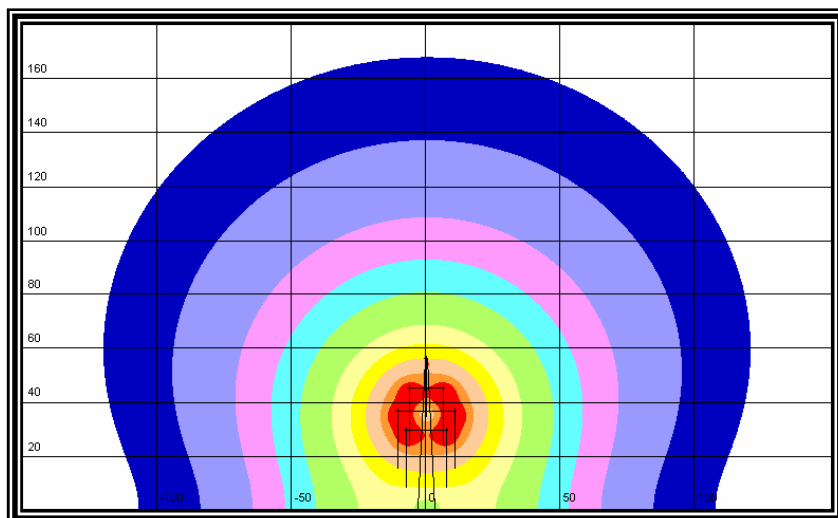


IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA ELEKTRIČNIM IN MAGNETNIM POLJEM PO REKONSTRUKCIJI 220 IN 400 kV DALJNOVODOV

Poročilo o študiji



Junij 2014



IZPOSTAVLJENOST PREBIVALSTVA ELEKTRILČNIM IN MAGENTNIM POLJEM PO REKONSTRUKCIJI
220 IN 400 kV DALJNOVODOV

Poročilo o študiji

Avtorji: Blaž Valič, Tomaž Trček in Peter Gajšek

Izdajatelj: Inštitut za neionizirna sevanj, Pohorskega bataljona 215, 1000 Ljubljana

Junij 2014

Študija je sofinancirana s strani Uprave za varstvo pred sevanji, Ministrstvo za zdravje RS.



Kazalo

Kazalo	3
Povzetek.....	4
1 Električna in magnetna polja	5
2 Elektroenergetsko prenosno omrežje v Sloveniji	6
3 Mejne vrednosti in zakonodaja	9
4 Meritve NF EMS	10
5 Izmerjene vrednosti gostote magnetnega pretoka	11
6 Numerični izračuni sevalnih obremenitev za različne tipe 220 in 400 kV daljnovodov.....	19
7 Vpliv rekonstrukcije 220 kV daljnovoda v 400 kV daljnovod	23
8 Zdravstveno tveganje.....	32
9 Ukrepi.....	35
10 Zaključek	44
11 Literatura.....	45





Povzetek

V Sloveniji je v bližnji prihodnosti predvidenih več novih visokonapetostnih daljnovodov ali rekonstrukcij obstoječih z namenom povečanja njihovih prenosnih zmogljivosti. Da bi ocenili, koliko prispevajo posamezni tipi daljnovodov k skupni izpostavljenosti prebivalstva NF EMS, smo izvedli meritve sevalnih obremenitev na treh domovih, ki se nahajajo znotraj pasu 150 m od 220 in 400 kV daljnovodov, ter v treh domovih, kjer v bližini ni prisotnih daljnovodov ali transformatorskih postaj, torej zunanjih virov magnetnega polja. Poleg meritev so bili izvedeni tudi numerični izračuni sevalnih obremenitev za različne tipe daljnovodov, ki se uporabljajo v Sloveniji.

Pregled rezultatov kaže, da zgolj bližina visokonapetostnega daljnovoda ne pomeni nujno tudi visokih sevalnih obremenitev v stanovanjih. Na treh od šestih izmerjenih lokacijah so bile najvišje 24-urne povprečne vrednosti gostote magnetnega pretoka na spodnjem merilnem območju inštrumenta, to je 0,05 μT . Od teh treh lokacij sta bili dve v bližini daljnovoda.

Poleg prispevka zunanjih virov magnetnih polja (daljnovodi, transformatorske postaje) so torej pomembni tudi viri, ki se nahajajo v naši neposredni bližini, še posebej takšni, ki lahko povišane sevalne obremenitve trajno povzročajo.

Rekonstrukcija enosistemskega 220 kV daljnovoda v dvosistemski 400 kV daljnovod poveča vplivno območje v bližini daljnovoda. Vplivno območje tako za 220 kV kot tudi za 400 kV daljnovod določa kriterij za električno polje, saj le to na večjih oddaljenostih od daljnovoda preseže mejne vrednosti za I. območje kot magnetno polje. Ob tem je potrebno poudariti, da je v Sloveniji veljavna mejna vrednost za I. območje za električno polje 500 V/m, kar je majhna vrednost. Poleg tega električno polje zaradi slabljenja v objektih ni prisotno. Vplivno območje se v povprečju ob rekonstrukciji poveča za 50 odstotkov, v najneugodnejših razmerah, kjer je vplivno območje največje, znaša do 36 m. Na višini 1 m nad tlemi to območje nikjer ne presega 33 m.

Pri ocenjevanju povečanja magnetnega polja zaradi rekonstrukcije je zelo pomembno upoštevati tudi obremenitve daljnovoda. V primeru, da sta enosistemski 220 kV daljnovod pred rekonstrukcijo kot 400 kV daljnovod po rekonstrukciji enako obremenjena, se vrednosti magnetnega polja v celotnem območju daljnovoda z rekonstrukcijo celo zmanjšajo za več kot 50 odstotkov.

Ključne besede:

daljnovodi, EMS, izpostavljenost, sevanje, rekonstrukcija



1 Električna in magnetna polja

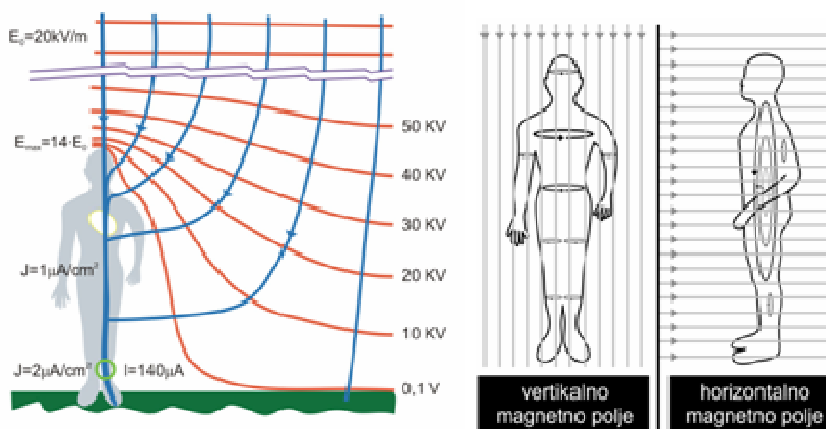
Nizkofrekvenčna električna in magnetna polja (frekvence nižje od 100 kHz) so posledica izmeničnega toka in napetosti, ki se uporabljata pri proizvodnji, prenosu in porabi električne energije. Pomembni viri so nizkofrekvenčnih polj so daljnovodi, električno ožičenje, generatorji, ki se uporabljajo v elektrarnah, transformatorske postaje, elektromotorji, gospodinjske naprave in številne naprave v industriji (npr. naprave za varjenje, indukcijske peči in električnih vlak).

Polja nizkih frekvenc imajo električne in magnetne komponente:

- Električno polje nastane zaradi privlačnosti in odbijanja električnih nabojev (vzrok električnega toka). Merimo ga v voltih na meter (V/m).
- Magnetno polje nastane kot posledica gibanja nabojev (električni tok). Njegovo jakost (intenzivnost) običajno merimo v enoti tesla (T). Generirano električno in magnetno polje imata enako frekvenco kot napetost in tok, ki ga povzročata, to je 50 Hz ali 60 Hz (predvsem v ZDA).

Električna polja so najmočnejša v neposredni bližini visokonapetostnih daljnovodov (do 5 kV/m in v nekaterih primerih tudi več), magnetna polja dosegajo vrednosti nekaj 1000 μT v neposredni bližini gospodinjskih naprav (npr. sušilnik za lase).

Jakost električnega in magnetnega polja se z oddaljenostjo od vira zmanjšuje, obenem pa na širjenje električnega in magnetnega polja vplivajo tudi okoliški objekti. Pravzaprav na širjenje magnetnega polja večina snovi ne vpliva in se takšno polje nemoteno širi skozi večino materialov, tudi skozi človeka. Po drugi strani pa vsi prevodni objekti zelo vplivajo na širjenje električnega polja. Že slabo električno prevodni materiali, kot je les, zelo spremenijo porazdelitev električnega polja.



S 1: Človek v električnem in magnetnem polju. Zunanje električno polje povzroči prerazporejanje nabojev na površini telesa. Zaradi tega nastane električno polje znotraj telesa, ki povzroči električni tok, ki teče po telesu proti tlu (levo). Zunanje magnetno polje inducira v telesu vrtilne tokove, katerih smer je odvisna od položaja telesa na smer magnetnega polja (desno).

Ker večina materialov tako bistveno vpliva na širjenje električnega polja, je to polje v objektih zaradi zunanjih virov, kot so daljnovodi, zanemarljivo. Že običajne, tudi lesene ali opečnate stene, namreč električno polje slabijo in ga zato znotraj objekta praktično ni.



2 Elektroenergetsko prenosno omrežje v Sloveniji

Električna energija je postala nujen sestavni del sodobne družbe. Da pa se lahko uporabniki oskrbujejo z električno energijo, je nujno potreben elektroenergetski sistem, ki je sestavljen iz različnih naprav in objektov: elektrarne (hidro, termo, jedrske, vetrne, električne...), daljnovodi (DV), kablovodi, razdelilno transformatorske postaje (RTP) in transformatorske postaje (TP). Zaradi stalnega naraščanja porabe električne energije ter vse večje odvisnosti od nje je v prostor potrebno umeščati nove naprave in objekte, ali prenoviti oziroma rekonstruirati obstoječe, da se zagotovi večja proizvodnja električne energije, zmanjšajo vplivi proizvodnje električne energije na okolje (uporaba obnovljivih virov električne energije) ter zagotovi nemoteno oskrbo z električno energijo. Vse elektroenergetske naprave in objekti pa so tudi vir nizkofrekvenčnih (NF) elektromagnetnih sevanj (EMS).

A viri NF EMS so prisotni tudi v naših domovih. To so različni električni aparati in gospodinjske naprave, ki jih imamo doma: pralni in pomivalni stroj, sesalnik, sušilnik za lase, brivnik, ročni mešalnik, hišna električna napeljava...

Ob umeščanju novih virov NF EMS v prostor so vedno prisotna vprašanja o morebitnih škodljivih vplivih EMS na zdravje s strani okoliških prebivalcev. Od vseh elektroenergetskih naprav in objektov so v ospredju daljnovodi. Le ti so namreč tako imenovani linijski objekti, torej objekti, ki so dolgi tudi več 10 ali celo 100 km, zaradi česar v njihovi bližini biva več ljudi kot v bližini drugih relevantnih virov magnetnih polj, npr. razdelilne transformatorske postaje.

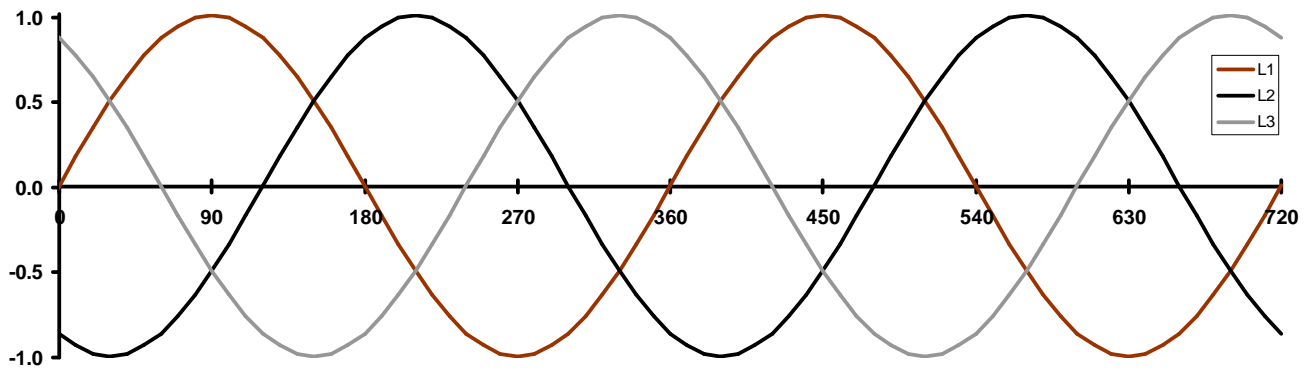
V Sloveniji je v bližnji prihodnosti predvidenih več novih visokonapetostnih daljnovodov ali rekonstrukcij obstoječih z namenom povečanja njihovih prenosnih zmogljivosti. Da bi ocenili, koliko prispevajo posamezni tipi daljnovodov k skupni izpostavljenosti prebivalstva NF EMS, smo izvedli meritve sevalnih obremenitev na treh domovih, ki se nahajajo znotraj pasu 150 m od 220 in 400 kV daljnovodov, ter v treh domovih, kjer v bližini ni prisotnih daljnovodov ali transformatorskih postaj, torej zunanjih virov magnetnega polja. Poleg meritev so bili izvedeni tudi numerični izračuni sevalnih obremenitev za različne tipe daljnovodov, ki se uporabljajo v Sloveniji.

2.1 Tipi daljnovodov

Za prenos električne energije se v Sloveniji uporabljajo različni tipi daljnovodov. Razlikujejo se tako po nazivni napetosti, ki je lahko 220 ali 400 kV, kot tudi po številu nameščenih sistemov, in razporeditvi vodnikov na stebrih daljnovoda. 110 kV daljnovodi, ki po številu in dolžini presegajo 220 in 400 kV daljnovode v Sloveniji, se ne uporabljajo za prenos električne energije, ampak za njeno distribucijo – dobavo do končnih uporabnikov. V tej študiji 110 kV daljnovodi niso obravnavani.

Glede na število sistemov poznamo enosistemske in dvosistemske daljnovode. Pri enosistemskih daljnovodih je na stebru nameščen en trifazni sistem, ki ga sestavljajo trije vodniki, ki so pod napetostjo in po katerih teče električni tok. Vsi trije vodniki so priključeni na enako visoko napetost in po njih teče enako velik tok, razlika pa je v fazi valovanja v posameznem vodniku. V Sloveniji se uporablja izmenični tok 50 Hz, kar pomeni, da v vodnikih tok in napetost nihata sinusno in 50 krat v sekundi zamenjata svojo smer. V vseh treh vodnikih, ki skupaj tvorijo en trifazni sistem, pa se tok in napetost razlikujejo v tem, da so med seboj časovno zamaknjene za 120° (S 2). Ko je tok ali napetost v enem vodniku doseže svojo najvišjo vrednost (npr. pri 450°), je v preostalih dveh negativen in po velikosti zavzame polovično vrednost. Torej je vsota vseh treh tokov v tem trenutku enaka 0. To je pomembna ugotovitev, saj za trifazni sistem za vsak trenutek velja, da je vsota vseh tokov v vodnikih enaka 0.





S 2: Potek toka v vseh treh vodnikih enega trifaznega sistema. Z L1, L2 in L3 so označene posamezne faze.

Če je pri enosistemskem daljnovodu na enem stebru nameščen en trifazni sistem, pa sta pri dvosistemskem daljnovodu nameščena dva trifazna sistema, zato dvosistemski daljnovod omogoča dvakrat večji prenos električne energije. Poleg vodnikov, ki so del trifaznega sistema, so na daljnovodnih stebrih nameščeni tudi zaščitni vodniki, običajno eden ali dva, ki so namenjeni odvajanju strele.

Daljnovodi se razen po nazivni napetosti in po številu nameščenih sistemov razlikujejo tudi po razporeditvi vodnikov. Za enosistemske 220 in 400 kV daljnovode se uporabljajo stebri tipa smreka in Y, za dvosistemske pa tipa sod.



S 3: Najpogostejša tipa stebrov enosistemskega daljnovoda. Levo smreka, desno Y.

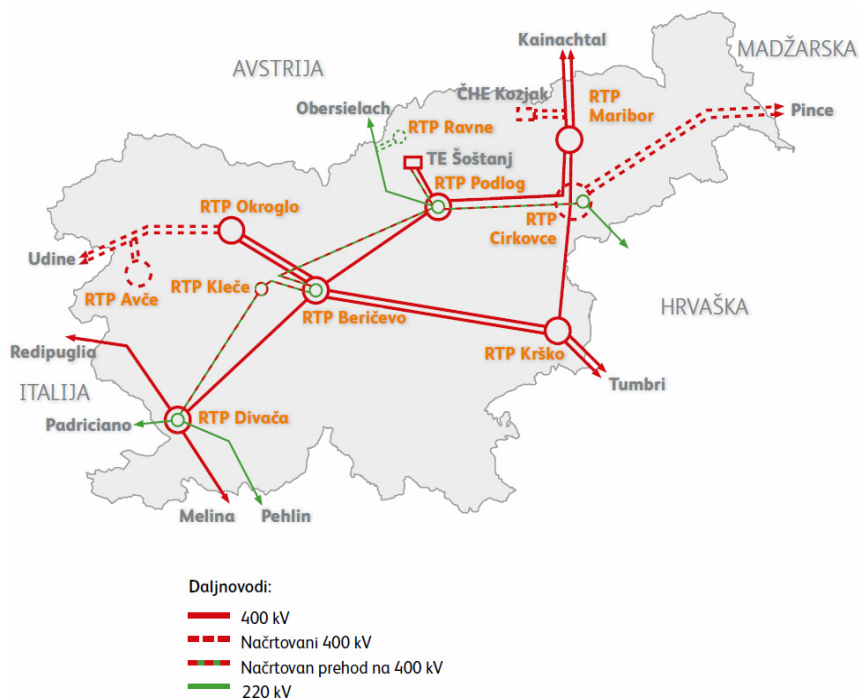




S 4: Najpogostejši tip stebrov dvosistemskega daljnovođa: sod.

2.2 Prenosno omrežje

Prenosno omrežje v Sloveniji sestavljajo 220 in 400 kV daljnovodi, ki potekajo v smeri vzhod-zahod in sever-jug. Kakor je razvidno iz sheme prenosnega omrežja (slika S 5), sta v Sloveniji načrtovana dva nova dvosistemska 400 kV daljnovoda Cirkovce – Pince in Okroglo – Udine. Predvidena pa je tudi rekonstrukcija obstoječih 220 kV daljnovodov Beričevo – Divača, Beričevo – Podlog, Podlog – Šoštanj, in Podlog–Cirkovce na 400 kV napetost. Napetostni nivo 220 kV se namreč postopoma opušča in načrtovano je, da bo ostal v rabi le za čezmejne povezave.



S 5: Shema prenosnega omrežja (Vir: ELES. 90 let prenosnih poti. ELES, 2014).

3 Mejne vrednosti in zakonodaja

V Sloveniji od leta 1996 velja Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [3]. Uredba določa mejne vrednosti, ki so ločeno določene za I. območje varstva pred sevanji ter za II. območje varstva pred sevanji. V I. območje spadajo tista območja, ki so namenjena bivanju oziroma kjer se prebivalstvo zadržuje dalj časa (bivalna območja, šole, zdravstvene ustanove...), zato tu veljajo strožje mejne vrednosti. II. območje pa predstavlja ostala območja (gozdovi, njive, transportna in industrijska območja...).

Uredba uvaja mejne vrednosti, ki so skladne s smernicami Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) iz leta 1998 [1] ter posledično s priporočili Evropskega sveta [4]. Temeljijo na znanstveno dokazanih vplivih na ljudi, upoštevajo pa kar 50-kratni varnostni faktor za izpostavljenost prebivalstva. Uredba uvaja še poseben dodatni varnostni faktor, ki za I. območju varstva pred sevanji znaša 10. S tem se Slovenija uvršča med države z najstrožjimi zakonsko določenimi mejnimi vrednostmi v EU.

