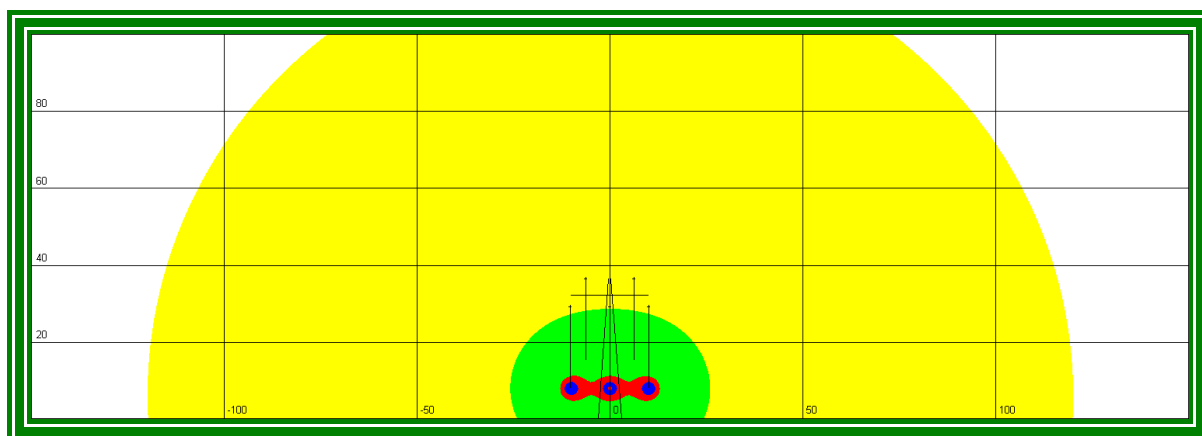


VPLIVNA OBMOČJA PRI RAZLIČNIH POGOJIH OBREMENJENOSTI VISOKONAPETOSTNIH DALJNOVODOV

Poročilo o študiji



Avtorji: Blaž Valič, Tomaž Trček in Peter Gajšek

Izdajatelj: Inštitut za neionizirna sevanj, Pohorskega bataljona 215, 1000 Ljubljana
November 2016

Inštitut za neionizirna sevanja (INIS) je kot neodvisna in nevladna organizacija registrirana za raziskave in razvoj na interdisciplinarnem področju problematike neionizirnih elektromagnetnih sevanj.

V okviru INIS deluje skupina, ki je usposobljena za najzahtevnejše razvojno-raziskovalne naloge s področja tehniškega, administrativnega, pravnega in zdravstvenega nadzora nad neionizirnimi sevanji.

Ker smo mednarodno priznana institucija na področju varstva okolja in varovanja zdravja pred neionizirnimi elektromagnetnimi sevanji, smo s strokovnim kadrom, bogatimi mednarodnimi povezavami in sodobno laboratorijsko opremo vrhunsko usposobljeni, da odgovorimo na vsa vaša vprašanja glede problematike neionizirnih elektromagnetnih sevanj v bivalnem in delovnem okolju.

Inštitut za neionizirna sevanja je s strani Slovenske akreditacije akreditirani organ za izvajanje meritev elektromagnetnih sevanj v frekvenčnem območju od 0 Hz do 40 GHz ter optičnih sevanj v območju od 200 - 3000 nm. Je hkrati tudi pooblaščen izvajanje prvih meritev in obratovalnega monitoringa za vire NF in VF elektromagnetnega sevanja s strani Ministrstva za kmetijstvo in okolje (Pooblastilo št. 35459-1/2014-2).



Kazalo

1	Nizkofrekvenčna električna in magnetna polja	5
2	Visokonapetostni daljnovodi v Sloveniji	6
3	Mejne vrednosti	8
3.1	Vrednotenje sevalnih obremenitev	8
4	Obremenitve visokonapetostnih daljnovodov	10
5	Numerični izračuni sevalnih obremenitev za različne tipe 110, 220 in 400 kV daljnovodov	12
5.1	Vplivno območje	13
5.2	Dvosistemski 110 kV daljnovod tipa sod	14
5.3	Dvosistemski 220 kV daljnovod tipa sod	16
5.4	Dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod	18
5.5	Enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y	20
6	Sklep	22
7	Literatura	24



Povzetek

Pri visokonapetostnih daljnovodih se napetost daljnovoda spreminja le minimalno, medtem ko pa se tok spreminja sorazmerno z obremenjenostjo daljnovoda. Ker je magnetno polje daljnovoda povezano s tokom v daljnovodu, se tudi vrednosti magnetnega polja v okolici daljnovoda spreminjajo z njegovo obremenjenostjo. Najvišje vrednosti bi bile prisotne takrat, ko bi bil daljnovod nazivno obremenjen, dejansko pa so daljnovodi bistveno manj obremenjeni.

