

# Elektromagnetna sevanja v okolici transformatorskih postaj in ukrepi za njihovo zmanjševanje

Blaž Valič<sup>1,2</sup>, Peter Gajšek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Genera, Podmilščakova 18, Ljubljana

<sup>2</sup>Inštitut za neionizirna sevanja, Pohorskega bataljona 215, Ljubljana

E-pošta: blaz.valic@inis.si

## Abstract

*Low frequency magnetic fields are classified as possibly carcinogenic according to IARC classification. In the living areas transformer stations could induce high long-term exposures of nearby inhabitants to extremely low frequency magnetic fields. When a reconstruction of such transformer station is planned, it is sensible to use such technical solutions which minimize the magnetic field levels in the areas where people live. By numerical modeling we studied different variants of reconstruction of a typical transformer station (630 kVA, 20/0,4 kV) located in the basement of a resident apartment. Before the numerical calculations we performed detailed temporary and continuous measurements of magnetic flux densities. After the renovation, numerical results and the effectiveness of the used reconstruction solution will be evaluated by the long term measurements.*

## 1 Uvod

Raziskave [1, 2], ki so pokazale, da so povišane 24-urne povprečne vrednosti nizkofrekvenčnega magnetnega polja ( $0,4 \mu\text{T}$  ali več) dejavnik, ki lahko povečuje tveganje za nastanek otroške levkemije, zato je Mednarodna agencija za raziskave raka (IARC) nizkofrekvenčna magnetna polja razvrstila med mogoče kancerogeni dejavnik (razred 2B) [3]. Glede na število izpostavljenih ljudi so pomemben vir nizkofrekvenčnih magnetnih polj transformatorske postaje (TP) nameščene v kletnih prostorih stanovanjskih objektov. Na Finskem [4] so ugotovili, da v kar 70 % stanovanj nad TP povprečna gostota magnetnega pretoka presega  $0,4 \mu\text{T}$ , medtem ko je takšnih stanovanj v višjih nadstropjih le 6,7 %.

Analiza situacije je obsegala podrobne meritve gostote magnetnega pretoka v prostorih TP in v stanovanju nad TP ter numerično analizo variant sanacije. Magnetno polje je mogoče zmanjšati z odmikom sklopov, po katerih tečejo veliki tokovi, ustrezno geometrijo vodnikov, menjavo posameznih sklopov ter z zaslanjanjem s posebnimi materiali z visoko relativno permeabilnostjo ali visoko prevodnostjo. Glede na stroške je ob rekonstrukciji TP smiselno zmanjšanje magnetnega polja doseči z ustreznim odmikom in optimalno geometrijo sklopov TP.

## 2 Materiali in metode

### 2.1 Situacija

V kleti stanovanjskega bloka se nahaja TP. V levem prostoru TP so visokonapetostne (VN) in nizkonapetostne (NN) stikalne omarice, v desnem (na sliki 1) pa transformator (TR). Gre za tipski 630 kVA TR, NN zbiralke so speljane pod stropom.



Slika 1. Levi prostor TP z nameščenim TR.

### 2.2 Meritve in numerični izračuni

Točkovne meritve so bile opravljene s kompletno merilno opremo Wandel & Goltermann EM field analyzer EFA-3, trajne meritve pa z avtomatsko merilno postajo PMM 8055, ki omogoča trajne meritve in sprotni prenos merilnih rezultatov na spletni stražnik.

Magnetno polje se običajno meri na višini 1 m [6], vendar je to ustrezno za meritve v okolju, ne pa za meritve v stanovanjskih objektih. Otrok se v stanovanju pogosto nahaja na višini manj kot meter nad tlemi, kar je redka situacija za odraslega človeka v naravi. Meritve smo zato v stanovanju izvedli na višini 0,2 m nad tlemi.

Izračune smo opravili s programskim paketom Narda EFC-400EP Electric and Magnetic Field Calculation, ki vrednosti električnega in magnetnega polja izračuna s pomočjo metode končnih vodnikov.

### 3 Rezultati

#### 3.1 Rezultati točkovnih meritev

Točkovne meritve gostote magnetnega pretoka so bile izvedene 22. 10. 2008 med 10.30 in 11.30 uro. Rezultati meritev so prikazani v tabelah 1 in 2, merilna mesta v stanovanju pa so prikazana na sliki 2.

Po podatkih podjetja za distribucijo električne energije je znašala obremenjenost NN zbiralk v času meritev  $\approx 100$  A.