Kasneje, v letu 2010, je mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji mejne vrednosti na podlagi analize vseh znanstvenih raziskav dopolnila in jih za nizke frekvence celo povišala [2]. Mejne vrednosti so za NF EMS podana v T 1 tako za električno poljsko jakost kot tudi za gostoto magnetnega pretoka.

T 1: Mejne vrednosti za električno poljsko jakost in gostoto magnetnega pretoka glede na Uredbo o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju ter smernice ICNIRP iz 2010 za NF EMS.

	mejne vrednosti za	
	električno poljsko jakost E [V/m]	gostoto magnetnega pretoka B [μ T]
Uredba I. območje	500	10
Uredba II. območje	10000	100
Priporočila Evropskega sveta	5000	100
Smernice ICNIRP 2010	5000	200

V Sloveniji tako veljajo za I. območje 10-krat nižje mejne vrednosti za električno poljsko jakost in 20-krat nižje za gostoto magnetnega pretoka od smernic ICNIRP (2010), za II. območje pa za gostoto magnetnega pretoka velja 2-krat nižja vrednost, za električno poljsko jakost pa velja 2-krat višja vrednost od smernic ICNIRP.

3.1 Vrednotenje sevalnih obremenitev

Izmerjene vrednosti se za lažjo primerjavo z določili uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [3] pretvori v odstotke glede na dovoljeno mejno vrednost. Pretvorba se izvrši s pomočjo naslednjega obrazca:

$$E 1 \quad SI = \frac{(B, E)_{izmerjena}}{(B, E)_{mejna}} \times 100 \% ,$$

kjer je:

- SI - indeks izpostavljenosti podan v procentih,
- $B, E_{izmerjena}$ - izmerjena vrednost in
- B, E_{mejna} - mejna vrednost.



4 Meritve NF EMS

Meritve NF EMS so bile osredotočene na določitev časovnih potekov gostote magnetnega pretoka v stanovanjih, ki se nahajajo v neposredni bližini 220 in 400 kV daljnovodov ter primerjava izmerjenih vrednosti z vrednostmi, izmerjenimi v stanovanjih, kjer v bližini niso prisotni viri NF EMS. Na vsaki lokaciji so meritve potekale najmanj en dan, tako da so se pridobili značilni dnevni poteki sevalnih obremenitev.

T 2: Lokacije, kjer so bile opravljene trajne meritve gostote magnetnega pretoka.

Zap. št.	Daljnovodi ali transformatorske postaje v bližini	Oddaljenost od daljnovoda*	Tip objekta
1	niso prisotni	-	vrstna hiša
2	niso prisotni	-	večstanovanjska hiša
3	niso prisotni	-	stanovanje v stan. bloku
4	enosistemski 400 kV Beričevo-Divača	60 m	stanovanjska hiša
5	dvosistemski 400 kV Beričevo-Krško I, II	100 m	stanovanjska hiša
6	enosistemski 220 kV Kleče-Divača dvosistemski 110 kV Kleče-Okroglo II, Kleče-Medvode dvosistemski 110 kV Kleče-Okroglo I, Kleče-Škofja Loka dvosistemski 20 kV Kleče, ENP Vižmarje	150 m 50 m 40 m 30 m	stanovanje v stan. bloku

* Oddaljenost se meri od srednje osi daljnovoda.

4.1 Merilna oprema

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 μT – 300 μT ,
- 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.

4.2 Postopek meritev

Na vsaki od izbranih lokacij je bil merilnik nameščen 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 μT , ponastavljene na 0,05 μT . Določene so bile povprečne vrednosti, najvišje 24 urne povprečne vrednosti in odstotek časa, ko mejne vrednosti presegajo prag 0,4; 1; 2; 3; 4 ter 5 μT .

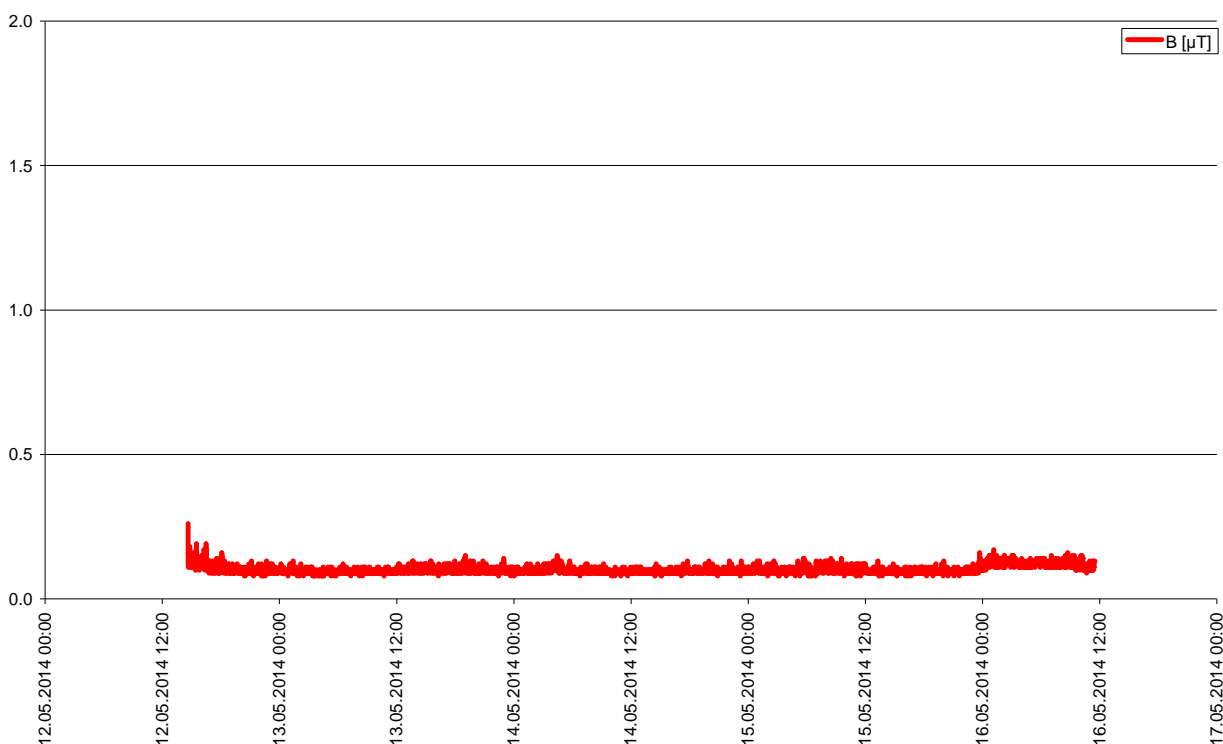
5 Izmerjene vrednosti gostote magnetnega pretoka

5.1 Lokacija 1: vrstna hiša, v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje

Na tej lokaciji so se meritve izvajale med 12. in 16. 5. 2014. Merilnik je bil nameščen v spalnici v drugem nadstropju hiše.

T 3: Podatki o meritvah na lokaciji 1.

Število vseh meritev:	5569
Interval vzorčenja [s]:	60
Celoten čas meritev [ur]:	93
Največja vrednost B [μT]:	0.26
Povprečna vrednost B [μT]:	0.10
Najvišja 24 urna povprečna vrednost B [μT]:	0.11
% časa, ko je $B > 0,4 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 1 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 2 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 3 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 4 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 5 \mu\text{T}$	0.00



S 6: Graf poteka gostote magnetnega pretoka B na lokaciji 1.

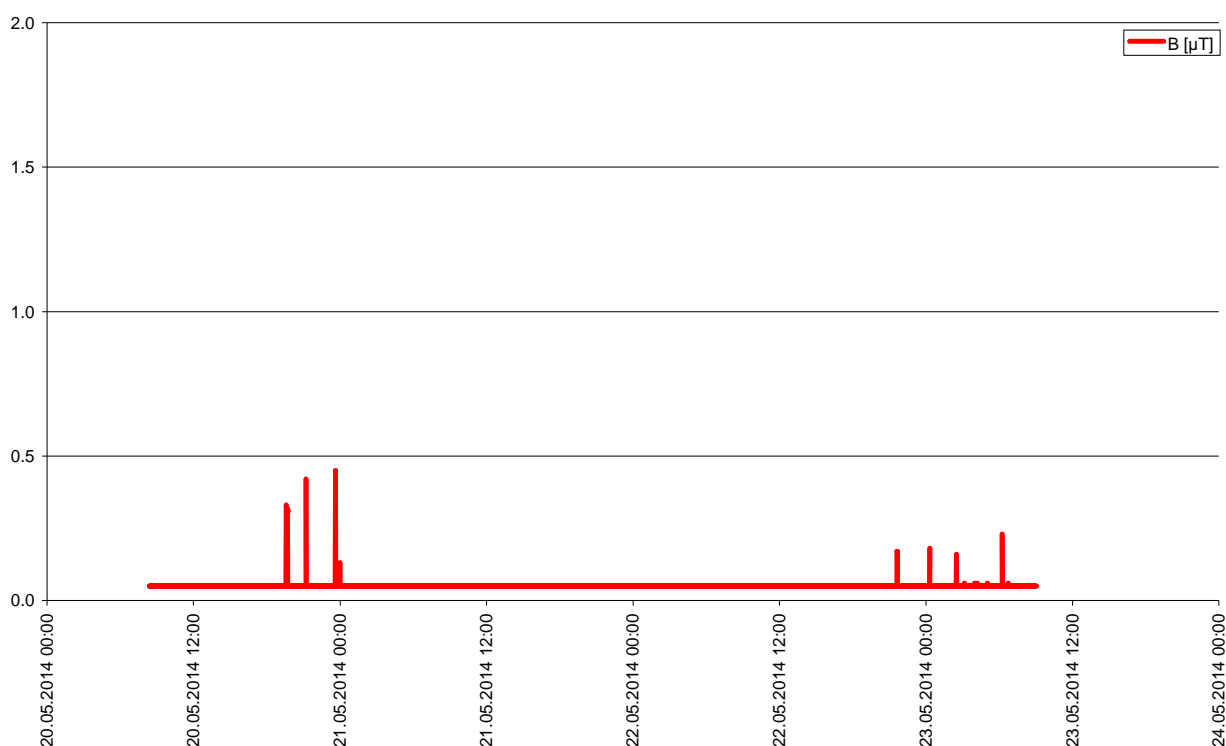
Razvidno je, da so sevalne obremenitve na lokaciji 1 dokaj enakomerne in znašajo približno $0,1 \mu\text{T}$.

5.2 Lokacija 2: večstanovanjska hiša, v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje

Na drugi lokaciji so se meritve izvajale med 20. in 23. 5. 2014. Merilnik je bil nameščen v dnevni sobi v drugem nadstropju hiše.

T 4: Podatki o meritvah na lokaciji 2.

Število vseh meritev:	4359
Interval vzorčenja [s]:	60
Celoten čas meritev [ur]:	73
Največja vrednost B [μT]:	0.45
Povprečna vrednost B [μT]:	0.05
Najvišja 24 urna povprečna vrednost B [μT]:	0.05
% časa, ko je $B > 0,4 \mu\text{T}$	0.05
% časa, ko je $B > 1 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 2 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 3 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 4 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 5 \mu\text{T}$	0.00



S 7: Graf poteka gostote magnetnega pretoka B na lokaciji 2.

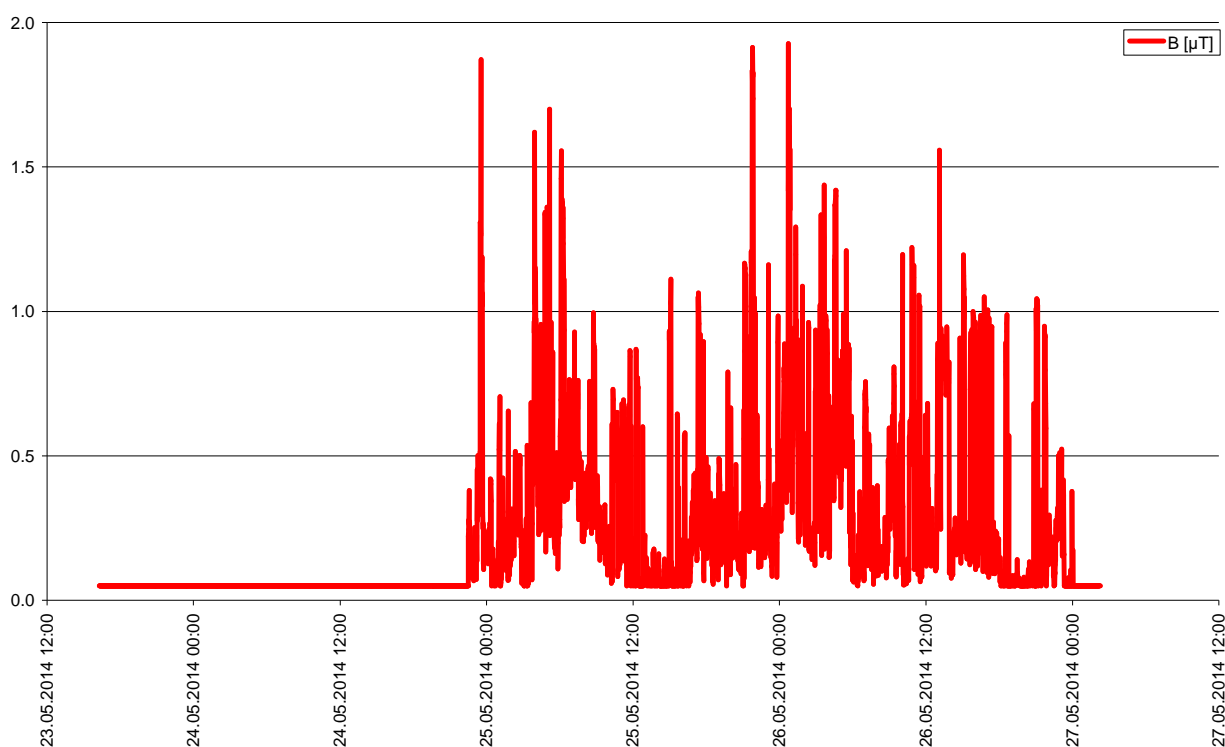
Razvidno je, da so sevalne obremenitve na lokaciji 2 večinoma $0,05 \mu\text{T}$ ali manj, nekaj krajših višjih vrednosti pa je povezanih z namestitvijo merilnika v neposredno bližino kuhinjske nape. Povprečne vrednosti znašajo $0,05 \mu\text{T}$.

5.3 Lokacija 3: stanovanje v stanovanjskem bloku, v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje

Na tretji lokaciji so se meritve izvajale med 23. in 27. 5. 2014. Merilnik je bil nameščen v spalnici.

T 5: Podatki o meritvah na lokaciji 3.

Število vseh meritev:	4917
Interval vzorčenja [s]:	60
Celoten čas meritev [ur]:	82
Največja vrednost B [μT]:	1.93
Povprečna vrednost B [μT]:	0.23
Najvišja 24 urna povprečna vrednost B [μT]:	0.41
% časa, ko je B > 0,4 μT	18.91
% časa, ko je B > 1 μT	2.42
% časa, ko je B > 2 μT	0.00
% časa, ko je B > 3 μT	0.00
% časa, ko je B > 4 μT	0.00
% časa, ko je B > 5 μT	0.00



S 8: Graf poteka gostote magnetnega pretoka B na lokaciji 3.

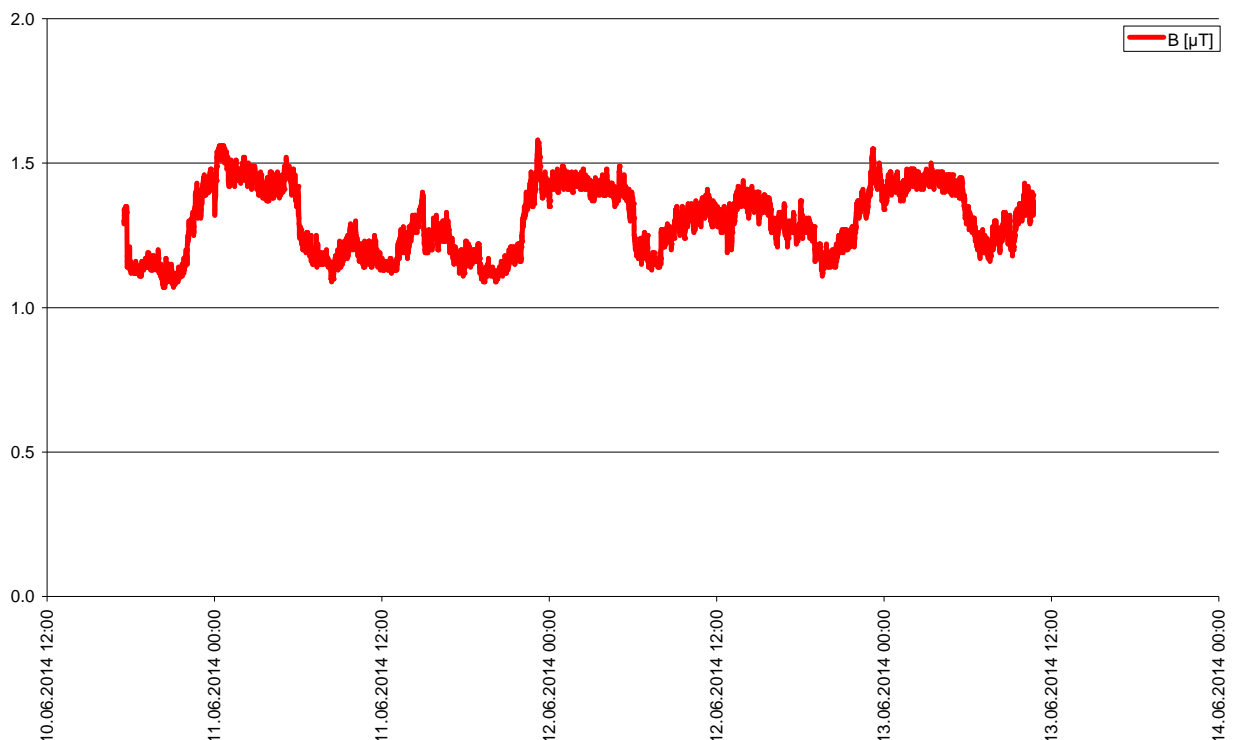
Razvidno je, da so se sevalne obremenitve na lokaciji 3 med izvajanjem meritev spremenile. V prvem obdobju, ko so izmerjene vrednosti ves čas 0,05 μT ali manj, je bil merilnik nameščen na enem delu spalnice, potem pa na drugem delu spalnice ob steni, za katero se nahaja **inštalacijski jašek**. V tem obdobju so sevalne obremenitve znatno višje, saj znaša najvišja 24 urna povprečna vrednost 0,41 μT .

5.4 Lokacija 4: stanovanjska hiša, oddaljenost 60 m od enosistemskega 400 kV daljnovođa Beričevo-Divača

Na četrti lokaciji so se meritve izvajale med 10. in 13. 6. 2014. Merilnik je bil nameščen v otroški sobi v drugem nadstropju hiše.

T 6: Podatki o meritvah na lokaciji 4.

Število vseh meritev:	7827
Interval vzorčenja [s]:	30
Celoten čas meritev [ur]:	65
Največja vrednost B [μT]:	1.58
Povprečna vrednost B [μT]:	1.30
Najvišja 24 urna povprečna vrednost B [μT]:	1.33
% časa, ko je $B > 0,4 \mu\text{T}$	100.00
% časa, ko je $B > 1 \mu\text{T}$	100.00
% časa, ko je $B > 2 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 3 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 4 \mu\text{T}$	0.00
% časa, ko je $B > 5 \mu\text{T}$	0.00



S 9: Graf poteka gostote magnetnega pretoka B na lokaciji 4.