Da bi ugotovili, kakšna so vplivna območja daljnovodov pri različnih pogojih obremenjenosti, so bile na podlagi podatkov o obremenjenosti štirih daljnovodov določene najvišja dnevna povprečna vrednost v enem letu, najvišja mesečna povprečna vrednost v enem letu in letna povprečna vrednost.

Na podlagi teh podatkov smo izvedli numerične izračune vplivnih območij za dvosistemske 110, 220 in 400 kV daljnovode tipa sod in enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y, in sicer za naslednje obremenitve: nazivne obremenitve (100 %), najvišje dnevne povprečne vrednosti (60 % nazivne), najvišje tedenske povprečne vrednosti (50 % nazivne), najvišje mesečne povprečne vrednosti (40 % nazivne) in letne povprečne vrednosti (30 % nazivne).

Izračuni kažejo, da so pri 30 odstotni obremenitvi območja, kjer vrednosti magnetnega polja presegajo jakosti $0,4 \mu\text{T}$, bistveno manjša do območij pri nazivni obremenitvi. Za dvosistemski 110 kV daljnovod tipa sod se območje iz 32 m zmanjša na 20 m, za dvosistemski 220 kV daljnovod tipa sod se iz 42 m zmanjša na 27 m, za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod se iz 72 m zmanjša na 47 m in za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y iz 120 m na 66 m. 30 odstotna obremenjenost daljnovoda predstavlja letne povprečne vrednosti, ki najbolje odražajo povprečne izpostavljenosti v bližini daljnovoda. Če pa namesto letnih povprečnih vrednosti upoštevamo najvišje dnevne povprečne vrednosti v času enega leta, se območja, kjer vrednosti magnetnega polja presegajo jakosti $0,4 \mu\text{T}$, do območij pri nazivni obremenitvi zmanjša v manjši meri. Za dvosistemski 110 kV daljnovod tipa sod se območje iz 32 m zmanjša na 26 m, za dvosistemski 220 kV daljnovod tipa sod se iz 42 m zmanjša na 35 m, za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod se iz 72 m zmanjša na 60 m in za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y iz 120 m na 93 m. Ob tem velja poudariti, da 60 odstotna obremenitev, kolikor približno znašajo najvišje dnevne povprečne vrednosti, predstavlja najneugodnejšo variantno povprečnih vrednosti. Od obravnavanih štirih daljnovodov sta bila v času enega leta samo dva obremenjena 60 in več odstotno, in sicer eden 3 odstotke časa in drugi 25 odstotkov časa.

Izračuni kažejo, da so pri 30 odstotni obremenitvi območja, kjer vrednosti magnetnega polja presegajo jakosti $0,4 \mu\text{T}$, bistveno manjša do območij pri nazivni obremenitvi. Za dvosistemski 110 kV daljnovod tipa sod se območje iz 32 m zmanjša na 20 m, za dvosistemski 220 kV daljnovod tipa sod se iz 42 m zmanjša na 27 m, za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod se iz 72 m zmanjša na 47 m in za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y iz 120 m na 66 m. 30 odstotna obremenjenost daljnovoda predstavlja letne povprečne vrednosti, ki najbolje odražajo povprečne izpostavljenosti v bližini daljnovoda. Če pa namesto letnih povprečnih vrednosti upoštevamo najvišje dnevne povprečne vrednosti v času enega leta, se območja, kjer vrednosti magnetnega polja presegajo jakosti $0,4 \mu\text{T}$, do območij pri nazivni obremenitvi zmanjša v manjši meri. Za dvosistemski 110 kV daljnovod tipa sod se območje iz 32 m zmanjša na 26 m, za dvosistemski 220 kV daljnovod tipa sod se iz 42 m zmanjša na 35 m, za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod se iz 72 m zmanjša na 60 m in za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y iz 120 m na 93 m. Ob tem velja poudariti, da 60 odstotna obremenitev, kolikor približno znašajo najvišje dnevne povprečne vrednosti, predstavlja najneugodnejšo varianto. Od obravnavanih štirih daljnovodov sta bila v času enega leta samo dva obremenjena 60 in več odstotno, in sicer eden 3 odstotke časa in drugi 25 odstotkov časa.