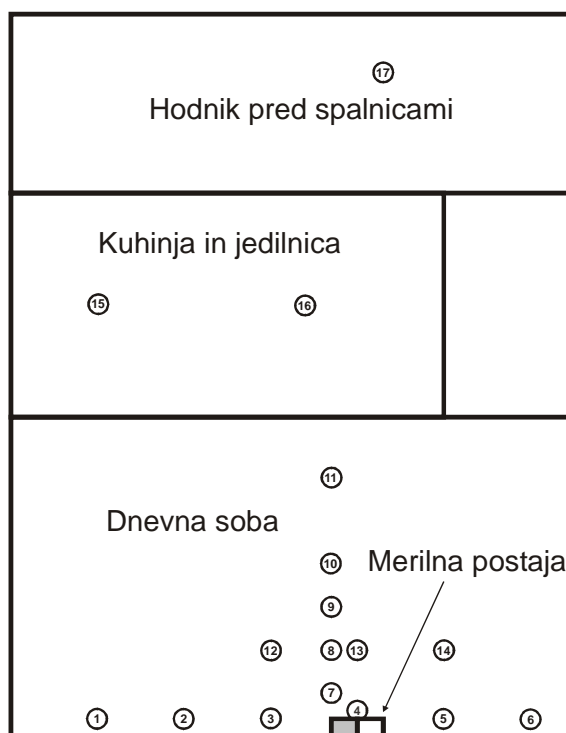
Tabela 1. Izmerjene trenutne vrednosti gostote magnetnega pretoka v prostorih TP

Merilno mesto	oddaljenost [m]	višina [m]	B [ $\mu$ T]
1	0,5 od TR	1,0	8,13
2	0,5 od TR	0,5	7,15
3	0,5 od TR	2,0	8,80
4	0,3 od TR	0,5	9,71
5	0,3 od TR	1,0	27,60
6	0,3 od TR	1,5	47,40
7	0,3 od TR	2,0	34,02
8	0,1 od NN zbiralk	2,0	555
9	0,05 od NN zbiralk	2,0	750
10	0,2 od NN omar	0,5	5,40
11	0,2 od NN omar	1,0	6,21
12	0,2 od NN omar	2,0	10,20
13*	0,2 od NN omar	0,5	$\approx 5$
14*	0,2 od NN omar	1,0	$\approx 10$
15*	0,2 od NN omar	2,0	$\approx 9$

\* Po celi dolžini NN stikalnih omar.

Tabela 2. Izmerjene trenutne vrednosti gostote magnetnega pretoka v stanovanju nad TP

Merilno mesto	oddaljenost [m]	višina [m]	B [ $\mu$ T]
1	0,2 od zidu	0,2	0,57
2	0,2 od zidu	0,2	0,62
3	0,2 od zidu	0,2	2,54
4	0,2 od zidu	0,2	3,50
5	0,2 od zidu	0,2	2,17
6	0,2 od zidu	0,2	0,98
7	0,5 od zidu	0,2	7,10
8	1,0 od zidu	0,2	11,40
9	1,5 od zidu	0,2	6,95
10	2,0 od zidu	0,2	4,72
11	3,0 od zidu	0,2	2,43
12	1,0 od zidu	0,2	7,53
13	1,0 od zidu	0,2	7,75
14	1,0 od zidu	0,2	4,54
15	glej sliko 2	0,2	0,46
16	glej sliko 2	0,2	0,46
17	glej sliko 2	0,2	0,26



Slika 2. Lokacija merilnih mest v stanovanju nad TP.

#### 3.2 Rezultati trajnih meritev

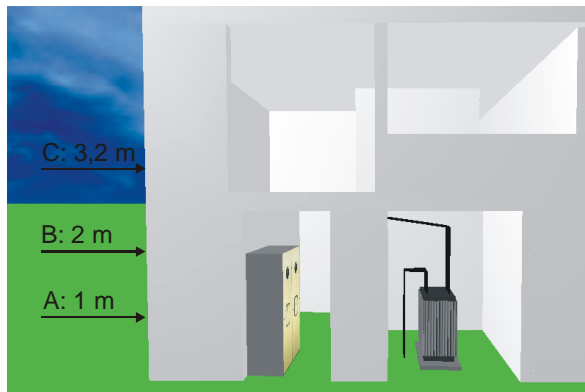
Trajne meritve magnetnih polj so bile izvedene konec 2007 in v začetku 2008. Največja izmerjena vrednost gostote magnetnega pretoka je bila 15,6  $\mu$ T, kar je več od mejne vrednosti za I. območje (10  $\mu$ T). Največja povprečna 24-urna vrednost je znašala 9,4  $\mu$ T in je bila dosežena 22. 1. 2008. Iz slike 3 je razvidno, da obstaja dnevna perioda nihanja, ki ima lokalni maksimum v popoldanskem času. Maksimum je bil dosežen pozno popoldne 2. 1. 2008 ob 19.33 uri, torej ob koncu praznikov, ko se je večina ljudi vrnila domov in je bila zato poraba električne energije največja.