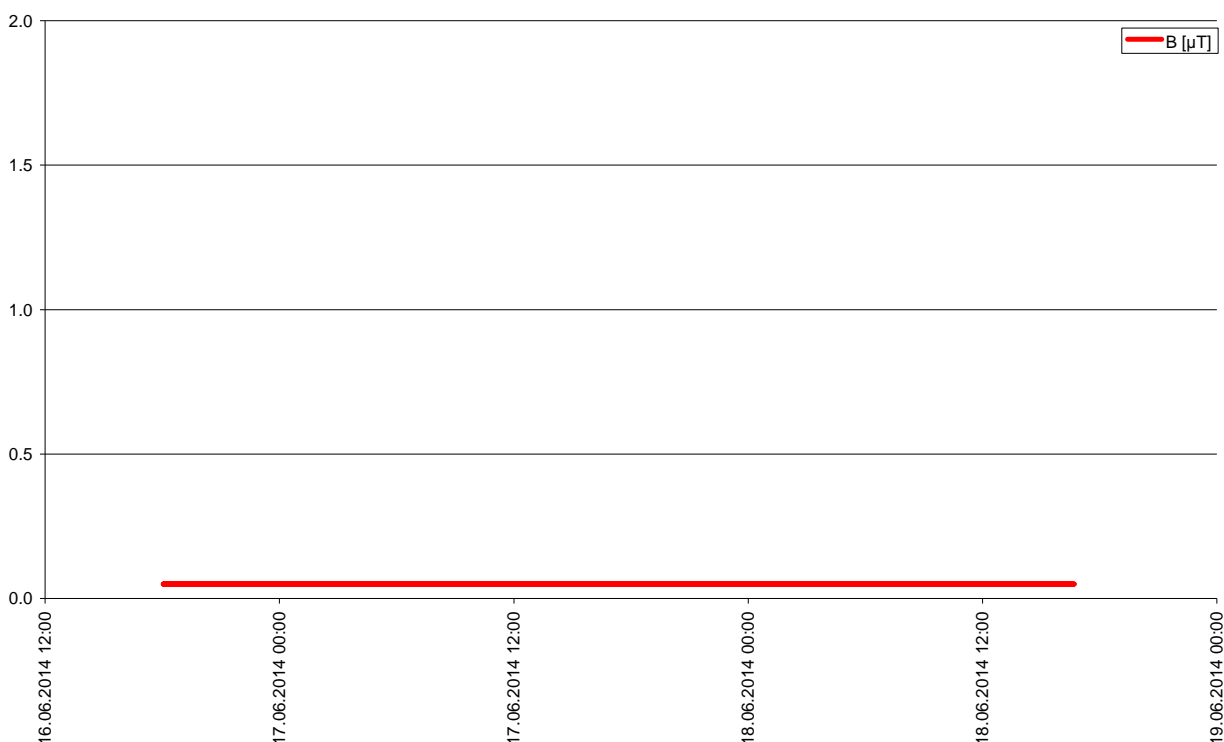
Razvidno je, da so se sevalne obremenitve na lokaciji 4 povišane in ves čas med 1,1 in 1,6 μT . Opazen je dnevno nočni ritem, saj so vrednosti ponoči značilno višje kot podnevi. Povprečna vrednost celotnih meritev je znašala 1,30 μT , najvišja 24 urna povprečna vrednost pa 1,33 μT , kar kaže, da so vse tri dni meritev bile povprečne 24 urne povprečne vrednosti precej konstantne.

5.5 Lokacija 5: stanovanjska hiša, oddaljenost 100 m od dvosistemskega 400 kV daljnovoda Beričevo-Krško

Na peti lokaciji so se meritve izvajale med 16. in 18. 6. 2014. Merilnik je bil nameščen v spalnici v drugem nadstropju hiše.

T 7: Podatki o meritvah na lokaciji 5.

Število vseh meritev:	5596
Interval vzorčenja [s]:	30
Celoten čas meritev [ur]:	47
Največja vrednost B [μT]:	0.05
Povprečna vrednost B [μT]:	0.05
Najvišja 24 urna povprečna vrednost B [μT]:	0.05
% časa, ko je B > 0,4 μT	0.00
% časa, ko je B > 1 μT	0.00
% časa, ko je B > 2 μT	0.00
% časa, ko je B > 3 μT	0.00
% časa, ko je B > 4 μT	0.00
% časa, ko je B > 5 μT	0.00



S 10: Graf poteka gostote magnetnega pretoka B na lokaciji 5.

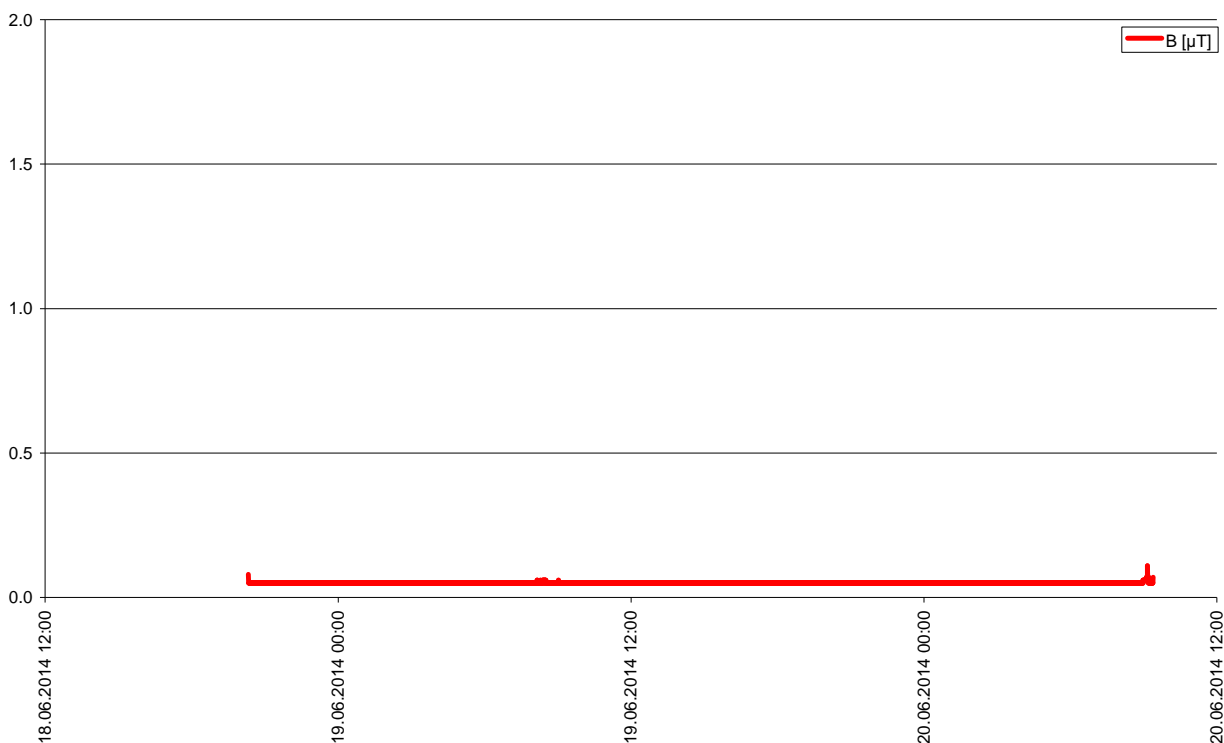
Razvidno je, da so se sevalne obremenitve na lokaciji 5 ves čas enake ali manjše od 0,05 μT .

5.6 Lokacija 6: stanovanje v stanovanjskem bloku, oddaljenost 150 m enosistemskega 220 kV daljnovoda Kleče-Divača, 50 m od dvosistemskega 110 kV daljnovoda Kleče-Okroglo II in Kleče-Medvode, 40 m od dvosistemskega 110 kV daljnovoda Kleče-Okroglo I in Kleče-Škofja Loka ter 30 m od dvosistemskega 20 kV daljnovoda

Na šesti lokaciji so se meritve izvajale med 18. in 20. 6. 2014. Merilnik je bil nameščen v spalnici v tretjem nadstropju stanovanjskega bloka.

T 8: Podatki o meritvah na lokaciji 6.

Število vseh meritev:	4447
Interval vzorčenja [s]:	30
Celoten čas meritev [ur]:	37
Največja vrednost B [μ T]:	0.11
Povprečna vrednost B [μ T]:	0.05
Najvišja 24 urna povprečna vrednost B [μ T]:	0.05
% časa, ko je B > 0,4 μ T	0.00
% časa, ko je B > 1 μ T	0.00
% časa, ko je B > 2 μ T	0.00
% časa, ko je B > 3 μ T	0.00
% časa, ko je B > 4 μ T	0.00
% časa, ko je B > 5 μ T	0.00



S 11: Graf poteka gostote magnetnega pretoka B na lokaciji 6.

Razvidno je, da so se sevalne obremenitve na lokaciji 6 večino časa enake ali manjše od 0,05 μ T.

5.7 Pregled rezultatov meritev

Od skupno 6 lokacij meritev so bile 3 lokacije takšne, kjer ni bilo v bližini daljnovoda ali transformatorske postaje, torej so bile sevalne obremenitve na teh lokacijah posledica hišnega električnega omrežja in gospodinjskih naprav v njej in ne nekega zunanega vira. Tri lokacije pa so bile izbrane v neposredni bližini 220 in 400 kV daljnovodov, in sicer na oddaljenostih 60, 100 in 150 m. Na zadnji 6 lokaciji pa so bili poleg 220 kV daljnovoda prisotni še 110 kV in 20 kV daljnovodi.

T 9: Pregled izmerjenih vrednosti na posamezni lokaciji.

Lokacija	Najvišja trenutna vrednost B [μ T]	Povprečna vrednost B [μ T]	Najvišja 24 urna povprečna vrednost B [μ T]
Lokacija 1 vrstna hiša v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje	0.26	0.10	0.11
Lokacija 2 večstanovanjska hiša v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje	0.45	0.05	0.05
Lokacija 3 stanovanje v stanovanjskem bloku v bližini ni daljnovoda ali transformatorske postaje	1.93	0.23	0.41
Lokacija 4 stanovanjska hiša oddaljenost 60 m od enosistemskega 400 kV daljnovoda Beričevo-Divača	1.58	1.30	1.33
Lokacija 5 stanovanjska hiša oddaljenost 100 m od dvosistemskega 400 kV daljnovoda Beričevo-Krško	0.05	0.05	0.05
Lokacija 6 stanovanje v stanovanjskem bloku oddaljenost 150 m enosistemskega 220 kV daljnovoda Kleče-Divača, 50 m od dvosistemskega 110 kV daljnovoda Kleče-Okroglo II in Kleče-Medvode, 40 m od dvosistemskega 110 kV daljnovoda Kleče-Okroglo I in Kleče-Škofja Loka ter 30 m od dvosistemskega 20 kV daljnovoda	0.11	0.05	0.05



Pregled rezultatov kaže, da zgolj bližina visokonapetostnega daljnovoda ne pomeni nujno tudi visokih sevalnih obremenitev v stanovanjih. Od šestih izmerjenih lokacij so na treh lokacijah bile izmerjene najvišje 24-urne povprečne vrednosti gostote magnetnega pretoka na spodnjem merilnem območju inštrumenta, to je $0,05 \mu\text{T}$. Od teh treh lokacij sta bili dve v bližini daljnovoda.

V bližini ene izmed teh lokacij se poleg 220 kV daljnovoda na oddaljenosti 150 m nahajajo še dva 110 kV daljnovoda na oddaljenosti 50 in 40 m ter 20 kV daljnovod na oddaljenosti 30 m. Kljub večjemu številu različnih daljnovodov so bile izmerjene vrednosti precej nizke zaradi nizke obremenjenosti daljnovodov v danem časovnem obdobju. To seveda ne pomeni, da daljnovodi ne morejo predstavljati višjih sevalnih obremenitev.

Rezultati na lokaciji 4, ki se nahaja v bližini 400 kV daljnovoda, so bili tako najvišji za 24-urno povprečno vrednost kot tudi celotno povprečno vrednost v času meritev višji ($1,33$ in $1,30 \mu\text{T}$). To kaže, da lahko daljnovodi, če so obremenjeni, povzročajo znatne obremenitve. Vendar ob tem moramo biti pozorni tudi na druge vire nizkofrekvenčnih magnetnih polj (npr. gospodinske naprave in električno omrežje v stanovanjskih blokih), ki lahko tudi povzročajo primerljive, pogosto celo višje sevalne obremenitve.

V primeru lokacije 3, kjer so znašale najvišje 24-urne povprečne vrednosti gostote magnetnega pretoka $0,41 \mu\text{T}$, ni bilo v bližini nobenega daljnovoda ali transformatorske postaje. Merilna naprava je bila v tem času nameščena v spalnici ob steni, za katero se nahaja **inštalacijski jašek** z razvodnimi električnimi kabli. Povišane sevalne obremenitve so posledica električnih kablov za napajanje stanovanj v bloku, ki se nahajajo v tem inštalacijskem jašku. Če posameznik na to ni pozoren, takšnega vira ne opazi.

Poleg prispevka zunanjih virov magnetnih polja (daljnovodi, transformatorske postaje) so torej pomembni tudi viri, ki se nahajajo v naši neposredni bližini, še posebej takšni, ki lahko povišane sevalne obremenitve trajno povzročajo.



6 Numerični izračuni sevalnih obremenitev za različne tipe 220 in 400 kV daljnovodov

Trajne meritve gostote magnetnega pretoka so podale dejanske povprečne in trenutne sevalne obremenitve v času izvajanja meritev. A gostota magnetnega pretoka v okolici daljnovoda se spreminja in je neposredno povezana z obremenjenostjo daljnovoda. Večja kot je obremenjenost daljnovoda, večji so tokovi, ki tečejo po daljnovodu, in ker je magnetno polje odvisno od toka, se povečajo tudi sevalne obremenitve zaradi magnetnega polja.

Električno polje daljnovodov se s časom ne spreminja bistveno, razen, ko je daljnovod izklopljen. Električno polje je namreč odvisno od napetosti na daljnovodu, ki pa je v času obratovanja daljnovoda večinoma konstantna.

Če je s trajnimi meritvami mogoče določiti trenutne in povprečne vrednosti sevalnih obremenitev, je z numeričnimi izračuni mogoče določiti najvišje možne sevalne obremenitve, ki so prisotne takrat, kadar je nek daljnovod obremenjen z nazivno obremenitvijo. Takšne obremenitve so običajno sicer redkejšje saj navadno daljnovodi obratujejo z znatno manjšimi obremenitvami. To je v veliki meri odvisno od stanja elektroenergetskega omrežja. Nekateri daljnovodi verjetno niso nikoli obremenjeni blizu nazivne obremenitve, nekateri pa so lahko tudi dnevno. Vsekakor numerični izračuni podajajo dejansko najneugodnejše razmere; večje sevalne obremenitve niso mogoče.

Poleg tega je bila pri izračunu upoštevana najneugodnejša situacija, ko so vodniki od tal oddaljeni samo toliko, kolikor je najnižja dopustna oddaljenost vodnikov od tal. Za 220 kV daljnovod je to 6,75 m, za 400 kV daljnovod pa 8 m. Izračuni so bili opravljeni na mestu, kjer so vodniki najbližje tlam oziroma tam, kjer je vplivno območje največje.

Numerično modeliranje in izračune elektromagnetnega sevanja smo opravili s programskim paketom EFC-400EP Electric and Magnetic Field Calculation, Narda STS, ki nizkofrekvenčne sevalne obremenitve izračuna s pomočjo metode končnih vodnikov. Sestavne dele (naprave, povezovalni kabli, stikališča) se v modelu predstavi z večjim številom končnih vodnikov. Vsakemu od vodnikov se določijo fizikalne lastnosti ter vrednosti elektromagnetnih veličin, potrebnih za izračun. Rezultirajoče polje je posledica prispevkov vseh teh končnih vodnikov.

Prispevek gostote magnetnega pretoka kratkega tokovnega odseka opisuje Biot-Savart-ov zakon:

$$\mathbf{E} 2 \quad d\vec{B}(t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} I(t),$$

kjer \vec{B} gostota magnetnega pretoka, I električni tok, μ_0 indukcijska konstanta, $d\vec{l}$ vektor majhnega premika po vodniku v smeri toka in \vec{r} krajevni vektor, v katerem računamo prispevek gostote magnetnega pretoka. Za i -ti končni vodnik dolžine L_i , orientiran v lokalnem koordinatnem sistemu tako, da leži vzporedno z osjo x , posledično velja:

$$\mathbf{E} 3 \quad |\vec{B}_i(t)| = \frac{\mu_0}{4\pi r} I(t) \left[\frac{L_i - x_p}{\sqrt{(L_i - x_p)^2 + r^2}} + \frac{x_p}{\sqrt{x_p^2 + r^2}} \right],$$

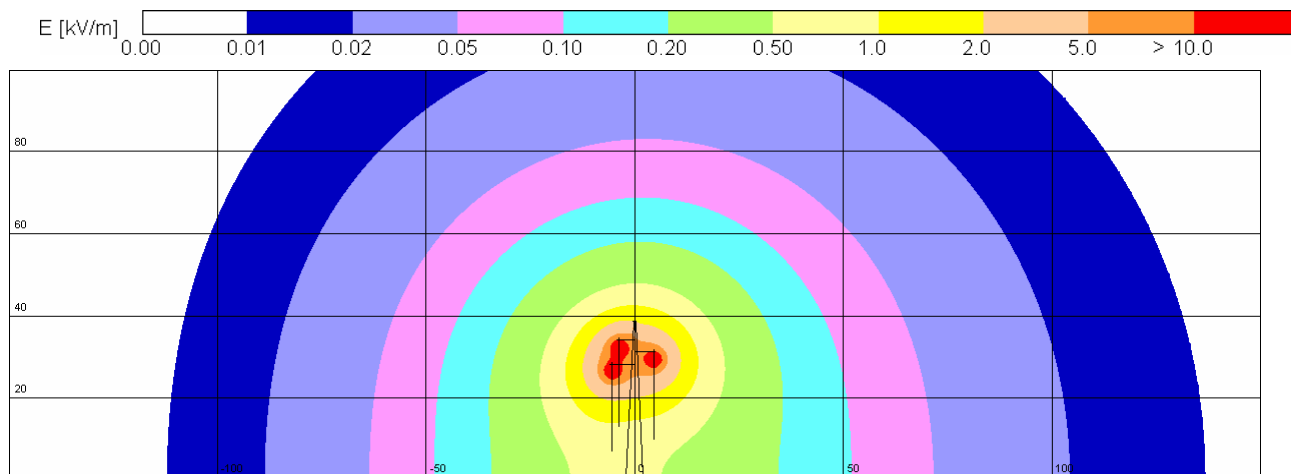
kjer je x_p koordinata x točke, v kateri računamo prispevek, r pa razdalja do te točke.

Končni rezultat je vsota prispevkov vseh končnih vodnikov.

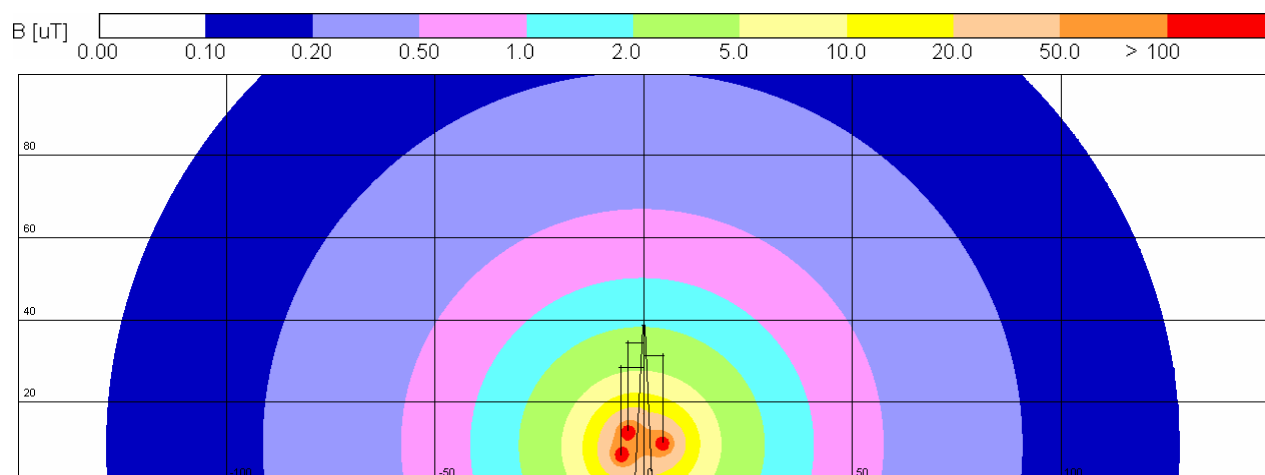


6.1 Enosistemski 220 kV daljnovod tipa jelka

V Sloveniji se za 220 kV napetostni nivo uporabljajo enosistemski daljnovodi tipa smreka.