Ključne besede:

EMS, NF, magnetno polje, izpostavljenost, vplivna območja, zakonodaja

1 Nizkofrekvenčna električna in magnetna polja

Tako električno kot tudi magnetno polje nastane zaradi električnih nabojev. Električno polje nastane zaradi neenakomerne porazdelitve električnih nabojev. Med območjem, kjer je več električnih nabojev in območjem, kjer je manj električnih nabojev, se pojavi električno polje, ki ga merimo v voltih na meter [V/m]. Magnetno polje nastane zaradi električnega toka, ki je gibanja nabojev. Merimo ga v enoti tesla [T] oziroma manjši enoti mikro tesla [μT].

Po načinu širjenja v prostoru in prehajanju skozi različne materiale se nizkofrekvenčno magnetno in električno polje med seboj pomembno razlikujeta. Vsak električno prevoden material bistveno zmanjša širjenje električnega polja. Električno polje je znotraj objektov zaradi delovanja virov izven objekta (npr. daljnovoda) zelo majhno, zato stavbe zaradi učinka zaslanjanja nudijo dobro zaščito pred električnimi polji. Na širjenje električnega polja poleg objektov vpliva že vegetacija npr. drevesa. Magnetno polje pa se skozi večino materialov širi nemoteno, kar pomeni, da je za izpostavljenost v zaprtih prostorih pomembnejši podatek o vrednosti magnetnega polja kot o vrednosti električnega polja. Jakost električnega in magnetnega polja se z oddaljenostjo od vira zmanjšuje.



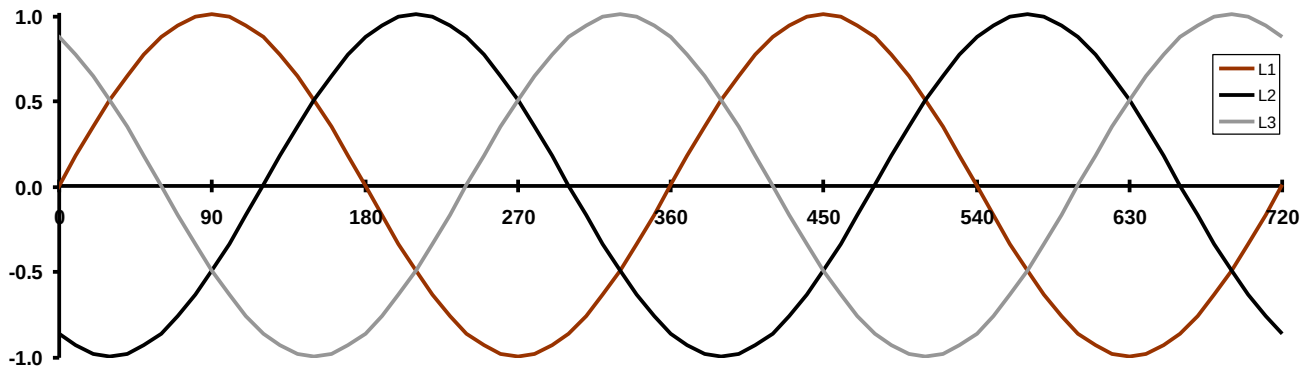
S 1: Vpliv objektov in vegetacije na porazdelitev električnega polja v bližini visokonapetostnega daljnovoda.



2 Visokonapetostni daljnovodi v Sloveniji

Za distribucijo in prenos električne energije se v Sloveniji uporabljajo različni tipi daljnovodov. Razlikujejo se tako po nazivni napetosti, ki je lahko 110, 220 ali 400 kV, kot tudi po številu nameščenih sistemov, in razporeditvi vodnikov na stebrih daljnovoda.

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 tok in napetost v vodnikih nihata sinusno in 50 krat v sekundi zamenjata svojo smer. V vseh treh vodnikih, ki skupaj tvorijo en trifazni sistem, pa se toki in napetosti razlikujejo v tem, da so med seboj časovno zamaknjeni za 120° (S 2). Ko 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 110, 220 in 400 kV daljnovode se uporabljajo stebri tipa jelka in Y, za dvosistemske pa tipa donau in sod.





Vir: www.eles.si

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



S 4: Najpogostejši tip stebrov dvosistemskega daljnovoda: sod.

3 Mejne vrednosti

Namen mejnih je zagotoviti, da zaradi izpostavljenosti EMS ne bo prihajalo do kakršnih koli znanih tveganj za zdravje prebivalstva. Mejne vrednosti so odraz trenutnega stanja stroke na tem področju in so določene tako, da za izpostavljenosti, manjše od mejnih vrednosti, ni znanih nobenih škodljivih vplivov na zdravje.

V Sloveniji od leta 1996 velja Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [6]. Uredba določa, kaj so viri sevanj, kakšni so pogoji za njihovo obratovanje, določa mejne vrednosti in postavlja zahteve za izvajanje monitoringa nad viri sevanj.