Slika 3: Trajne meritve gostote magnetnega pretoka v stanovanju nad TP0620 za obdobje od 31. 12. 2007 do 5. 1. 2008.

#### 3.3 Numerični izračun sedanjega stanja

Na podlagi posnetka stanja je bil narejen numerični model TP in stanovanja nad TP. Na sliki 4 so predstavljeni horizontalni prerezi na višinah 1, 2 in 3,2 m, kjer smo analizirali različne variante sanacije TP.



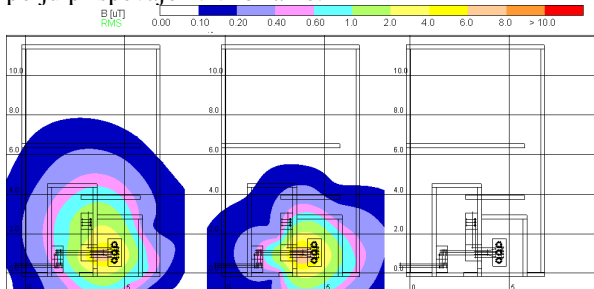
Slika 4. Pogled na model TP in stanovanja nad TP z zunanje strani. S puščicami so označene višine 1 m (A) in 2 m (B) nad tlemi ter 0,2 m nad tlemi v stanovanju (C), kar je 3,2 m nad tlemi, v katerih so analizirane vrednosti gostote magnetnega pretoka.

Z namenom validacije modela z rezultati točkovnih meritev smo najprej opravili izračune gostote magnetnega pretoka za obstoječe stanje ob obremenitvi NN zbiralk s 100 A, kolikor je znašala obremenitev med izvajanjem točkovnih meritev. Na VN strani je bil vedno uporabljen nazivni primarni tok 36,36 A, saj niso poznani vsi tokovi v VN stikalni omari. Primerjava meritev in numeričnih izračunov za sedanje stanje je predstavljena v tabeli 3.

Tabela 3. Primerjava izmerjenih in izračunanih vrednosti gostote magnetnega pretoka v prostorih stanovanja nad TP

Merilno mesto	B izmerjena [ $\mu\text{T}$ ]	B izračunana [ $\mu\text{T}$ ]
1	0,57	0,521
2	0,62	0,899
3	2,54	1,845
4	3,50	2,985
5	2,17	1,416
6	0,98	0,634

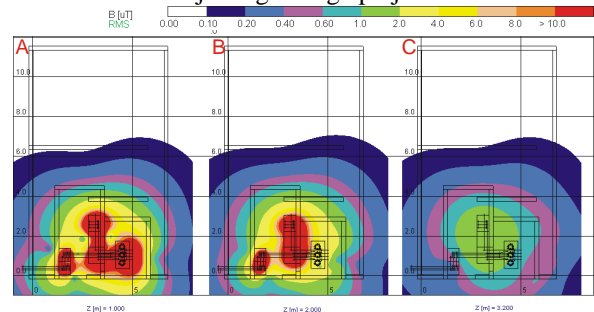
Da bi ugotovili, kateri sklopi največ prispevajo k sevalnim obremenitvam in je njihova sanacija najbolj nujna, so na sliki 5 predstavljeni izračuni v stanovanju nad TP na višini 0,2 m nad tlemi za posamezne sklope TP. Iz slike 5 je razvidno, da TR ne predstavlja pomembnega vira, največ pa k celotnemu magnetnemu polju prispevajo NN zbiralke.



Slika 5. Rezultati numeričnega izračuna v stanovanju nad TP na višini 0,2 m nad tlemi za sedanje stanje ob upoštevanju obremenjenosti 100 A v NN zbiralkah za NN in VN stikalne omare in VN ter NN zbiralke brez TR (levo), samo za NN zbiralke (sredina) ter samo TR (desno).