S 12: Električna poljska jakost za enosistemski 220 kV daljnovod tipa smreka. Izračun je izveden ob daljnovodnem stebru, kjer je vplivno območje najširše.



S 13: Gostota magnetnega pretoka za enosistemski 220 kV daljnovod tipa smreka. Izračun je izveden na sredini med daljnovodnima stebroma, kjer je vplivno območje najširše.

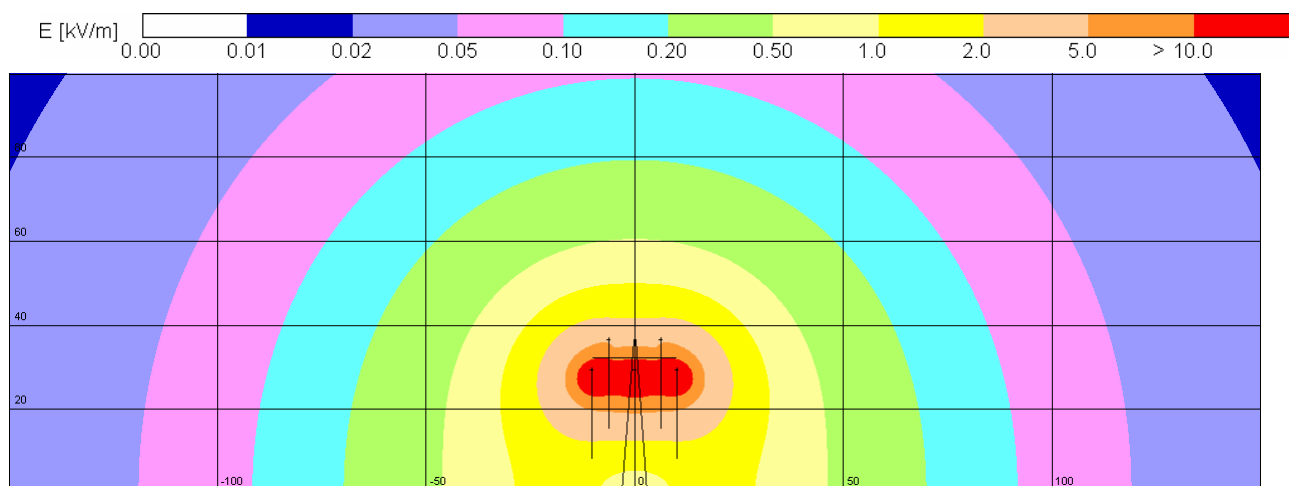
T 10: Velikost vplivnega območja (območja, kjer so lahko presežene mejne vrednosti uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju) za enosistemski 220 kV daljnovod tipa smreka.

	I. območje	II. območje
Vplivno območje za električno poljsko jakost	24 m	ni preseženo
Vplivno območje za gostoto magnetnega pretoka	15 m	ni preseženo

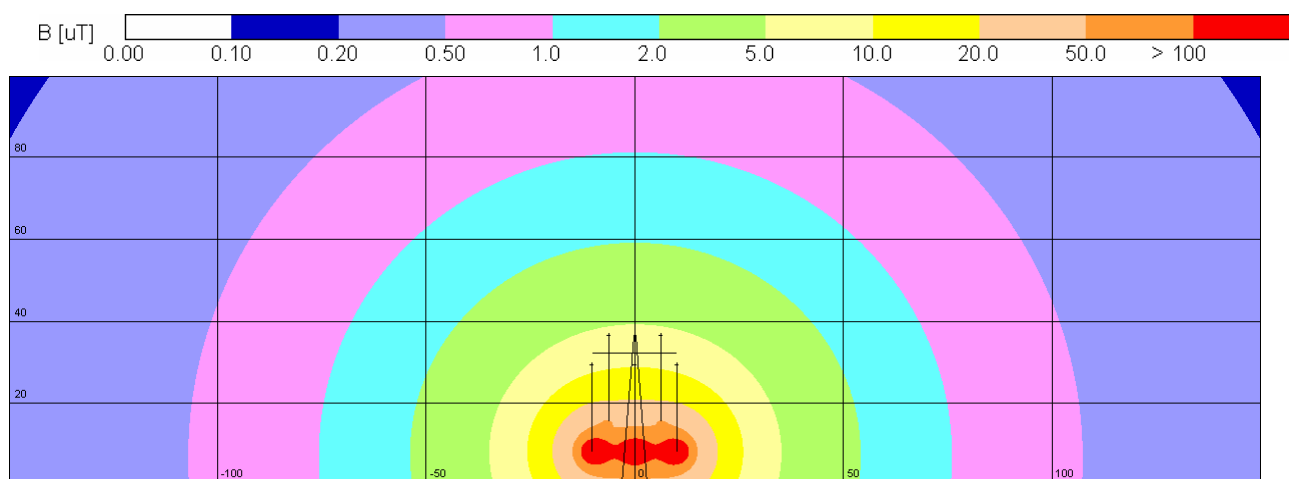
Vplivno območje je določeno na višini 1m nad tlemi

6.2 Enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y

V Sloveniji se za enosistemске 400 kV daljnovode uporabljajo daljnovodi tipa Y.



S 14: Električna poljska jakost za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y. Izračun je izveden ob daljnovodnem stebru, kjer je vplivno območje najširše.



S 15: Gostota magnetnega pretoka za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y. Izračun je izveden na sredini med daljnovodnima stebrima, kjer je vplivno območje najširše.

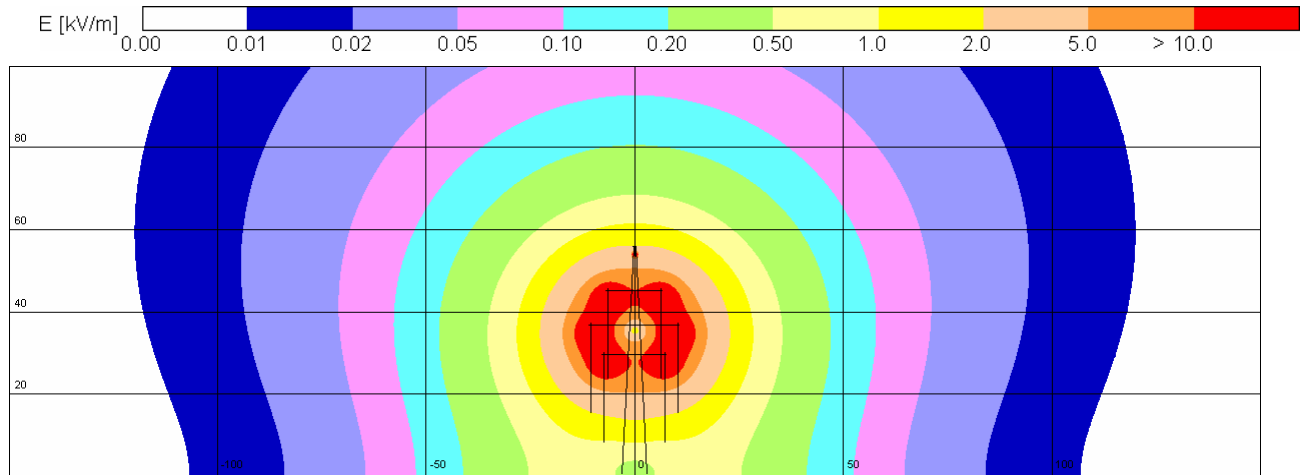
T 11: Velikost vplivnega območja (območja, kjer so lahko presežene mejne vrednosti uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju) za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y.

	I. območje	II. območje
Vplivno območje za električno poljsko jakost	46 m	ni preseženo
Vplivno območje za gostoto magnetnega pretoka	26 m	ni preseženo

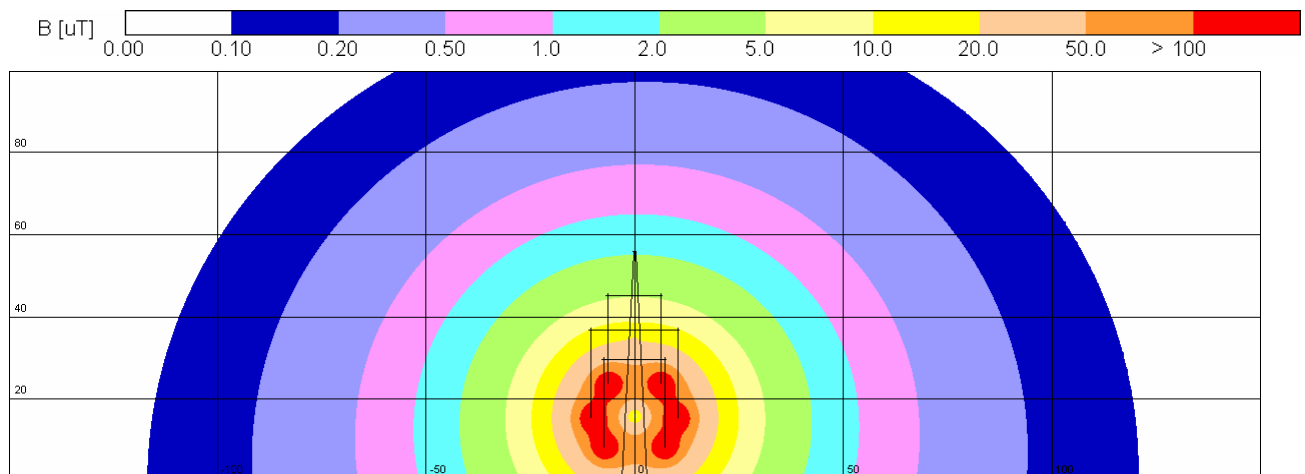
Vplivno območje je določeno na višini 1m nad tlemi

6.3 Dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod

V Sloveniji se za dvosistemske 400 kV daljnovode uporabljajo daljnovodi tipa sod.



S 16: Električna poljska jakost za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod. Izračun je izveden ob daljnovodnem stebru, kjer je vplivno območje najširše.



S 17: Gostota magnetnega pretoka za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod. Izračun je izveden na sredini med daljnovodnima stebroma, kjer je vplivno območje najširše.

T 12: Velikost vplivnega območja (območja, kjer so lahko presežene mejne vrednosti uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju) za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod.

	I. območje	II. območje
Vplivno območje za električno poljsko jakost	36 m	ni preseženo
Vplivno območje za gostoto magnetnega pretoka	25 m	ni preseženo

Vplivno območje je določeno na višini 1m nad tlemi

7 Vpliv rekonstrukcije 220 kV daljnovoda v 400 kV daljnovod

Ob rekonstrukciji 220 kV daljnovoda v 400 kV daljnovod se obstoječi 220 kV daljnovod podre in v pasu, kjer je prej potekal 220 kV daljnovod, umesti nov 400 kV daljnovod. Zaradi drugačnih zahtev za daljnovodne stebre se ti namestijo na novo, saj so pri 400 kV daljnovodu navadno višji kot pri 220 kV daljnovodu, zaradi različnih zahtev pa se lahko spremenijo tudi stojišča daljnovodnih stebrov. Obstoječi 220 kV daljnovodi so enosistemski tipa jelka, ob rekonstrukciji v 400 kV daljnovod pa se predvideva uporabo dvosistemskega 400 kV daljnovoda tipa sod. Kot je razvidno iz T 11 in T 12, ima ta tip daljnovoda ob dvakrat višjem prenosu električne energije, saj ga sestavljata dva sistema in vsak od njiju prenaša enako količino električne energije, manjše vplivno območje in vrednosti električne poljske jakosti in gostote magnetnega pretoka na tleh pod daljnovodom, kot enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y.

Zato je pri podajanju vplivov rekonstrukcije 220 kV v 400 kV predpostavljena rekonstrukcija iz enosistemskega 220 kV daljnovoda tipa jelka v dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod.

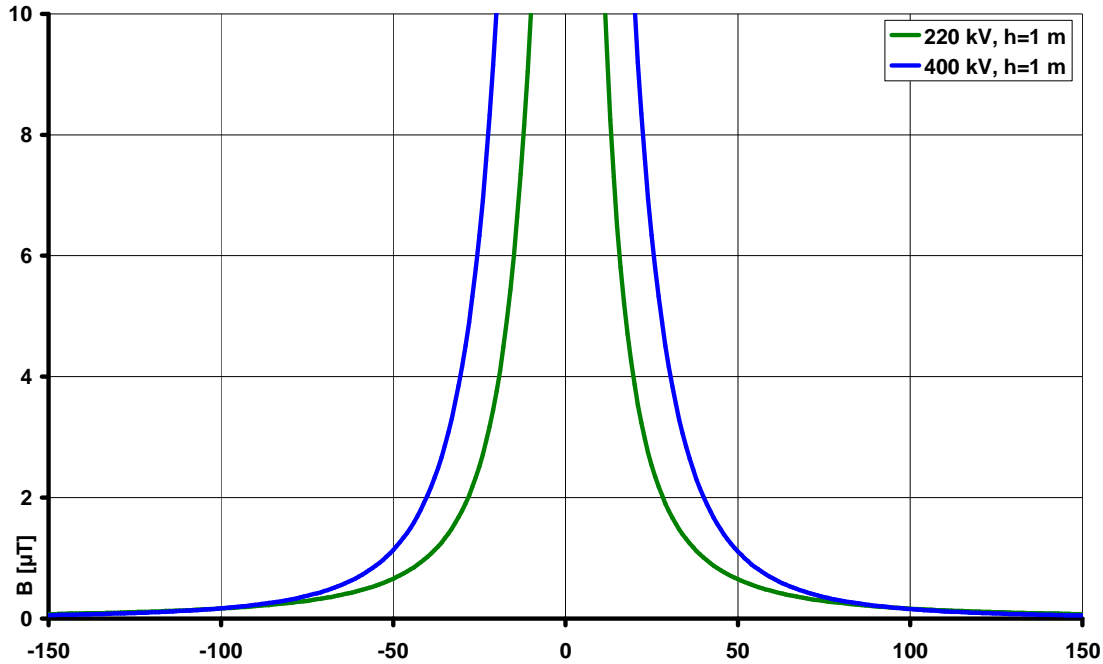
Z rekonstrukcijo daljnovoda iz 220 kV v 400 kV se sevalne obremenitve v okolici povečajo. Zaradi višje napetosti se poviša električno polje. Na povišanje električnega in magnetnega polja vpliva tudi večja razdalja med vodniki na 400 kV daljnovodu, obenem pa so vodniki 400 kV daljnovoda nameščeni višje nad tlemi kot vodniki 220 kV daljnovoda, kar pa prispeva k zmanjšanju tako električnega kot tudi magnetnega polja. Dodatno k znižanju sevalnih obremenitev po rekonstrukciji prispeva tudi konfiguracija daljnovoda, saj dvosistemski daljnovodi povzročajo manjše tako električno kot tudi magnetno polje kot enosistemski. Vsi ti faktorji rezultirajo v skupno povišanem električnem polju, za magnetno polje pa je povišanje odvisno od tega, koliko je daljnovod obremenjen. Če sta tako 220 kV daljnovod kot tudi 400 kV daljnovod nazivno (polno) obremenjena, kar pomeni, da se po 400 kV daljnovodu prenaša kar 8 krat več električne energije, se tudi magnetno polje poveča, sicer pa lahko ostane primerljivo ali celo nižje.

Vpliv rekonstrukcije na sevalne obremenitve v okolici daljnovoda je obravnavan na treh mestih:

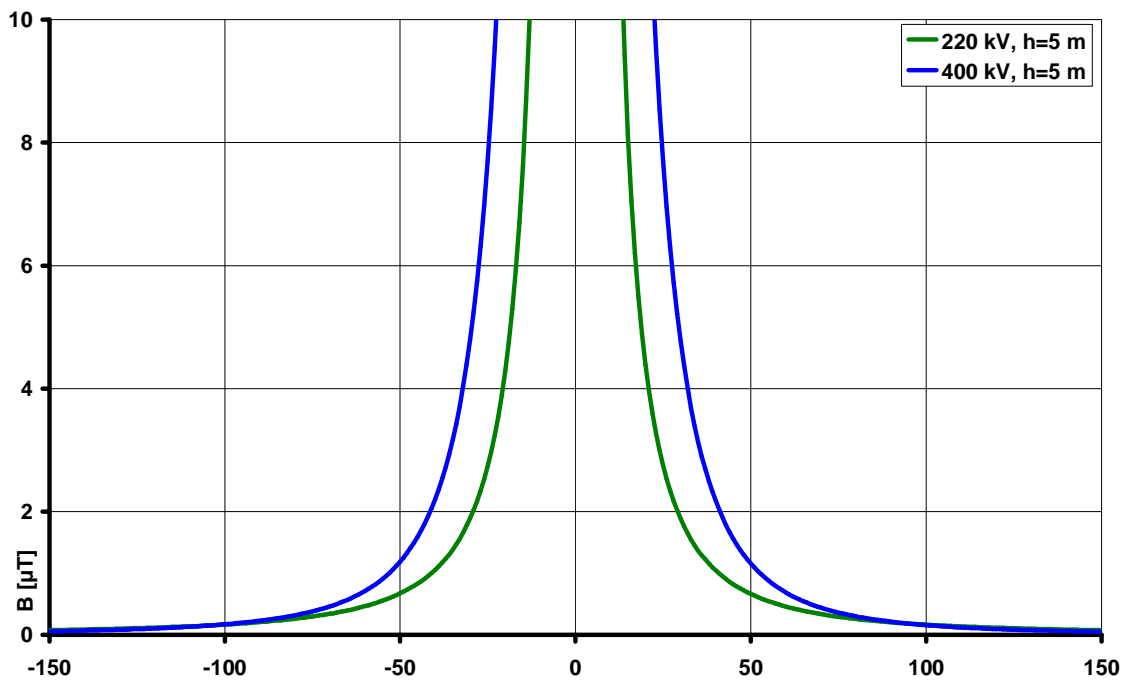
1. na mestu, kjer so vodniki najnižje nad tlemi, torej na sredini v točki največjega povesa vodov med dvema stebroma;
2. ob stebru, kjer so vodniki najvišje nad tlemi in
3. v vmesni točki, kjer so vodniki na srednji višini nad tlemi.



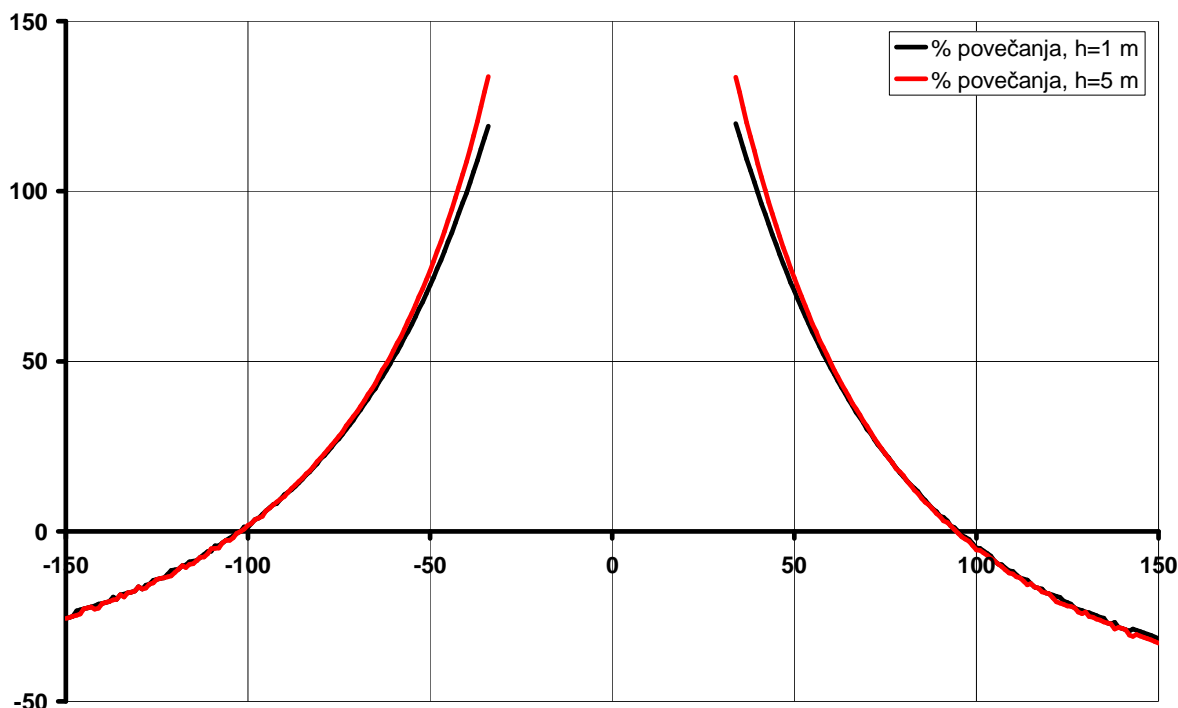
7.1 Vpliv rekonstrukcije na mestu, kjer so vodniki najnižje



S 18: Gostota magnetnega pretoka B na višini 1 m nad tlemi za 220 in 400 kV daljnovod v odvisnosti od razdalje. Prikazane so vrednosti, nižje od mejnih vrednosti za I. območje, to je $10 \mu\text{T}$.



