddaljenosti. Na vseh lokacijah, kjer se je v bližini nahajala transformatorska postaja, so bile oddaljenosti med transformatorsko postajo in mestom meritve majhne (od enega do pet metrov), medtem ko je bila oddaljenost lokacij v bližini daljnovodov od samih daljnovodov znatno večja: 10 m za sredjenapetostni 20 kV daljnovod, ter 35 m in več za visokonapetostne 100, 220 in 400 kV daljnovode.

Vrednosti v bližini sredjenapetostnega 20 kV daljnovoda so zelo nizke, saj znaša 24-urna povprečna vrednost magnetnega polja 0,06  $\mu\text{T}$ , kar je le malo več od spodnjega merilnega območja inštrumenta 0,05  $\mu\text{T}$ . Tega podatka sicer ni mogoče posplošiti na vse sredjenapetostne daljnovode, saj je magnetno polje v njihovi okolici bistveno odvisno od obremenjenosti, a vseeno ta vrednost kaže, da so lahko sredjenapetostni daljnovodi že na oddaljenosti nekaj metrov popolnoma zanemarljiv vir v primerjavi s sevanjem, ki ga povzročajo gospodinjske naprave in električna napeljava v stanovanju. To je razvidno prav iz podatkov za lokacijo 3 (glej sliko S 1), kjer so vse visoke vrednosti posledica delovanja električnih naprav znotraj stavbe. Najvišje vrednosti dosežejo do 4,47  $\mu\text{T}$ , kar je največ od vseh meritev.

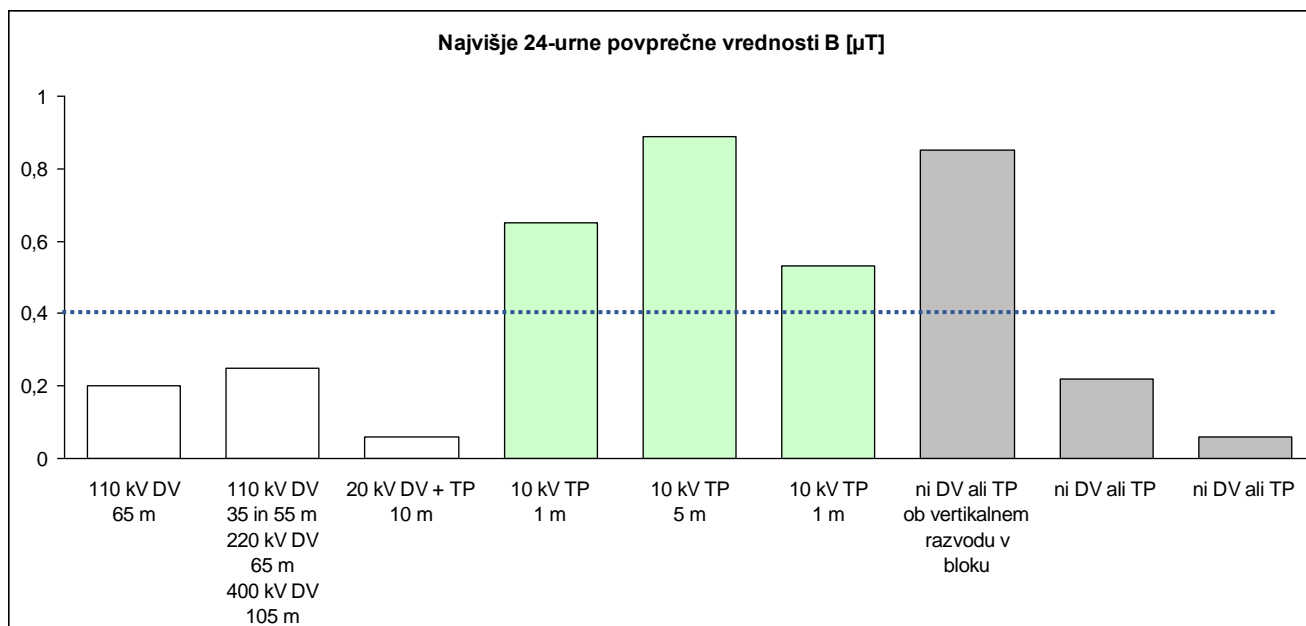


**S 1: Graf poteka gostote magnetnega pretoka  $B$  na lokaciji 3.**

Razmeroma nizke vrednosti v bližini visokonapetostnih daljnovodov so delno posledica nizke obremenjenosti daljnovodov. Tipično visokonapetostni daljnovodi obratujejo z obremenitvami, nižjimi od 40 odstotkov nazivnih obremenitev. Za primere, ko so visokonapetostni daljnovodi znatno bolj obremenjeni, kar se v primeru vzdrževalnih del na sosednjih daljnovodih občasno tudi dogaja, so seveda lahko sevalne obremenitve temu primerno tudi višje.