### 3.4 1. varianta sanacije

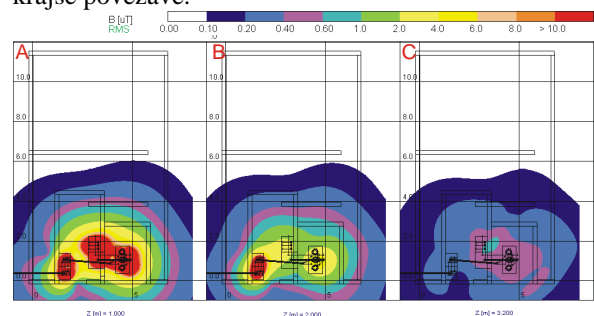
Ker k skupni vrednosti magnetnega polja največ prispevajo NN zbiralke, je predlog 1. variante sanacije obsegal ohranitev obstoječega TR in stikalnih omaric, NN zbiralke pa so se namesto pod stropom speljejo v tleh 0,5 m pod nivojem tal. S tem se bistveno poveča oddaljenost med NN zbiralkami in bivalnimi prostori, kar vodi v znižanja magnetnega polja.



Slika 6. Rezultati numeričnega izračuna v prostorih TP v horizontalnih prerezih na višini 1 m (A) in 2 m (B) ter v stanovanju nad TP na višini 0,2 m nad tlemi (C) za 1. variantno sanacije ob upoštevanju obremenjenosti 100 A na sekundarju.

### 3.5 2. varianta sanacije

Kakor je razvidno iz slike 6 C, po spremembi izvedbe NN zbiralk največje sevalne obremenitve v stanovanju povzročajo NN stikalne omare. Zato je predlog 2. variante obsegal še zamenjavo le-teh. Po sanaciji je bilo predpostavljeno, da dolžina horizontalnega razvoda v NN omaricah znaša polovico predhodne vrednosti (0,8 m); razdalja med središči vodnikov horizontalnega razvoda znaša 0,1 m (prej 0,12 m) ter da se vodniki nahajajo na polovici predhodne višine (0,8 m - 1 m). Poleg tega smo v 2. varianti sanacije predvideli še optimalno izvedbo VN in NN zbiralk: trikotna razporeditev, razdalja med središči kablov 0,06 m, čim krajše povezave.

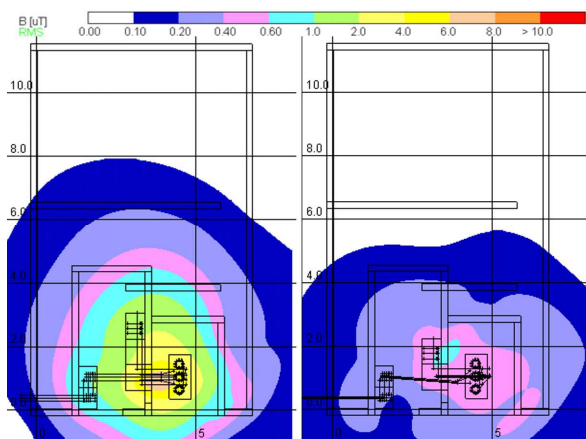


Slika 7. Rezultati numeričnega izračuna v prostorih TP v horizontalnih prerezih na višini 1 m (A) in 2 m (B) ter v stanovanju nad TP na višini 0,2 m nad tlemi (C) za 2. variantno sanacije ob upoštevanju obremenjenosti 100 A na sekundarju.

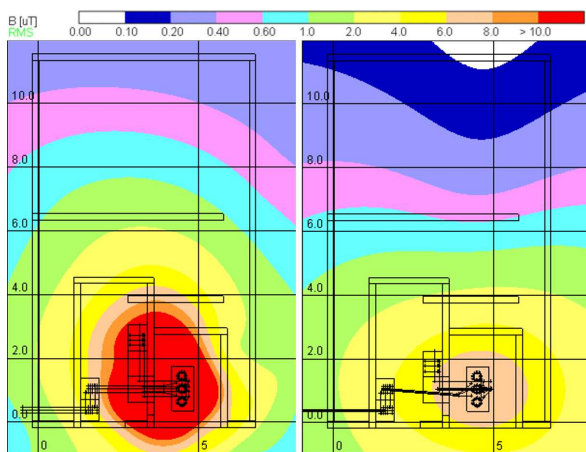
Iz rezultatov na slikah 6 in 7 in tabele 4 je razvidno, da so sevalne obremenitve po sanaciji približno 10 krat manjše kot pred sanacijo in ne presegajo mejnih vrednosti uredbe za I. območje. Grafično so rezultati prikazani na slikah 8 in 9.