S 19: Gostota magnetnega pretoka B na višini 5 m nad tlemi za 220 in 400 kV daljnovod v odvisnosti od razdalje. Prikazane so vrednosti, nižje od mejnih vrednosti za I. območje, to je $10 \mu\text{T}$.



S 20: Povečanje gostote magnetnega pretoka B glede na izhodiščno stanje v odstotkih v odvisnosti od razdalje.

T 13: Velikost vplivnega območja pred rekonstrukcijo in po rekonstrukciji za I. območje varstva pred sevanji na višini 1 m nad tlemi.

	pred rekonstrukcijo enosistemski 220 kV daljnovod tipa smreka	po rekonstrukciji dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod
Vplivno območje za električno poljsko jakost	24 m	33 m
Vplivno območje za gostoto magnetnega pretoka	12 m	20 m

Magnetno polje na S 18 je določeno na višini 1 m, ki je standardna višina za podajanje izmerjenih in izračunanih vrednosti. Za oceno vplivov na okoliške objekte je dodan tudi izračun na višini 5 m, ki je predstavljen na S 19. Odstotek povečanja glede na izhodiščno stanje je podan na S 20, in sicer za območje izven vplivnega območja, saj znotraj vplivnega območja umestitev površin, ki sodijo v I. območje varstva pred sevanji, ni mogoč, in zato na teh območjih ne prihaja do dalj časa trajajočih izpostavljenosti. Izračunan je po enačbi

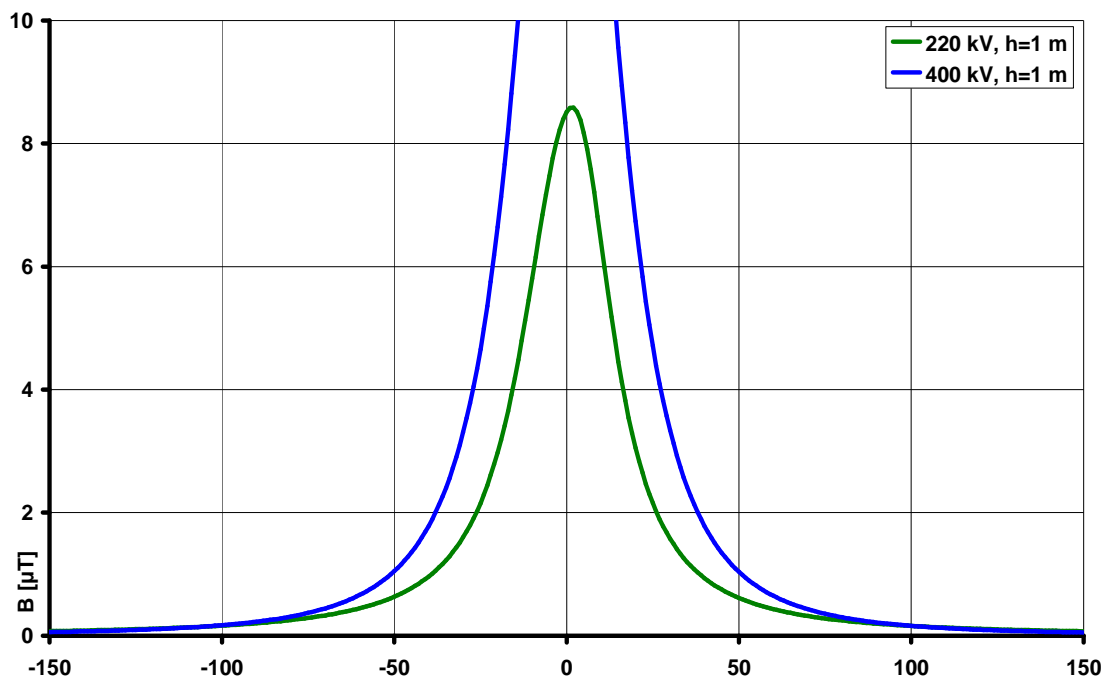
$$\mathbf{E\ 4} \quad \% \text{ povečanja} = \frac{B_{400\text{ kV}} - B_{220\text{ kV}}}{B_{220\text{ kV}}} \times 100\% ,$$

kjer je:

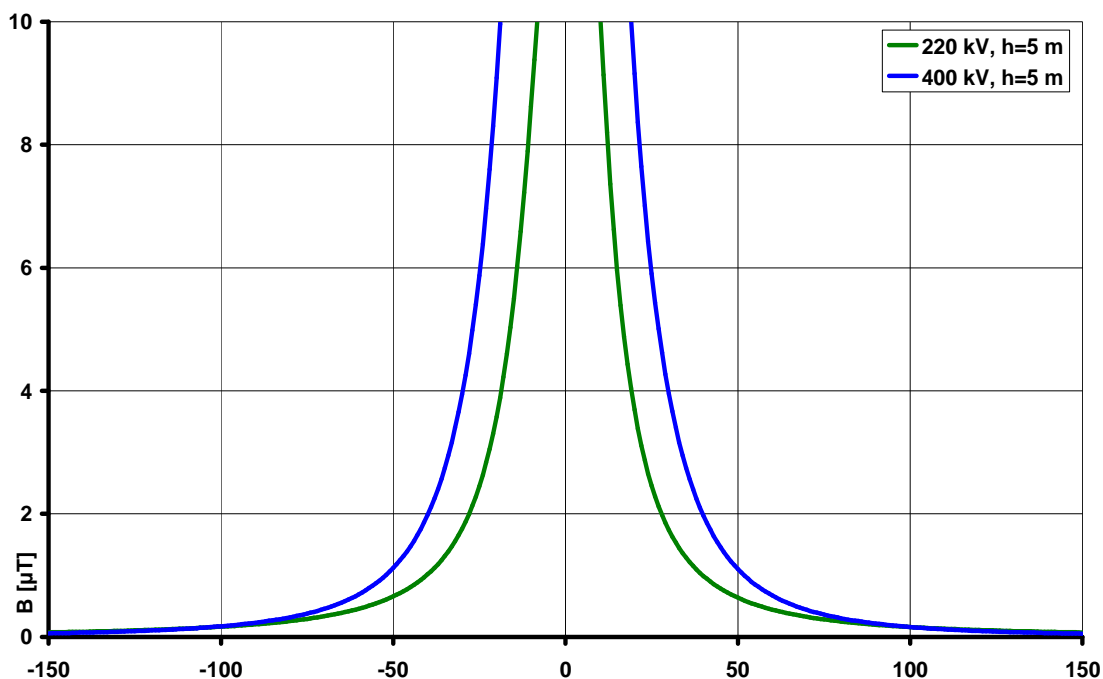
- $B_{400\text{ kV}}$ – izračunana vrednost gostote magnetnega pretoka B za 400 kV daljnovod in
- $B_{220\text{ kV}}$ – izračunana vrednost gostote magnetnega pretoka B za 220 kV daljnovod.

Rezultati deleža povečanja sevalnih obremenitev iz S 20 kažejo, da se v območju, kjer mejne vrednosti niso presežene, to je najmanj 33 m od osi daljnovoda, magnetno polje poveča za do 125 odstotkov. Z oddaljevanjem od osi daljnovoda upada tudi delež povečanja in je na oddaljenosti 100 m enak 0, na oddaljenosti več kot 100 m pa se magnetno polje po rekonstrukciji celo **zmanjša**.

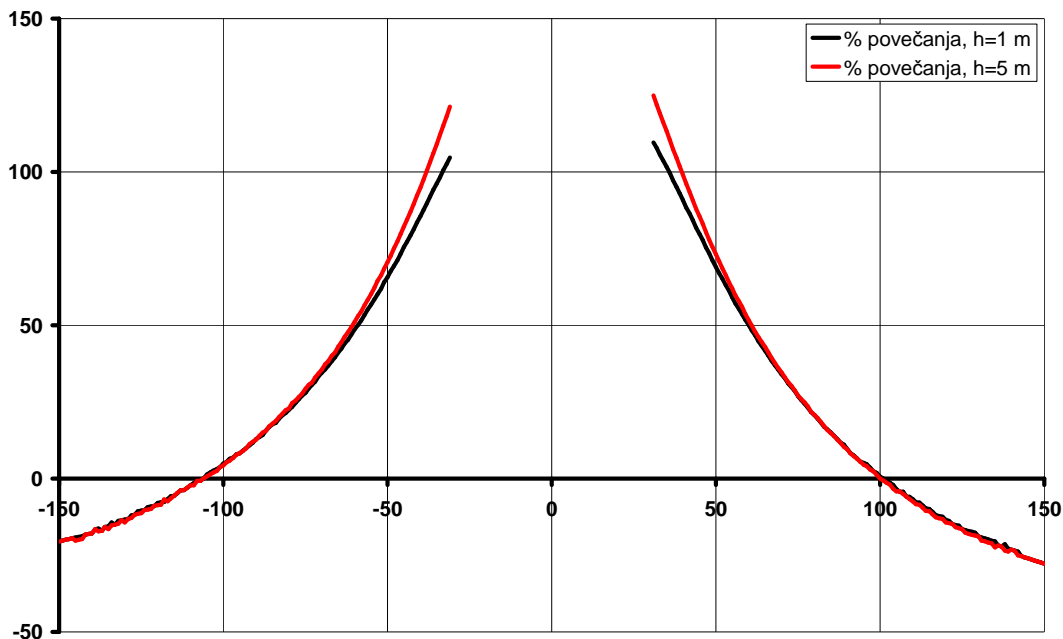
7.2 Vpliv rekonstrukcije na srednji višini vodnikov



S 21: Gostota magnetnega pretoka B na višini 1 m nad tlemi za 220 in 400 kV daljnovod v odvisnosti od razdalje. Prikazane so vrednosti, nižje od mejnih vrednosti za I. območje, to je 10 μT .



S 22: Gostota magnetnega pretoka B na višini 5 m nad tlemi za 220 in 400 kV daljnovod v odvisnosti od razdalje. Prikazane so vrednosti, nižje od mejnih vrednosti za I. območje, to je 10 μT .



S 23: Povečanje gostote magnetnega pretoka B glede na izhodiščno stanje v odstotkih v odvisnosti od razdalje.

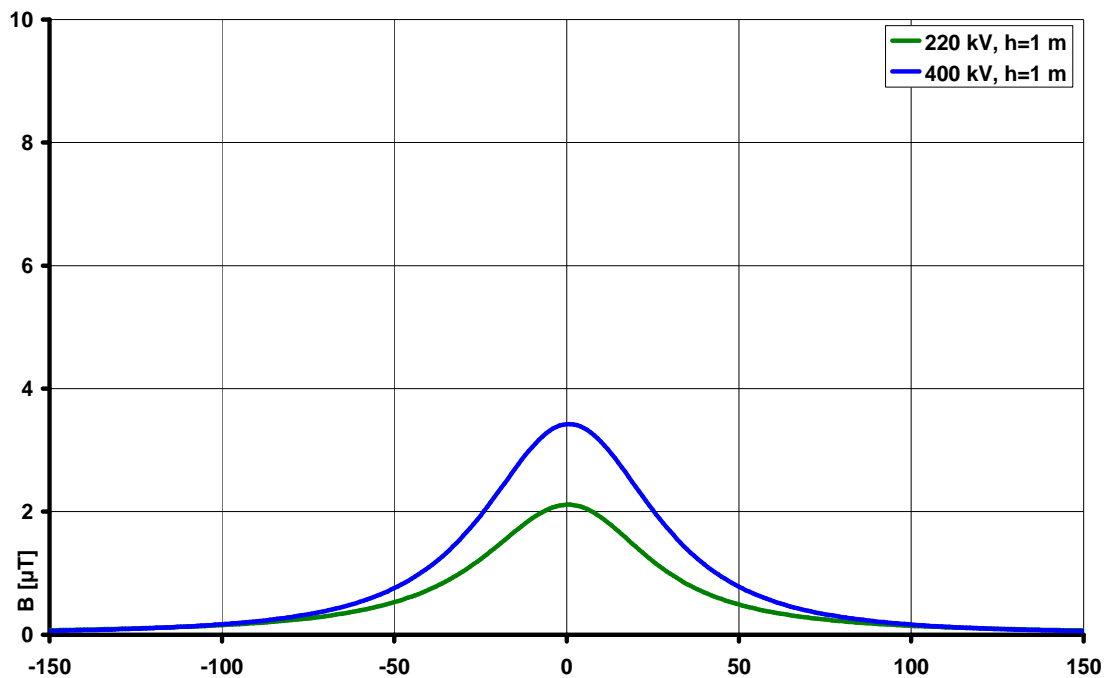
T 14: Velikost vplivnega območja pred rekonstrukcijo in po rekonstrukciji za I. območje varstva pred sevanji na višini 1 m nad tlemi.

	pred rekonstrukcijo enosistemski 220 kV daljnovod tipa smreka	po rekonstrukciji dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod
Vplivno območje za električno poljsko jakost	24 m	30 m
Vplivno območje za gostoto magnetnega pretoka	ni preseženo	15 m

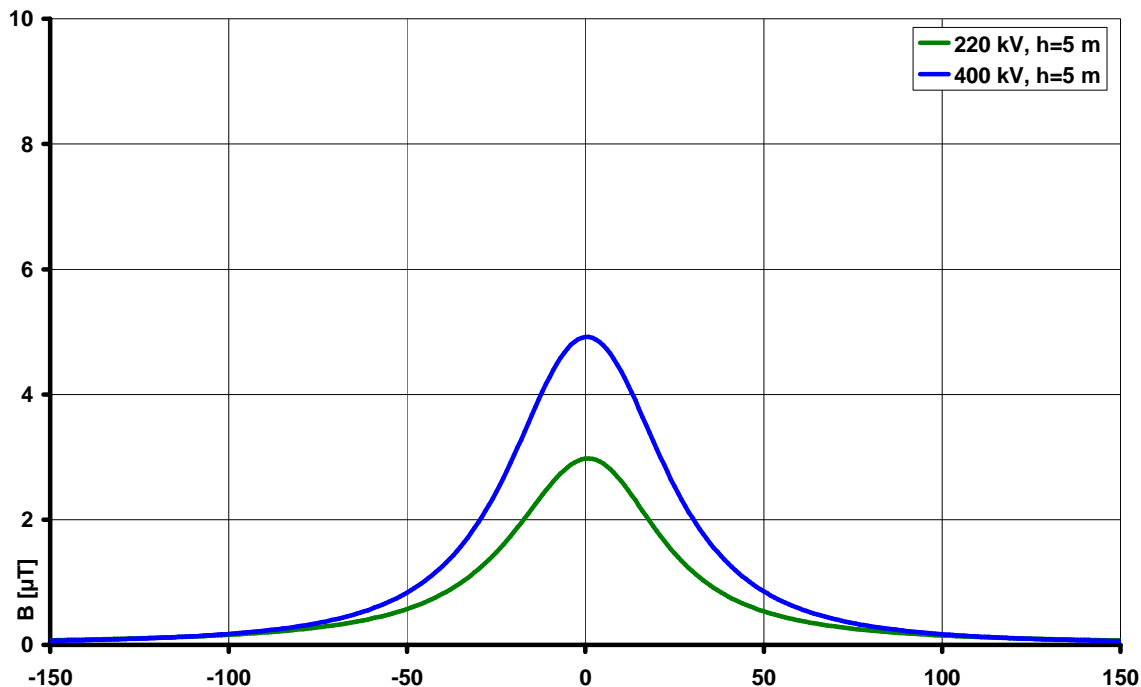
Magnetno polje na S 21 je določeno na višini 1 m, ki je standardna višina za podajanje izmerjenih in izračunanih vrednosti. Za oceno vplivov na okoliške objekte je dodan tudi izračun na višini 5 m, ki je predstavljen na S 22. Odstotek povečanja glede na izhodiščno stanje, je podan na S 23, in sicer za območje izven vplivnega območja, saj znotraj vplivnega območja umestitev površin, ki sodijo v I. območje varstva pred sevanji, ni mogoč, in zato na teh območjih ne prihaja do dalj časa trajajočih izpostavljenosti. Izračunan je po enačbi E 4.

Rezultati deleža povečanja sevalnih obremenitev iz S 21 kažejo, da se v območju, kjer mejne vrednosti niso presežene, to je najmanj 30 m od osi daljnovoda, magnetno polje poveča za do 110 odstotkov. Z oddaljevanjem od osi daljnovoda upada tudi delež povečanja, in je na oddaljenosti približno 100 m enak 0, na oddaljenosti več kot 100 m pa se magnetno polje po rekonstrukciji celo **zmanjša**.

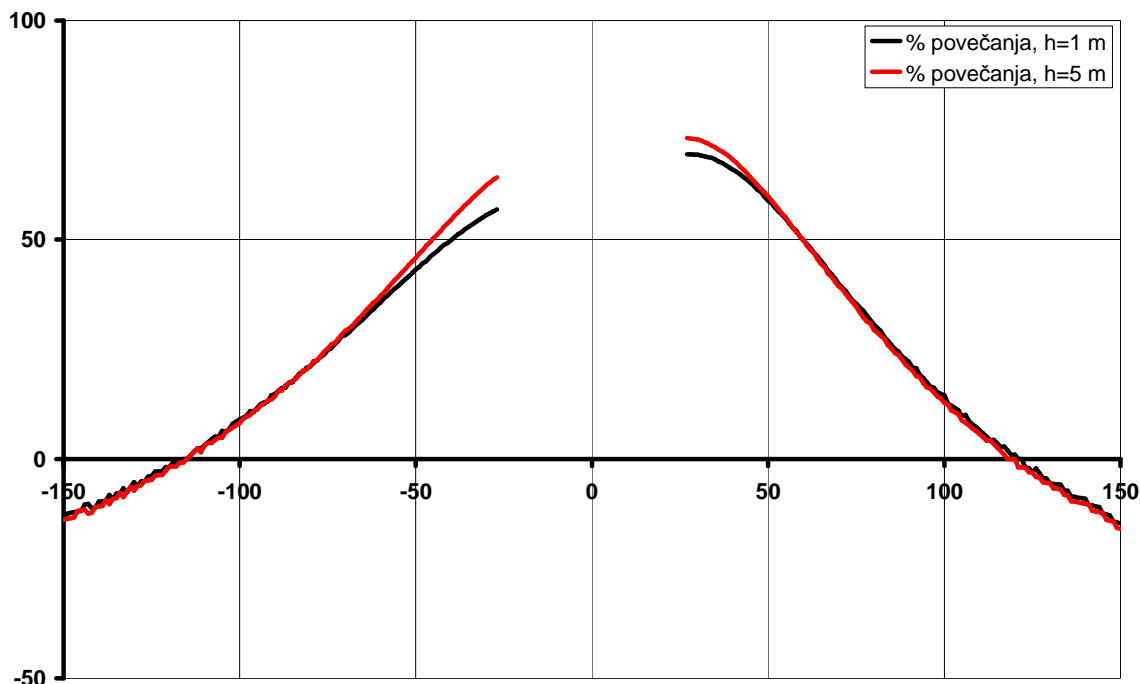
7.3 Vpliv rekonstrukcije ob stebru, kjer so vodniki najvišje



S 24: Gostota magnetnega pretoka B na višini 1 m nad tlemi za 220 in 400 kV daljnovid v odvisnosti od razdalje. Prikazane so vrednosti, nižje od mejnih vrednosti za I. območje, to je 10 μT .