Obremenitve na lokacijah, kjer v bližini ni ne daljnovodov ne transformatorskih postaj, so sicer nižje od preostalih dveh situacij, a vseeno kažejo zanimive rezultate. V primeru lokacije 7, kjer so bile najvišje 24-urne povprečne vrednosti gostote magnetnega pretoka  $0,85 \mu\text{T}$ , kar je druga najvišja 24-urna povprečna vrednost od vseh lokacij (le malo višje najvišje 24-urne vrednosti,  $0,89 \mu\text{T}$ , so prisotne samo na lokaciji 5, ki se nahaja v bližini transformatorske postaje) ni bilo v bližini nobenega daljnovoda ali transformatorske postaje. Visoke vrednosti magnetnega polja so posledica notranjega vertikalnega razvoda za elektriko v stanovanjskem bloku, ki se nahaja za steno prostora, v katerem so potekale meritve.

Tudi na lokaciji 8, to je primer stanovanjske hiše, kjer v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje, so izmerjene vrednosti popolnoma primerljive z lokacijami v bližini daljnovoda: najvišja 24-urna vrednosti znaša  $0,22 \mu\text{T}$ , medtem ko le te za lokacije v bližini daljnovoda znašajo  $0,20$ ,  $0,25$  ter  $0,06 \mu\text{T}$ . 24-urne povprečne vrednosti magnetnih polj zaradi delovanja električnih naprav v stanovanjski hiši in hišne električne napeljave na lokaciji 8 so torej primerljive s sevalnimi obremenitvami, ki jih na lokaciji 1 povzročajo 60 m oddaljeni 110 kV daljnovod ali na lokaciji 2 povzročajo 35 in 55 m oddaljena 110 kV daljnovoda, 65 m oddaljen 220 kV daljnovod in 105 m oddaljen 400 kV daljnovod.



**S 2: Najvišje 24-urne povprečne vrednosti gostote magnetnega pretoka  $B$  za tri izpostavljenosti:**

- v bližini srednje in visokonapetostnega daljnovoda
- v bližini transformatorske postaje
- v tipičnem bivalnem okolju

## Sklep

Rezultati kažejo, da so vrednosti magnetnega polja najvišje v primerih, ko se v neposredni bližini bivalnega okolja nahaja transformatorska postaja, najsi bo to tik poleg samega prostora ali pod njim.

Prispevki daljnovodov k najvišji 24 urni povprečni vrednosti magnetnega polja so bistveno manjši od prispevkov transformatorskih postaj, razen v primerih, ko so zelo obremenjeni in se nahajamo v njihovi neposredni bližini. Običajno pa njihovi prispevki niso bistveno višji od sevalnih obremenitev, ki jih povzročajo hišne inštalacije ter gospodinjske naprave in električna napeljava.

Sevalne obremenitve zaradi VN daljnovodov, ki so oddaljeni v povprečju več kot 60 m od stanovanj, so povsem primerljive ali celo nižje od sevalnih obremenitev, ki jih v svoji okolici povzročajo hišna inštalacija, gospodinjske naprave ter druge električne in elektronske naprave (Valič *et al.* 2014).

V primeru manjših oddaljenosti je z vidika načela previdnosti ob ugotovljenih povišanih sevalnih obremenitvah smiselno razmisliti o izvedbi ustreznih ukrepov za zmanjšanje magnetnih polj, kot so optimiziranje fazne razporeditve, povečanje višine stebrov, zmanjševanje razdalje med faznimi vodniki, postavitve aktivnih in pasivnih zank, zaslanjanje s prevodnimi in feromagnetnimi materiali.

Za optimizacijo izpostavljenosti magnetnim poljem v bivalnem okolju, katerih dolgotrajne povprečne vrednosti presegajo  $0,4 \mu\text{T}$ , pa bi bilo potrebno bistveno več pozornosti nameniti umeščanju transformatorskih postaj v bivalno okolje.

## Literatura

- Gajšek P, Valič B. Električna in magnetna polja - naprave za distribucijo električne energije, Forum EMS, 2014
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics 99: 818-836, 2010.
- Valič B, Trček T, Gajšek P. Trajne meritve magnetnega polja v bližini 220 in 400 kV daljnovodov v Sloveniji s trenutnimi meritvami električnega polja. Inštitut za neionizirna sevanja, 2014. Dostopno na: [http://www.inis.si/fileadmin/user\\_upload/INIS/publikacije/2014\\_09\\_Porocilo\\_trajne\\_meritve\\_DV.pdf](http://www.inis.si/fileadmin/user_upload/INIS/publikacije/2014_09_Porocilo_trajne_meritve_DV.pdf)
- WHO (2007). Environmental Health Criteria 238: Extremely low frequency fields, WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 978092 41546