Tabela 4. Primerjava največjih vrednosti gostote magnetnega pretoka za različne variante sanacije TP

Obremenitev na sekundarju	Pred sanacijo [ $\mu\text{T}$ ]	1. varianta sanacije [ $\mu\text{T}$ ]	2. varianta sanacije [ $\mu\text{T}$ ]
100 A	7,5	2,0	0,65
200 A	15	4,0	1,5
909 A	70	10	8



Slika 8: Rezultati numeričnega izračuna v stanovanju nad TP na višini 0,2 m nad tlemi za sedanje stanje (levo) ter za 2. variantno sanacijo (desno) ob upoštevanju obremenjenosti 100 A na sekundarju.



Slika 9: Rezultati numeričnega izračuna v stanovanju nad TP na višini 0,2 m nad tlemi za sedanje stanje (levo) ter za 2. variantno sanacijo (desno) ob upoštevanju nazivne obremenjenosti 909,3 A na sekundarju.

## 4 Razprava in zaključek

S pomočjo numeričnih izračunov so bile analizirane različne variante sanacije TP, nameščene v kletnih prostorih stanovanjskega bloka. Tako glede na morebitno povečano tveganje za pojav otroške levkemije kot tudi glede na določila uredbe za I. območje TP v obstoječem stanju povzročajo visoke sevalne obremenitve na bivalnih območjih. Kakor je

pokazala analiza variant sanacije, je mogoče ob rekonstrukciji TP že z razmeroma majhnimi dodatnimi stroški zmanjšati sevalne obremenitve za faktor 10.

Nadaljnje zniževanje magnetnega polja v prostorih stanovanja nad TP bi zahtevalo bistveno obsežnejše in dražje posege. Glede na povezane stroške bi bila naslednja možnost zamenjava VN stikalnih omaric, kar pa ne bi bistveno spremenilo magnetnega polja v stanovanju nad TP. Za bistveno znižanje bi bilo potrebno izvesti obsežnejši poseg. Prav možnost je zamenjava TR s takšnim, ki povzroča manjše sevalne obremenitve. Potrebno bi bilo vzpostaviti sodelovanje s proizvajalci TR in preučiti možne rešitve. Druga možnost je uporaba posebnih zaščitnih materialov, ki se namestijo na strop in stene TP. Zaščitni materiali so dragi, a ob pravilni izvedbi zmanjšajo gostoto magnetnega pretoka za več velikostnih razredov.

Pri izvedbi sanacije je potrebno zagotoviti, da so fazni vodniki VN in NN zbiralk položeni kar se le da tesno skupaj in sicer v trikotni razporeditvi. Razdalja med vodniki bistveno vpliva na magnetno polje, ki ga zbiralke povzročajo. Položaj ničnega vodnika ni tako pomemben, saj po njem običajno tečejo veliko nižji tokovi kot v faznih vodnikih. Pomembno je, da se vodniki, po katerih tečejo veliki tokovi, nameščajo kar se da nizko oziroma stran od območij, namenjenih bivanju. Pri nabavi novih stikalnih omar je potrebno izbrati takšne, ki povzročajo manjše sevalne obremenitve. To proizvajalci dosežejo z ustrežno geometrijo vodnikov znotraj stikalnih omar, nizko višino stikalnih omar ter uporabo zaščitnih materialov. Prav tako je potrebno smotno načrtovati razporeditev stikalnih omar, da so dolžine povezav v stikalnih omarah majhne, predvsem so pomembne tiste povezave, po katerih tečejo veliki tokovi.

## Literatura

- [1] A. Ahlbom, N. Day, M. Feychting, E. Roman, J. Skinner, J. Dockerty, M. Linet, M. McBride, J. Michaelis, JH. Olsen, T. Tynes, PK. Verkasalo, "A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia," *Br J Cancer* 83:692–698, 2000.
- [2] S. Greenland, AR. Sheppard, WT. Kaune, C. Poole, MA. Kelsh, "A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia," *Childhood Leukemia-EMF Study Group. Epidemiology* 11: 624–634, 2000.
- [3] IARC, "Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields," *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 80:1–395. Lyon, France, 2002.
- [4] K. Ilonen, A. Markkanen, G. Mezei, J. Juutilainen, "IndoorTransformer Stations as Predictors of Residential ELF Magnetic Field Exposure", *Bioelectromagnetics*: 29: 213-218, 2008.
- [5] "Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju," *UL RS 70/1996*.
- [6] "Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu za vire elektromagnetnega sevanja ter o pogojih za njegov izvajanje," *UL RS 70/1996*.