S 25: Gostota magnetnega pretoka B na višini 5 m nad tlemi za 220 in 400 kV daljnovid v odvisnosti od razdalje. Prikazane so vrednosti, nižje od mejnih vrednosti za I. območje, to je 10 μT .



S 26: Povečanje gostote magnetnega pretoka B glede na izhodiščno stanje v odstotkih v odvisnosti od razdalje.

T 15: Velikost vplivnega območja pred rekonstrukcijo in po rekonstrukciji za I. območje varstva pred sevanji na višini 1 m nad tlemi.

	pred rekonstrukcijo enosistemski 220 kV daljnovod tipa smreka	po rekonstrukciji dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod
Vplivno območje za električno poljsko jakost	15 m	26 m
Vplivno območje za gostoto magnetnega pretoka	ni preseženo	ni preseženo

Magnetno polje na S 24 je določeno na višini 1 m, ki je standardna višina za podajanje izmerjenih in izračunanih vrednosti. Za oceno vplivov na okoliške objekte je dodan tudi izračun na višini 5 m, ki je predstavljen na S 25. Odstotek povečanja glede na izhodiščno stanje, je podan na S 26, in sicer za območje izven vplivnega območja, saj znotraj vplivnega območja umestitev površin, ki sodijo v I. območje varstva pred sevanji, ni mogoč, in zato na teh območjih ne prihaja do dalj časa trajajočih izpostavljenosti. Izračunan je po enačbi E 4.

Rezultati deleža povečanja sevalnih obremenitev iz S 26 kažejo, da se v območju, kjer mejne vrednosti niso presežene, to je najmanj 26 m od osi daljnovoda, magnetno polje poveča za do 70 odstotkov. Z oddaljevanjem od osi daljnovoda upada tudi delež povečanja, in je na oddaljenosti približno 115 m enak 0, na oddaljenosti več kot 115 m pa se magnetno polje po rekonstrukciji celo **zmanjša**.

7.4 Ocena vpliva rekonstrukcije

Rekonstrukcija enosistemskega 220 kV daljnovoda v dvosistemski 400 kV daljnovod poveča vplivno območje v bližini daljnovoda. Vplivno območje tako za 220 kV kot tudi za 400 kV daljnovod določa električno polje, saj le to na večjih oddaljenostih od daljnovoda preseže mejne vrednosti za I. območje kot magnetno polje. Ob tem je potrebno poudariti, da je v Sloveniji veljavna mejna vrednost za I. območje za električno polje 500 V/m, kar je majhna vrednost. Poleg tega električno polje v objektih zaradi zakonitosti širjenja električnega polja ni prisotno.

Vplivno območje se v povprečju ob rekonstrukciji poveča za 50 odstotkov, v najneugodnejših razmerah, kjer je vplivno območje največje, znaša do 36 m. Na višini 1 m nad tlemi to območje nikjer ne presega 33 m.

T 16: Velikost vplivnega območja pred rekonstrukcijo in po rekonstrukciji za I. območje varstva pred sevanji.

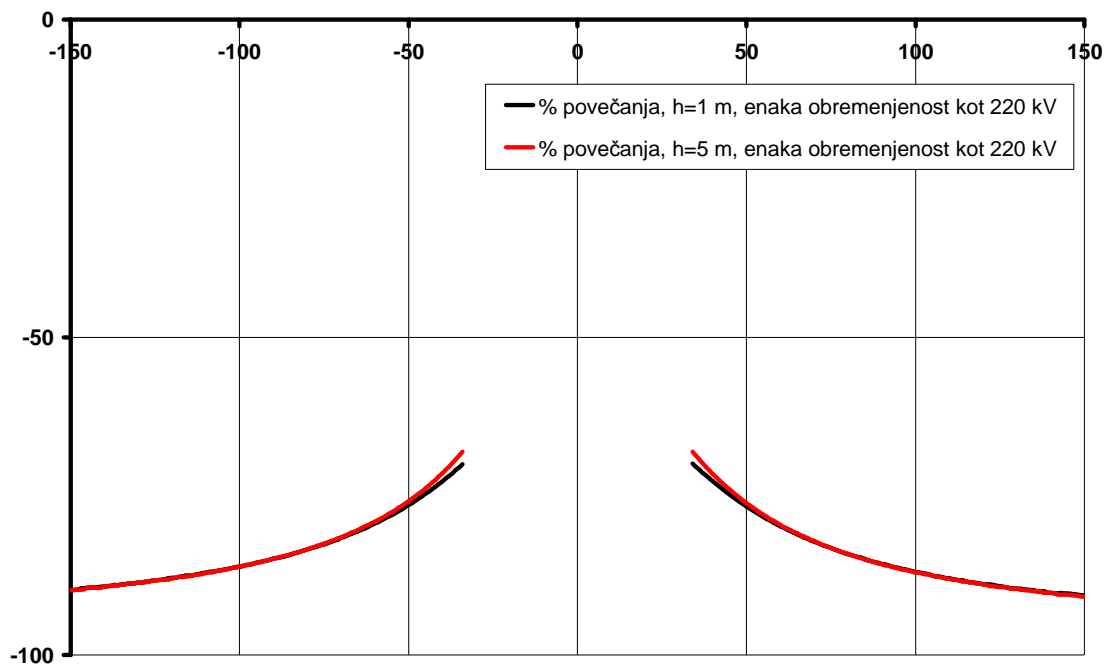
	pred rekonstrukcijo	po rekonstrukciji
Vplivno območje na višini 1 m na mestu, kjer so vodniki najnižje	24 m	33 m
Vplivno območje na višini 1 m na srednji višini vodnikov	24 m	30 m
Vplivno območje na višini 1 m ob stebru, kjer so vodniki najvišje	15 m	26 m
Največje vplivno območje za celotno območje višin od 0 do 40 m nad tlemi in ne glede na višino vodnikov nad tlemi	24 m	36 m

Velikost vplivnega območja je zaradi vedno enakega električnega polja daljnovoda točno določena, saj je prav električno polje tisto, ki določa velikost vplivnega območja. Magnetno polje tudi v najneugodnejših razmerah, ko je daljnovod polno obremenjen in je zato magnetno polje največje, preseže mejne vrednosti na manjši oddaljenosti kot električno polje.

Rezultati za polno obremenjeni 400 kV daljnovod kažejo, da se na razdalji do 100 m od daljnovoda, magnetno polje poveča; pri razdaljah nad 100 m pa se magnetno polje z rekonstrukcijo celo zmanjša.

Pri ocenjevanju povečanja magnetnega polja zaradi rekonstrukcije je zelo pomembno upoštevati tudi obremenitve daljnovoda. Celotna analiza v poglavju 7 »Vpliv rekonstrukcije 220 kV daljnovoda v 400 kV daljnovod« temelji na predpostavki, da je daljnovod po rekonstrukciji polno obremenjen. Za primerjavo so za mesto, kjer so vodniki daljnovoda najnižje, na S 27 predstavljeni rezultati za predpostavko, da sta tako enosistemski 220 kV daljnovod pred rekonstrukcijo kot 400 kV daljnovod po rekonstrukciji enako obremenjena, to pomeni, da prenašata enako količino energije.

Ob takšni predpostavki se vrednosti magnetnega polja v celotnem območju daljnovoda z rekonstrukcijo zmanjšajo za več kot za 50 odstotkov.



S 27: Povečanje gostote magnetnega pretoka B glede na izhodiščno stanje v odstotkih v odvisnosti od razdalje v primeru, da 400 kV daljnovod po rekonstrukciji ni nazivno obremenjen (najneugodnejše razmere), ampak je obremenjen enako, kot je bil prej obremenjen 220 kV daljnovod. Iz grafa je razvidno, da se z rekonstrukcijo sevalne obremenitve v okolici daljnovoda zmanjšajo.

8 Zdravstveno tveganje

Znanstveno je potrjeno, da nizkofrekvenčna električna in magnetna polja v človekovem telesu lahko povzročajo nastanek polj ter tokov in, če so dovolj močna, v odvisnosti od jakosti in frekvenčnega območja, vrsto učinkov, na primer stimulacijo tkiv. Ti notranji tokovi kot neposredni učinek električnih in magnetnih polj so pri jakostih, ki jih srečujemo v našem vsakdanjiku, izredno nizki in nimajo znanih vplivov na naše zdravje. Medtem ko so navedeni akutni učinki EMS znanstveno dokazani, pa obstaja določena negotovost glede možnih zapoznelih učinkov in bioloških učinkov pri jakostih polja, ki ne presegajo mejnih vrednosti. Prav ti učinki so že precej časa predmet znanstvenih raziskav. Znanstveniki tako na primer raziskujejo vplive EMS na celično membrano, izločanje hormonov, aktivnost encimov, sintezo DNK vključno z rakom. Rezultatov določenih raziskovalcev, ki so pokazali na obstoj bioloških učinkov, v številnih primerih druge raziskovalne skupine v ponovljenih poizkusih niso mogle potrditi. Tudi prenos izsledkov o bioloških učinkih na nivoju celičnih raziskav oz. poskusov na živalih na človeka je zelo zapleten.

Od konca sedemdesetih let prejšnjega stoletja znanstveniki opravljajo epidemiološke raziskave o morebitni povezavi med NF EMS majhnih jakosti v bivalnem okolju in rakom. Odkrili niso nobene povezave med dolgotrajno izpostavljenostjo tem poljem in povečanim tveganjem za pojav raka **pri odraslih**.

8.1 Otroška levkemija

Drugače je le pri otrocih in pojavu levkemije. Nekatere epidemiološke študije so pri otrocih, ki so bili dlje časa izpostavljeni magnetnim poljem 24-urne povprečne vrednosti nad 0,4 μT , kar je sicer precej nižje od mejnih vrednosti, pokazale rahlo, toda opazno povečano tveganje za pojav levkemije. Na podlagi zbranih podatkov ocenjujejo, da je takim poljem izpostavljen manj kot 1 odstotek otrok v državah EU.

Vendar pa je, tudi če vzročna povezava zares obstaja, glede na rezultate raziskav mogoče s povečano izpostavljenostjo nizkofrekvenčnim magnetnim poljem razložiti **največ 1 odstotek** primerov levkemij.

Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC) iz Lyona je kot specializirana agencija za preučevanje tveganja pojava raka v okviru WHO formalno obravnavala te podatke ter na podlagi epidemioloških študij na otrocih uvrstila nizkofrekvenčna magnetna polja v skupino 2B med **mogoče kancerogene snovi za ljudi** [5]. To je temeljilo na epidemioloških študijah, ki so pokazale, da je pri otrocih, ki so izpostavljeni magnetnim poljem višjim od 0,3-0,4 μT (24-urno povprečje), večja verjetnost za razvoj levkemije. Eksperimentalne študije na živalih niso podprle teh ugotovitev.

Mednarodna agencija za raziskave raka je ugotovila, da ni dokazov o povezavi med magnetnimi polji ekstremno nizkih frekvenc in različnimi drugimi vrstami raka. Električna polja ekstremno nizkih frekvenc je Mednarodna agencija za raziskave raka opredelila kot "ni mogoče klasificirati kot kancerogeno za ljudi".

Kot odziv na naraščajočo zaskrbljenost javnosti zaradi zdravstvenih učinkov izpostavljenosti EMS so številne države še pred oceno IARC pripravile lastne znanstvene preglede literature. Delovna skupina, ki je raziskovala tematiko za ameriški Nacionalni inštitut za zdravstveno ekologijo [7], je nizkofrekvenčna magnetna polja uvrstila med možne kancerogene za ljudi. Ameriška vladna agencija je zato priporočila »pasivne sistemske ukrepe«, med te pa sodijo kontinuirano obveščanje in izobraževanje javnosti ter spodbujanje podjetij za prenos in distribucijo električne energije, naj prostovoljno zmanjšajo izpostavljenost ljudi, kjer je to možno.

T 17: Klasifikacija kancerogenih snovi glede na Mednarodno komisijo za raziskave raka (IARC).

IARC klasifikacija	Dejavnik
1. Kancerogeno za ljudi (podprto z močnimi dokazi o kancerogenosti za ljudi)	Azbest Naravna UV sevanja Umetna UV sevanja - solariji Tobak X in gama žarki
2A. Verjetno kancerogeno za ljudi (podprto z močnimi dokazi o kancerogenosti na živalih)	Formaldehid Hlapi diesel goriva Kreozoti PCB
2B. Mogoče kancerogeno za ljudi (podprto z izsledki o kancerogenosti pri ljudeh, ki so sicer verodostojni, hkrati pa ni mogoče izključiti drugih razlag zanje)	Kava Nizkofrekvenčno magnetno polje Visokofrekvenčna EMS Steklena volna Stiren

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf>

V Veliki Britaniji je svetovalna skupina za neionizirna sevanja poročala o problematiki EMS omrežne frekvence in o tveganju razvoja raka [8]. Ugotovili so, da dokazi sicer še niso dovolj trdni, da bi upravičili trden sklep o tem, da EMS povzročajo levkemijo pri otrocih, obstaja pa možnost, da lahko intenzivna in dolgoročna izpostavljenost magnetnim poljem poveča to tveganje. Zdravstveni svet Nizozemske [9], ki je glavni posvetovalni organ nizozemske vlade, je prišel do podobnih sklepov.

Na podlagi klasifikacije IARC je ICNIRP podala izjavo, v kateri je zapisala, da so izsledki, ki levkemijo pri otrocih povezujejo z nizkofrekvenčnimi EMS, niso dovolj močni, da bi priporočili spremembo svojih smernic [10]. Prav tako je na podlagi klasifikacije IARC odbor Evropske komisije priporočil upoštevanje smernic ICNIRP.

SZO v brošuri iz leta 2007 [11] navaja, da je še vedno mogoče, da je opaženo povezavo med izpostavljenostjo nizkofrekvenčnim magnetnim poljem in levkemijo pri otrocih mogoče pripisati drugim razlogom. Še posebej podrobno je treba preučiti problematiko identifikacije vplivnih dejavnikov pri epidemioloških študijah ter izpostavljenost drugim snovem. To bo najverjetneje predmet novih študij.

V Veliki Britaniji [8] so izračunali učinek na stopnjo incidence levkemije, kjer vsako leto zabeležijo okrog 40 novih primerov levkemije (vseh vrst) pri osebah mlajših od 15 let (statistični podatki za Veliko Britanijo za leto 1999). Britanska študija raka kaže, da je 0,4 % otrok izpostavljenih 24-urni povprečni vrednosti 0,4 μ T ali več ter da bi bila ob domnevi, da je tveganje pri tem nivoju dvakrat večje, kljub temu bila dva primera, nadaljnja dva primera na leto pa je mogoče pripisati izpostavljenosti EMS. Te ocene kažejo, da je sleherno presežno tveganje omejeno na zelo majhno število otrok, ki so bili izpostavljeni visokim jakostim magnetnega polja. Če torej epidemiološke študije razkrivajo realno tveganje, se pojavita vsako leto dva otroka z levkemijo. Poleg tega opazimo, da glede na izkušnje britanske študije manj kot polovica otrok, ki so bili izpostavljeni poljem v višini 0,4 μ T ali več, ni živela v neposredni bližini daljnovodov. Te izpostavljenosti so bile posledica oskrbe z elektriko v stanovanjih bodisi zaradi načina ožičenja bodisi zaradi uporabe električnih naprav.

Statistični podatki iz registra raka v RS (<http://www.onko-i.si/rrs>) za obdobje od leta 2001 do leta 2010 (novejši podatki še niso na voljo) kažejo, da je v Sloveniji v povprečju le 11 novih primerov akutne limfatične levkemije pri otrocih. Za zaključke o tveganju za pojav otroške levkemije zaradi izpostavljenosti magnetnim poljem v Sloveniji pa ti podatki ne nudijo dovolj velikega vzorca, ki bi bil primeren za izvedbo ustrezne epidemiološke analize.

Pri vseh izvedenih epidemioloških študijah odnos med vzrokom in posledico ni statistično dokazan. Doslej še ni bilo mogoče potrditi biološkega mehanizma učinkovanja, ki bi razložil pojav levkemije ali

spodbujanje rasti rakavih celic pri otrocih pod vplivom nizkofrekvenčnih magnetnih polj. Brez nedvoumnih dokazov kancerogenih vplivov pri odraslih ali verodostojnih razlag na podlagi eksperimentov na živalih ali izoliranih celic, epidemiološki dokazi niso dovolj močni, da bi opravičili trden zaključek, da takšna polja povzročajo levkemijo pri otrocih. Poleg tega ne poznamo povzročiteljev otroške levkemije, tako da pri vrednotenju morda niso bili upoštevani vsi bistveni dejavniki tveganja. Kljub temu to možno tveganje jemljemo zelo resno in uvajamo ustrezne preventivne ukrepe.

Poudariti je potrebno, da povezava med izpostavljenostjo magnetnim poljem in levkemijo zaradi nekonsistentnosti pri ugotavljanju izpostavljenosti in pomanjkanja podpore v drugih potrebnih raziskavah (predvsem verjetne razlage osnovnih mehanizmov) ne dosega ali ne zadošča kriterijem za nedvoumno potrditev vzročne povezave. Zato je potrebno ugotovljeno povezavo med magnetnimi polji in levkemijo razumeti kot zelo šibko.

Konsenz stroke je strnjen v izjavi Svetovne zdravstvene organizacije [6], ki pravi, da pregled najpomembnejših razpoložljivih znanstvenih raziskav ne daje prepričljive podlage za sklep, da bi lahko magnetna polja negativno vplivala na zdravje ljudi oziroma pri jakostih, ki jih najdemo v bivalnem okolju, povzročala ali pospeševala razvoj raka pri živalih in ljudeh. Številne druge mednarodne organizacije so prišle do enakega zaključka.

9 Ukrepi

9.1 Načelo previdnosti

Ker obstaja znanstvena negotovost o vplivih magnetnih polj na zdravje, je pri izpostavljenosti ljudi magnetnim poljem smiselno upoštevati načelo previdnosti. Pri načelu previdnosti gre za politiko upravljanja tveganja. Upoštevano je ob visoki stopnji znanstvene negotovosti in je izraz potrebe po ukrepanju ob morebitnem resnem tveganju, ne da bi pri tem čakali na izsledke znanstvenih raziskav. Čakanje na dokončne izsledke bi lahko namreč pomenilo tako velike škodljive posledice, da je smiselno ukrepati že ob ugotovljeni znanstveni negotovosti. Če obstaja nejasnost glede obstoja ali razsežnosti tveganja za človekovo zdravje, je smiselno sprejemati zaščitne ukrepe, ne da bi čakali na to, da se tveganja potrdijo.

Zavezo k uvajanju načela previdnosti je v letu 2000 sprejela tudi Evropska komisija [12]. Ukrepi, ki temeljijo na načelu previdnosti, morajo biti:

- prilagojeni izbrani ravni zaščite;
- nediskriminacijski v uporabi, to pomeni, da je treba podobne okoliščine reševati na podoben način;
- združljivi s podobnimi že izvedenimi ukrepi, torej morajo biti primerljivi, kar zadeva cilj in naravo, z ukrepi, ki so bili že izvedeni v podobnih okoljih, ko so bili na voljo vsi znanstveni podatki;
- temeljiti morajo na raziskavi morebitnih koristi in stroškov za ukrepanje oziroma neukrepanje (vključno z analizo ekonomskih stroškov/koristi, ko je to primerno in izvedljivo);
- začasni po naravi, to pomeni, da so v luči novih znanstvenih izsledkov lahko ponovno pregledani;
- sposobni določiti odgovornost za pridobitev znanstvenih dokazov, potrebnih za podrobnejšo oceno tveganja.

V tej definiciji je načelo previdnosti usmerjeno k tveganju, saj zahteva oceno raziskovanja tveganja vključno s pregledom stroškov in koristi. Namenjeno je uporabi pri sestavljanju predpisov o morebitnih resnih zdravstvenih tveganjih, dokler ni na voljo znanstveno bolj utemeljenih odgovorov.

Kljub temu pa se evropska komisija ni odločila [13], da bi načelo previdnosti neposredno vključila v priporočila o omejevanju izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem [4] z uvedbo strožjih mejnih vrednosti. Ocenila je, da bi bilo to neprimerno, saj ne obstajajo dovolj trdni dokazi o mogočih negativnih učinkih magnetnih polj na zdravje ljudi.

Kaj je mogoče narediti glede znanstvene negotovosti na podlagi opredelitve IARC [5], ki NF magnetna polja uvršča med možne kancerogene za ljudi? SZO priporoča sprejetje znanstveno utemeljenih smernic, kakršne so smernice ICNIRP, za zaščito zdravja ljudi pred znanimi tveganji zaradi nizkofrekvenčnih magnetnih polj. Poleg tega odgovorni organi posameznih držav lahko pretehtajo uporabo prostovoljnih preventivnih ukrepov, s katerimi bi zmanjšali izpostavljenosti EMS, dokler znanost ne bo sposobna ponuditi natančnejših informacij o možnosti povezave med izpostavljenostjo magnetnim poljem in otroško levkemijo.



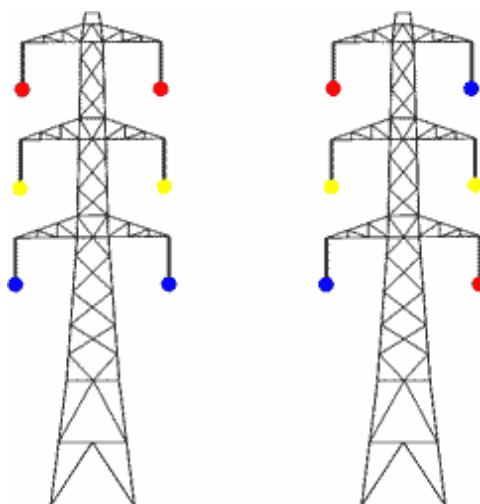
9.2 Ukrepi, ki jih lahko izvajajo lastniki oziroma upravitelji virov

Lastniki oziroma upravitelji virov imajo na voljo več ukrepov, kako lahko zmanjšajo sevalne obremenitve v okolici daljnovodov. Nekateri od teh ukrepov se v določeni meri že izvajajo.

Izvajanje ukrepov je lahko povezano tudi z določenimi stroški. Ker obstaja o morebitnih škodljivih vplivih nizkofrekvenčnih magnetnih polja znanstvena negotovost, tveganje pa je nizko, so vsi ukrepi, povezani z večjimi stroški, neutemeljeni [15].

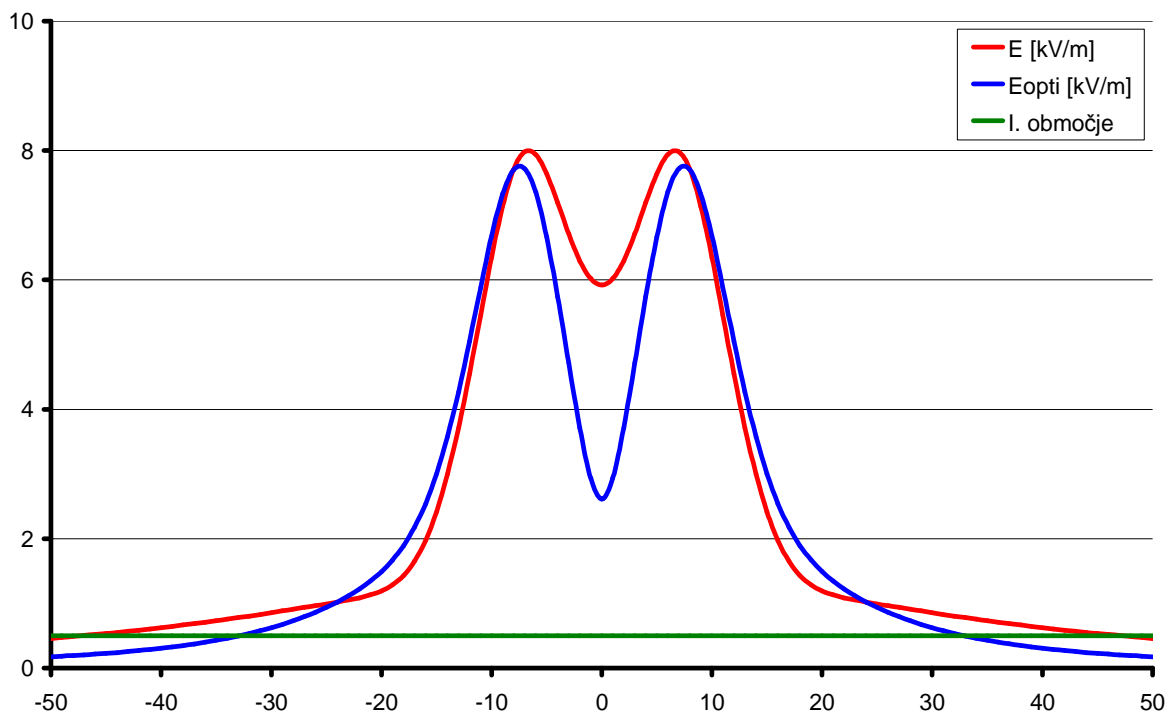
9.2.1 Optimalno nameščanje faz na daljnovodnih stebrih

Na dvosistemskem daljnovodu sta nameščena dva trifazna sistema (več o trifaznem sistemu je opisano v poglavju 2.1 Tipi daljnovodov). Od tega, kako so razporejeni vodniki posameznih faz na stebri, je odvisno, kakšne bodo sevalne obremenitve v okolici daljnovoda. Optimalna razporeditev faz je prikazana na S 28.

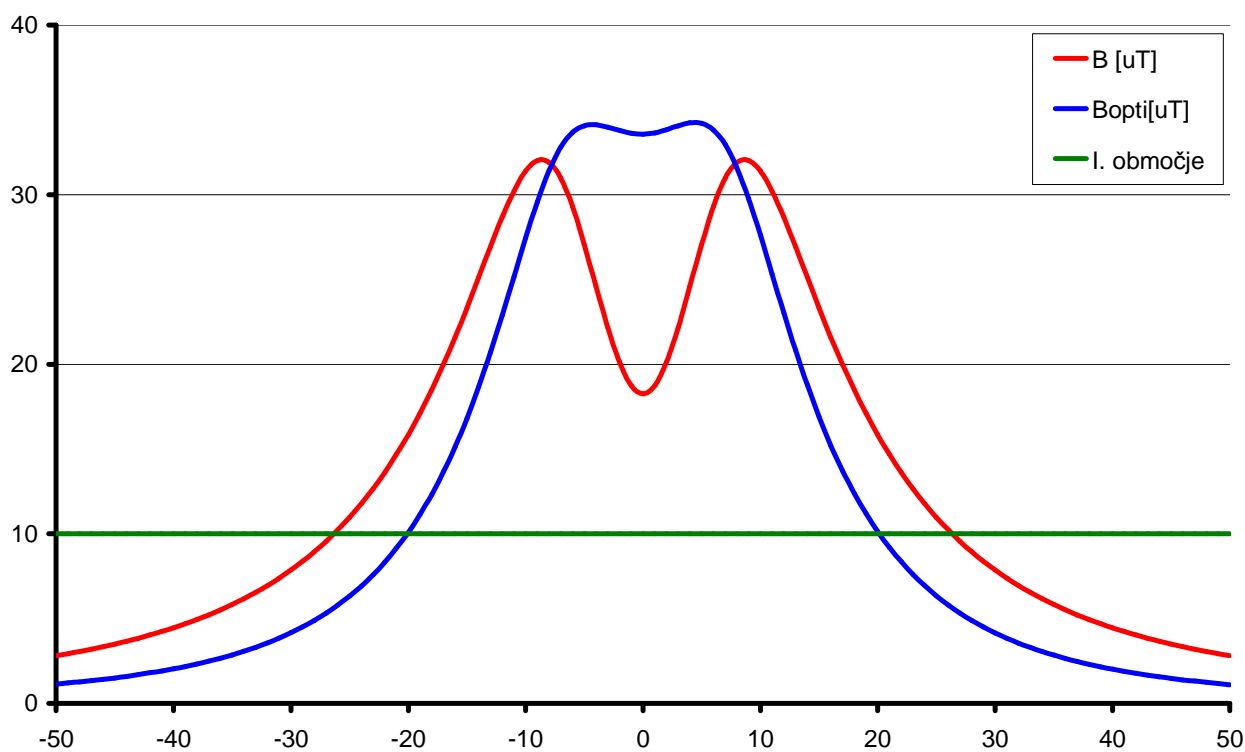


S 28: Optimiziranje faz daljnovoda. Z isto barvo (rdečo, rumeno in modro) so označeni vodniki, ki imajo isto fazo. Na levi strani je prikazan primer, ko vodniki niso optimalno razporejeni, saj so v takem primeru sevalne obremenitve v okolici večje. Na desni sliki so optimalno razporejeni vodniki. V sredini sta na obeh straneh daljnovodnega stebra nameščeni isti fazi, zgoraj in spodaj pa nasprotni. Takšna konfiguracija povzroča najmanjše sevalne obremenitve. Povzeto po [14].

Vpliv optimizacije faz je znan. Kakor je razvidno iz slik S 29 in S 30, se z optimiziranjem faz zmanjša velikost vplivnega območja tako za električno kot tudi za magnetno polje. Vpliv na magnetno polje (slika S 30) je še bolj očitna kot vpliv na električno polje (slika S 29), saj se magnetno polje znatno zniža na skoraj celotnem območju v bližini daljnovoda.



S 29: Prikaz vpliva optimizacije faz na prečni presek električne poljske jakosti E za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod na višini 1 m nad tlemi.



S 30: Prikaz vpliva optimizacije faz na prečni presek gostote magnetnega pretoka B za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod na višini 1 m nad tlemi.

Optimizacijo faz je smiselno uvesti pri vseh novogradnjah dvosistemskih daljnovodov. Na obstoječih dvosistemskih daljnovodih, ki nimajo optimalno razporejenih faz, je optimizacijo faz večinoma mogoče

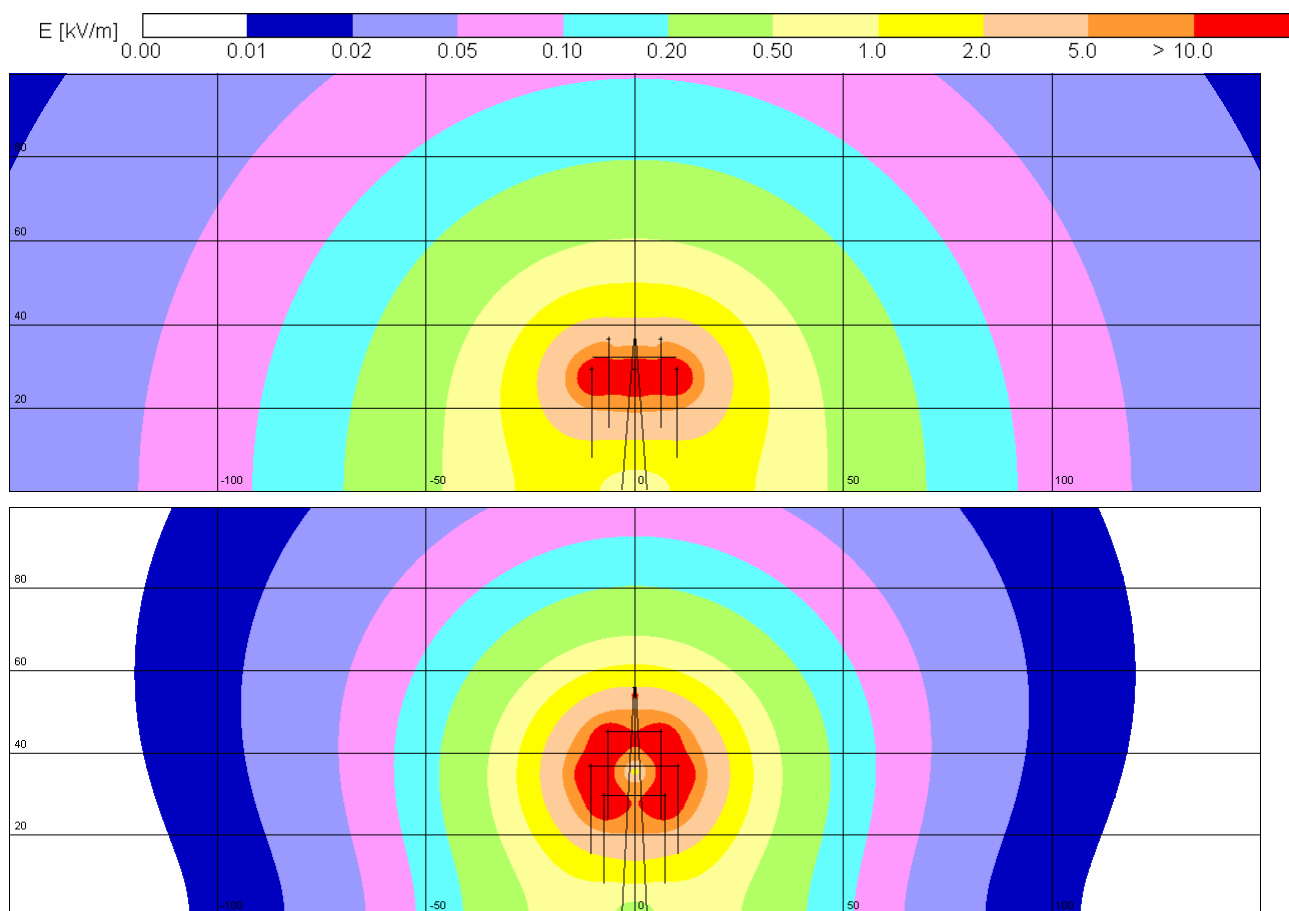


izvesti tudi ob manjših rekonstrukcijah in vzdrževalnih delih. V nekaterih državah [14] so optimizacijo faz lastniki oziroma upravitelji virov sprejeli kot prostovoljen kodeks dobre prakse.

Optimiziranje faz običajno ni povezano z nobenimi dodatnimi stroški, zato je izvajanje tega ukrepa upravičeno in potrebno. To bi moralo postati tudi dobra praksa v Sloveniji.

9.2.2 Izbira najustreznejše geometrije daljnovodnih stebrov

Geometrija daljnovodnih stebrov oziroma razporeditev vodnikov na stebru daljnovoda bistveno vpliva na to, kakšen bodo sevalne obremenitve v okolici daljnovoda. Iz S 31 je razvidno, da so vrednosti električnega polja v okolici dvosistemskega 400 kV daljnovoda tipa sod bistveno nižje od vrednosti v okolici enosistemskega 400 kV daljnovoda tipa Y, in to kljub temu, da dvosistemski daljnovod prenaša dvakrat več električne energije kot enosistemski.



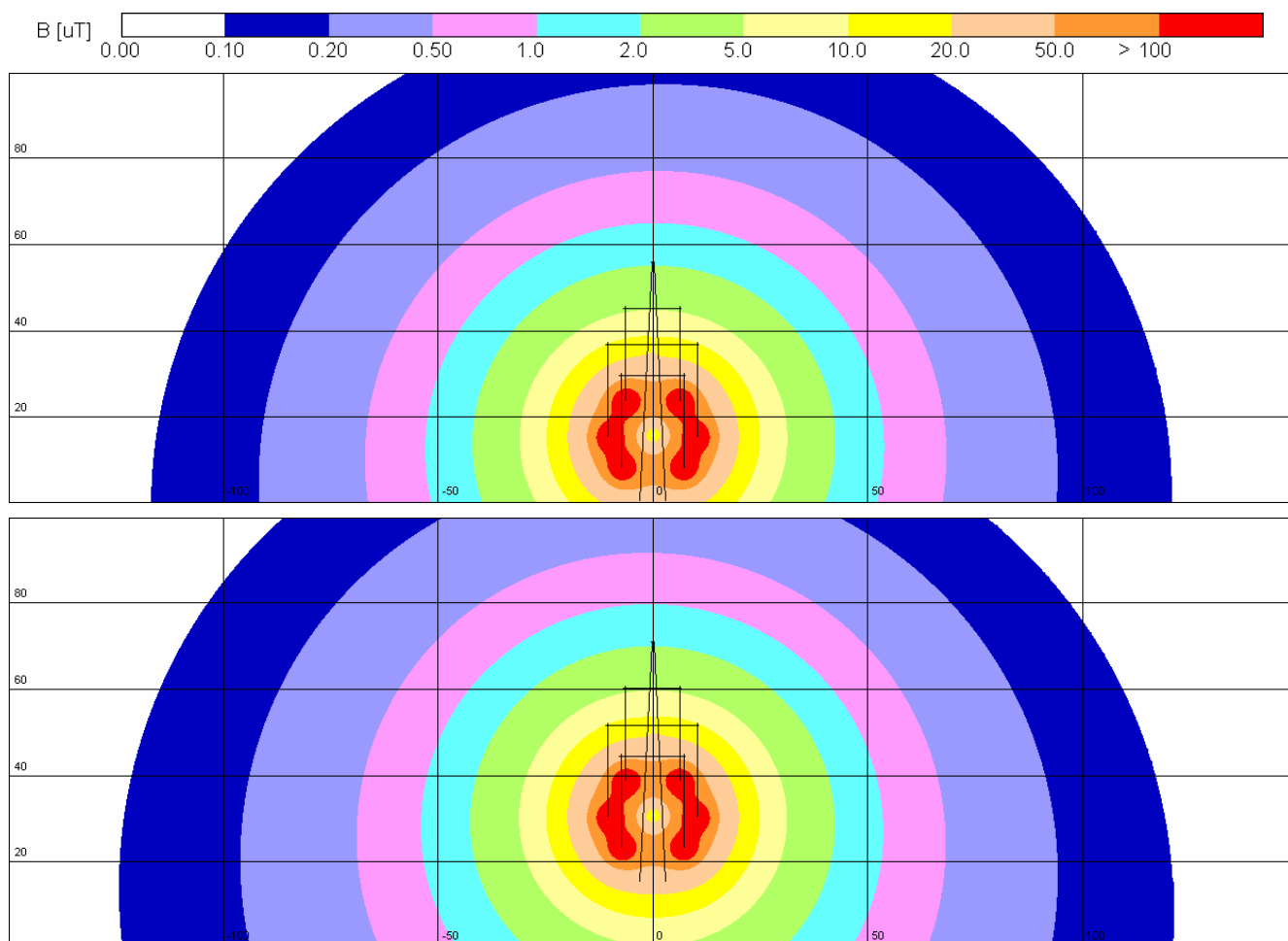
S 31: Primerjava električne poljske jakost za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y (zgoraj) in dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod (spodaj). Izračun je izveden ob daljnovodnem stebru, kjer je vplivno območje najširše.

Največja velikost vplivnega območja posameznih tipov daljnovodov je predstavljena v T 18. Vidno je, da so vplivna območja dvosistemskih daljnovodov manjša od enosistemskih, poleg tega pa je od obravnavanih tipov daljnovoda najbolj ugoden daljnovod tipa sod.

Nazivna napetost [kV]	Tip daljnovoda	Odmik [m] (na nivoju tal)
400	enosistemski Y	46
400	dvosistemski sod	36
220	enosistemski smreka	24
220	dvosistemski sod	18
110	enosistemski smreka	14
110	dvosistemski donava	14
110	dvosistemski sod	11

9.2.3 Zvišanje višine daljnovodnih stebrov in povečanje odmika vodnikov od tal

Z zvišanjem daljnovodnih stebrov ter povečanjem višine vodnikov daljnovoda nad tlemi se zaradi večje oddaljenosti bistveno zmanjša magnetno polje na človeku dostopnih mestih. Ob povečanju višine vodnikov za 15 m se na mestu, kjer so vodniki najnižje in so vrednosti magnetnega polja najvišje, le to zmanjša za približno 4-krat. Vpliv na večjih oddaljenostih od daljnovoda pa je zanemarljiv.



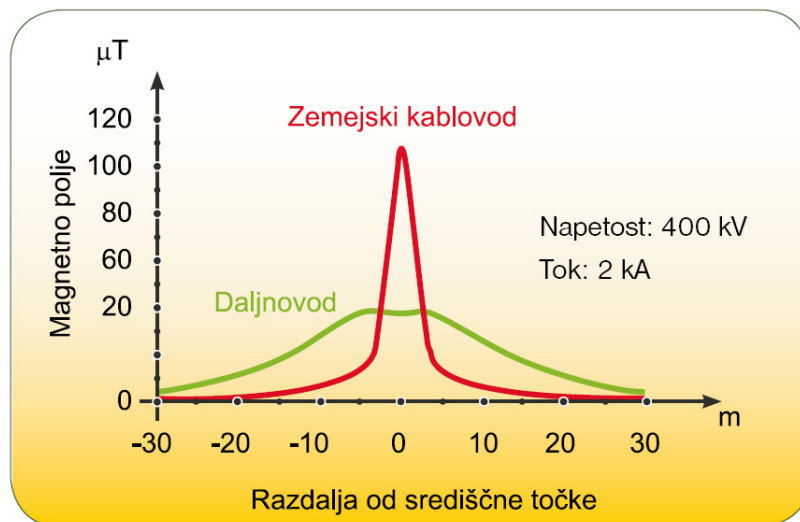
S 32: Primerjava gostote magnetnega pretoka za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod (zgoraj) in 400 kV kablovod spodaj.

Je pa povišanje daljnovidnih stebrov in višja višina vodnikov večkrat nezaželena zaradi večjega vidnega vpliva daljnovidov na okolico.

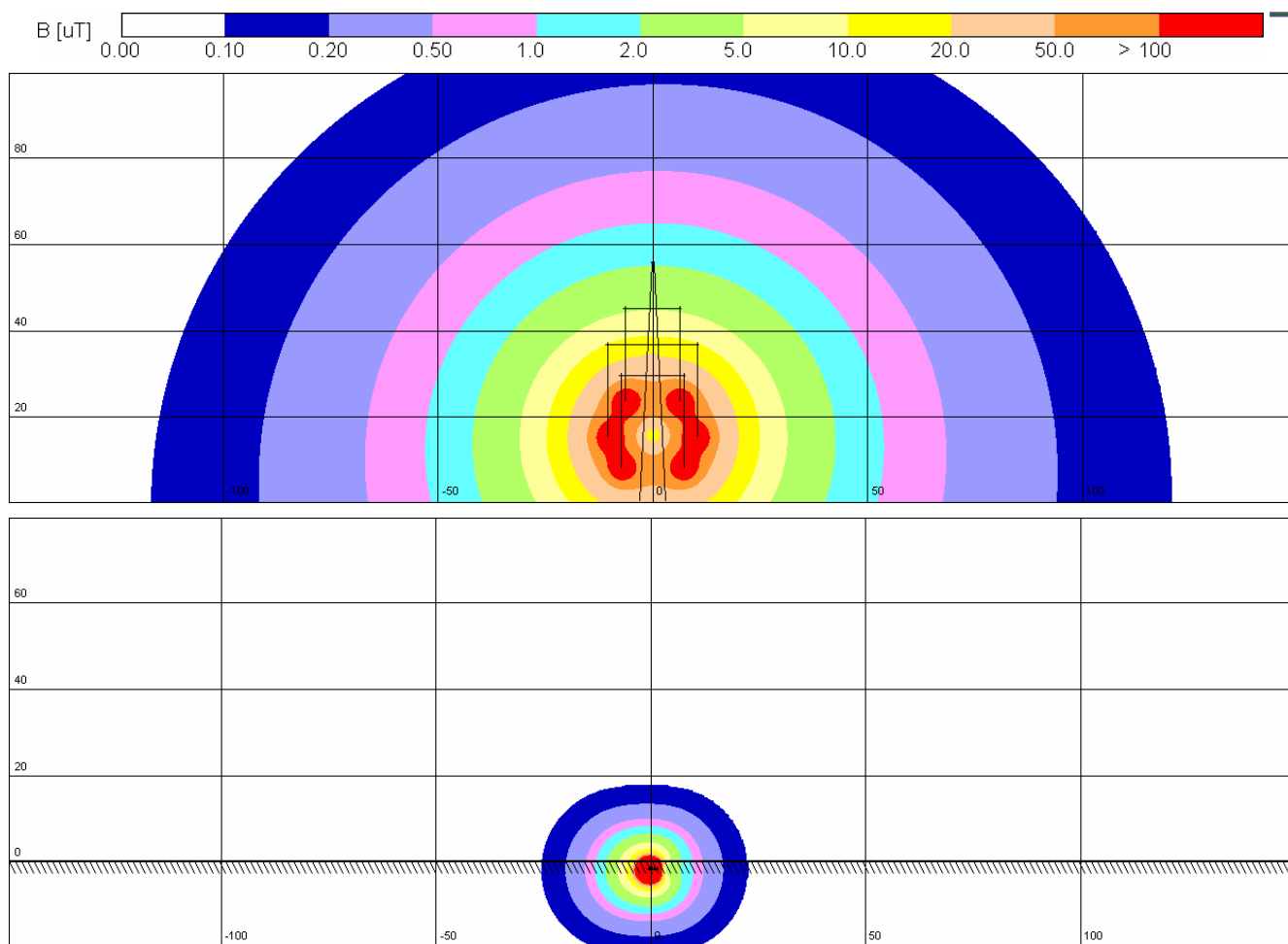
9.2.4 Nadomeščanje daljnovidov s kablovodi

Kablovodi povzročajo v svoji okolici manjše sevalne obremenitve. Razlog je v tem, da kablovodi ne povzročajo električnega polja, prav tako pa je tudi magnetno polje kablovoda zaradi različne geometrije manjše. Sicer je tik nad kablovodom vrednost gostote magnetnega pretoka lahko večja kot pod daljnovidom, saj so vodniki daljnovidov bolj oddaljeni, a z oddaljevanjem od kablovoda magnetno polje bistveno hitreje upada kot z oddaljevanjem od daljnovidov. Prikaz magnetnega polja za 400 kV daljnovid in kablovod je podan na S .

Kljub zmanjšanju sevalnih obremenitev ni pričakovati, da bi se kablovodi v večji meri začeli uporabljati za napetostni nivo 400 kV, saj so povezani z znatno večjimi stroški, ki zgoj zaradi EMS niso upravičeni. V Veliki Britaniji velja stališče, da se samo zaradi EMS ne bodo uporabljali kablovodi namesto daljnovidov [17].



S 33: Magnetna polja v bližini nadzemnega daljnovidov ter podzemnega kablovoda dosega precej različne jakosti. Magnetna polja na višini 1 m nad podzemnim kablovodom so precej višja in zelo hitro upadajo z razdaljo.



S 34: Primerjava gostote magnetnega pretoka za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod (zgoraj) in 400 kV kablovod spodaj.

9.2.5 Simetrično obremenjevanje daljnovodov

S simetričnim obremenjevanjem daljnovodov se zagotavlja, da so sevalne obremenitve kar najmanjše. Glede na to, da ta ukrep ni povezan z nobenimi stroški, je njegovo izvajanje smiselno in upravičeno vedno, razen ko to ni mogoče zaradi tehničnih razlogov.

9.2.6 Izbira opreme z manjšim sevanjem

Ob novogradnji ali rekonstrukciji različnih objektov in naprav se kot eden od kriterijev izbora upošteva tudi EMS naprav. Na primer: če se namesto običajnega stikališča v razdelilni transformatorski postaji uporabi s plinom izolirano, se zmanjša tako velikost stikališča kot tudi sevalne obremenitve, ki jih takšno stikališče povzroča.

9.3 Ukrepi, ki jih lahko izvajajo posamezniki

V smislu izvajanja ukrepov za zmanjšanje osebne izpostavljenosti ima vsak posameznik na voljo nekaj preprostih ukrepov, s katerimi lahko vpliva predvsem na tiste vire EMS, ki se nahajajo v njegovi neposredni bližini, in to so običajno gospodinjski aparati.

9.3.1 Ukrepi, povezani z gospodinjskimi aparati in drugimi električnimi aparati doma

- Izklop električnih naprav, ko jih ne uporabljamo. Da bi se izognili tudi električnemu polju, napravi iztaknemo vtič iz vtičnice.
- Povečanje oddaljenosti od električnih naprav. Z večanjem oddaljenosti se tako električno kot tudi magnetno polje hitro manjšata. Oddaljenost se lahko povečuje tako, da se zadržujemo dlje od različnih uporabnikov kot predhodno ali tako, da se električne naprave premakne stran od območij, kjer se zadržujemo dlje časa.
- Skrajšanje časa, ko se zadržujemo v bližini električnih naprav.
- Če uporabljamo električno grelno blazino za gretje postelje, jo čez noč, ko smo v postelji, izključimo.
- V bližini postelje naj se električne naprave, kot so radijske budilke in podobno, nahajajo najmanj en meter stran od postelje.
- Nekatero naprave, kot so brivski aparat in sušilnik za lase, povzročajo velike sevalne obremenitve. Narejene so tako, da se uporabljajo neposredno ob telesu; kljub temu bo njihov prispevek h celotnim 24-urnim sevalnim obremenitvam majhen, saj jih uporabljamo le kratek čas.
- Kar največ električnih naprav umaknemo iz otroških sob ali jih premaknemo tako, da so kar najbolj oddaljene od mest, ker se zadržujemo dlje časa.
- Posteljo namestimo stran od električnih naprav in električnih kablov.

9.3.2 Ukrepi, povezani z daljnovodi in transformatorskimi postajami

- Namestitev spalnice na tisti del hiše ali stanovanja, ki je bolj oddaljen od bližnjega vira (transformatorska postaja, daljnovod). Ta ukrep se bo najbolj poznal v primeru, ko je daljnovod ali transformatorska postaja oddaljen le nekaj metrov.
- Mogoči so tudi bolj radikalni ukrepi, ki pa niso smiselni in upravičeni. Zunanje magnetno polje je mogoče znatno zmanjšati z uporabo posebnih zaščitnih materialov v obliki kovinskih plošč, ki jih je potrebno namestiti na celoten prostor ali objekt, kjer želimo zmanjšati magnetno polje. Drug način zmanjševanja magnetnega polja je aktivno ničenje, oba ukrepa pa sta draga, se za stanovanjske objekte v praksi ne uporabljata in njihova uporaba ni smiselna ter upravičena.

9.3.3 Ukrepi, povezani z električnim distribucijskim omrežjem

- Možnosti za zmanjšanje izpostavljenosti zaradi električnega distribucijskega omrežja so majhne.
- Namestitev spalnice na tisti del hiše ali stanovanja, ki je bolj oddaljen od bližnjega vira (transformatorska postaja, daljnovod). Ta ukrep se bo najbolj poznal v primeru, ko je daljnovod ali transformatorska postaja oddaljena le nekaj metrov.
- Modifikacije lastnega električnega priključka z vidika zmanjšanja sevanja, kar pa je povezano s koordinacijo z elektrodistribucijskim podjetjem in z dodatnimi stroški.

9.3.4 Ukrepi, povezani s hišnimi električnimi inštalacijami

- Pri izdelavi novih električnih inštalacij lahko inštalaterji z nekaj preprostimi ukrepi zmanjšajo sevanja, ki jih povzroča električna inštalacija. Že vnaprej se načrtuje razporeditev prostorov in se



inštalacije umakne stran od območij, kjer se zadržujemo dlje časa. Električno omarico se namesti na mesto, kjer se ne zadržujemo dlje časa. Električne vode do glavnih porabnikov (bojler, pralni in sušilni stroj, pomivalni stroj, kuhinjska pečica, električna kuhalna plošča) se napelje stran od območij, kjer se zadržujemo dlje časa, enako se ravna tudi z glavnim napajalnim kablom. Vsi razvodi se izvedejo radialno in ne krožno. Fazni vodnik in nični vodnik sta vedno speljana skupaj do enega uporabnika. Poskrbi se, da se v raznih drugih prevodnih strukutrah (vodovodna in plinska napeljava, razvod za centralno ogrevanje...) ne ustvarjajo krožne zanke, tudi z vstavljanjem plastičnih oziroma električno neprevodnih odsekov. Takšni ukrepi niso povezani z nobenimi dodatnimi stroški in je njihovo izvajanje ob izdelavi novih inštalacij smiselno ter upravičeno.

- Pri izdelavi novih električnih inštalacij se lahko uporabijo posebni inštalacijski materiali, ki ob pravilni izvedbi zmanjšajo izpostavljenost tako električnemu kot tudi magnetnemu polju. Takšna izvedba inštalacij je povezana z dodatnimi stroški v višini nekaj 10 odstotkov. Upravičenost takšnega ukrepa je smiselna, če se izvaja nadstandardna gradnja, kjer so tudi različni drugi mogoči dejavniki tveganja zmanjšani na minimalne vrednosti.
- Obstoječe inštalacije je mogoče nadomestiti z novimi, pri katerih se upošteva vidik izpostavljenosti EMS, vendar zgolj zaradi izpostavljenosti EMS to ni upravičeno. Če pa je potrebna zamenjava električne inštalacije iz drugih razlogov, je ob tem smiselno upoštevati iste ukrepe kot za novo inštalacijo.

9.4 Ukrepi, ki jih lahko izvajajo državne inštitucije

Nekatera mesta in države so uvedle načelo razumne preventive v povezavi z izpostavljenostjo prebivalstva EMS. Razumna preventiva je ukrepe za zadrževanje ljudi zunaj območij s povišanimi vrednostmi EMS s preusmeritvijo naprav in predelavo električnih sistemov in naprav. Razumnost je opredeljena kot izvajanje teh preventivnih ukrepov ob ničnih ali minimalnih stroških.

9.4.1 Prostorsko načrtovanje

- Izogibanje nameščanju otroških igrišč pod daljnovodi.
- V urbanih območjih zmanjšati dostopnost in rabo prostora na območjih s povišanimi vrednostmi EMS (pod daljnovodi, v neposredni bližini transformatorskih postaj) z ustrezno rabo prostora (npr. parkirišče) in vegetacijo.
- Transformatorske postaje nameščati tako, da niso neposredno ob spalnicah ali dnevnih sobah, kjer se ljudje zadržujejo dalj časa.
- Ob prostorskem načrtovanju novih objektov upoštevati njihovo rabo ter umestitev v povezavi z EMS. Objekte oziroma dele objektov (spalnice), namenjene dalj časa trajajočemu zadrževanju ljudi, še posebej otrok, umeščati stran od virov magnetnih polj.

9.4.2 Gradbena zakonodaja

V zakonodaji o gradnji objektov določiti pogoje za izvedbo električnih inštalacij v večstanovanjskih objektih. Opredeliti, da mora biti notranji električni razvod nameščen stran od prostorov, namenjenih dalj časa trajajočemu zadrževanju (spalnice, dnevne sobe, kabineti,...). Določiti, da se notranji električni razvodi izvajajo kot kompaktni – čim manjša oddaljenost med vodniki, ki vodijo do in od uporabnikov.

9.4.3 Ozaveščanje in informiranje

Priporočamo izvajanje »pasivnih sistemskih ukrepov«, med katere sodijo kontinuirano obveščanje in izobraževanje javnosti ter spodbujanje podjetij za prenos in distribucijo električne energije, naj prostovoljno zmanjšajo izpostavljenost ljudi, kjer je to možno ob sprejemljivih stroških.



10 Zaključek

V Sloveniji na področju EMS velja stroga zakonodaja. Mejne vrednosti za bivalna območja so bistveno nižje od mednarodno priporočenih. Za izpostavljenosti, manjše od mednarodno priporočenih mejnih vrednosti, ni potrjenih škodljivih učinkov na zdravje, obstaja pa relativno nizko tveganje za pojav otroške levkemije. Tudi če se bo v prihodnosti to tveganje potrdilo, je tako pojavnost otroške levkemije kot tudi povečanje tveganja zelo majhno.

Meritve sevalnih obremenitev v stanovanjih so pokazale, da v vseh primerih zakonsko določene mejne vrednosti nikjer niso presežene. Če ni v bližini daljnovoda ali transformatorske postaje, so običajno vrednosti magnetnega polja v stanovanjih nizke. Vendar pa so povprečne vrednosti magnetnega polja odvisne od številnih drugih naprav, ki jih uporabljamo doma ali pa se uporabljajo za električno ožičenje. Tak primer predstavlja lokacija 3, kjer je dominanten vir magnetnega polja v spalnici, ki dosega primerljive vrednosti kot 50 m oddaljen 400 kV daljnovod, **inštalacijski jašek**. Rezultati meritev tudi kažejo, da so tudi v primeru, ko se v neposredni bližini nahaja več daljnovodov, sevalne obremenitve relativno nizke (lokacija 6).

Podrobne analize rekonstrukcije obstoječega enosistemskega 220 kV daljnovoda v dvosistemski 400 kV daljnovod kažejo, da se

- električno polje in s tem povezano vplivno območje povečata za 50 %
- magnetno polje na oddaljenostih, manjših od 100 m, poveča ob predpostavki, da se bistveno poveča obremenjenost daljnovoda. Če se količina energije poveča do 3 krat, je magnetno polje po rekonstrukciji povsod izven vplivnega območja manjše kot pred rekonstrukcijo
- magnetno polje na oddaljenostih, večjih od 100 m, zmanjša

Ukrepi za zmanjševanje izpostavljenosti so upravičeni, če so povezani z minimalnimi stroški. Obsežna študija [14], ki jo je izdelala Angleška vlada kaže, da vsakršno bistveno povečanje stroškov z vidika zmanjševanja magnetnih polj pod zakonsko določenimi vrednostmi ter posledično morebitnega tveganja ni smiselno in upravičeno.

11 Literatura

- [1] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74: 494-522, 1998.
- [2] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Physics* 99: 818-836, 2010.
- [3] Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, UL RS 70/1996
- [4] ES. Priporočila Sveta (1999/519/ES) z dne 12. julija 1999 o omejevanju izpostavljenosti splošne javnosti elektromagnetnim sevanjem (0 Hz- 300 GHz). UL EU L199, 1999
- [5] IARC. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 80. Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC, marec 2002.
- [6] WHO. WHO fact sheet 322. Electromagnetic fields and public health. Exposure to extremely low frequency fields. WHO, junij 2007.
- [7] NIEHS. Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields. NIEHS, avgust 1998.
- [8] AGNIR. ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer: Report of an Advisory Group on Non-Ionising Radiation. NRPB, 2001.
- [9] De Gezondheidsraad. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2001. De Gezondheidsraad, 2001.
- [10] ICNIRP. Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health. *Environment Health Perspect* 109:911-934, 2001.
- [11] WHO. Environmental health criteria 238. Extremely low frequency fields. WHO, 2007.
- [12] Evropska komisija. Communication from the Commission on the precautionary principle COM(2000). Evropska komisija, 2000.
- [13] Evropski svet. Implementation report on the Council Recommendation limiting the public exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). Evropski svet, 2008.
- [14] Department of Energy & Climate Change. Optimum Phasing of high voltage double-circuit Power Lines. A voluntary Code of Practice. Department of Energy & Climate Change, 2012.
- [15] HPA. Reducing exposure to electric magnetic fields. Dostopno na: <http://www.hpa.org.uk/Topics/Radiation/UnderstandingRadiation/UnderstandingRadiationTopics/ElectromagneticFields/ElectricAndMagneticFields/ReducingExposureToElectricAndMagneticFields/>
- [16] W&W Radiological and Environmental Consultant Services. Guidance Manual for the Preparation of an EMF Management Plan for The City Of Toronto. Toronto Public Health, 2010.
- [17] National Grid. Ways of reducing exposure to EMFs. Dostopno na: <http://www.emfs.info/Sources+of+EMFs/Reducing/>
- [18] SAGE. Precautionary approaches to ELF EMFs. First Interim Assessment: Power Lines and Property, Wiring in Homes, and Electrical Equipment in Homes. SAGE, 2007.
- [19] SAGE. Second Interim Assessment 2009 – 2010. Electricity Distribution (including low - voltage and intermediate - voltage circuits and substations) and Report on Discussions on Science. SAGE, 2010.