Mejne vrednosti, ki jih določa uredba, so skladne s smernicami Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) iz leta 1998 [1] ter posledično s priporočili Evropskega sveta [3]. ICNIRP je najvišja mednarodna avtoriteta pri pripravi mejnih vrednosti, saj ICNIRP redno spremlja vso znanstveno literaturo o izpostavljenosti EMS in jo presoja po znanih in vnaprej določenih strogih kriterijih. Na podlagi presoje znanstvene literature ICNIRP pripravlja predloge za mejne vrednosti za izpostavljenost elektromagnetnim (in tudi optičnim) sevanjem, katerim sledijo številne svetovne organizacije in države. Predlagane mejne vrednosti temeljijo na znanih škodljivih vplivih EMS na človeka, ki so pri nizkih frekvencah povezani predvsem z vzdraženjem živčnih ali mišičnih tkiv. Zaradi razlik med ljudmi (starost, velikost, telesni ustroj) se pri določanju mejnih vrednosti za prebivalstvo upošteva kar 50-kratni varnostni faktor, saj so mejne vrednosti določene kar 50-krat nižje od jakosti, pri katerih bi nastali znani škodljivi vplivi. Uredba je poleg tega uvedla še dodatni varnostni faktor 10 za bolj občutljiva območja (I. območje varstva pred sevanji). S tem se Slovenija uvršča med države z najstrožjimi zakonsko določenimi mejnimi vrednostmi v EU.

Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji ICNIRP stalno spremlja in presoja raziskave na področju vplivov elektromagnetnih sevanj na zdravje. V letu 2010 je komisija mejne vrednosti na podlagi analize vseh znanstvenih raziskav dopolnila in jih za nizke frekvence celo povišala [2]. Povišanje mejnih vrednosti za izpostavljenost elektromagnetnim sevanjem je evropski parlament potrdil tudi za poklicno izpostavljenost. Direktiva 2013/35/EU [4] iz leta 2013 je za nizkofrekvenčna EMS določila bistveno višje mejne vrednosti do predhodne direktive 2004/40/ES [5] iz leta 2004.

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...). Mejne vrednosti so za NF EMS podana v T 1 tako za električno poljsko jakost kot tudi za gostoto magnetnega pretoka.

3.1 Vrednotenje sevalnih obremenitev

Sevalne obremenitve se vrednoti tako, da se izmerjene vrednosti primerja z mejnimi vrednostmi. Metodologija vrednotenja sevalnih obremenitev je določena v uredbi o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [6]. Za vrednotenje sevalnih obremenitev zaradi delovanja nizkofrekvenčnih virov uporablja naslednja enačba:

$$E\ 1 \quad SI = \frac{B_i E_i}{B_m E_m} \times 100 \%,$$

kjer je: SI - indeks izpostavljenosti v procentih, B_i , E_i - izmerjena oziroma izračunana vrednost in B_m , E_m - mejna vrednost.

T 1: Pregled mejnih vrednosti za nizkofrekvenčna električna in magnetna polja.

	mejne vrednosti za	
	električno poljsko jakost E [V/m]	gostoto magnetnega pretoka B [μT]
Uredba I. območje	500	10
Uredba I. rekonstrukcija*	1.800	15
Uredba II. območje	10.000	100
Priporočila Evropskega sveta	5.000	100
Smernice ICNIRP 2010	5.000	200

* V primeru rekonstrukcije obstoječega podzemnega ali nadzemnega voda veljajo v bivalnih prostorih in vseh drugih prostorih zgradb, v katerih se zadržujejo ljudje, posebne mejne vrednosti.

4 Obremenitve visokonapetostnih daljnovodov

Kakor je bilo omenjeno v prvem poglavju, je magnetno polje posledica električnih tokov. Pri visokonapetostnih daljnovodih se napetost daljnovoda spreminja le minimalno, medtem ko pa se tok spreminja sorazmerno z obremenjenostjo daljnovoda. Najvišjemu toku, za katerega je načrtovan daljnovod, pravimo **nazivni tok**. Daljnovodi niso nikoli obremenjeni z nazivnim tokom, se pa najvišje vrednosti toka lahko približajo nazivnim. Za nekatere daljnovode pa so tudi najvišje vrednosti bistveno nižje od nazivnih, kar je razvidno iz tabele T 2.

Zato je tudi posledično povprečno magnetno polje, ki ga povzročajo daljnovodi, bistveno nižje od največjega magnetnega polja ob nazivnih obremenitvah. Za štiri različne daljnovode, predstavljene v tabeli T 2, smo na podlagi dostopnih podatkov o obremenjenosti različnih daljnovodov na območju Slovenije v letu 2015 izbrali naslednje vrednosti tokov:

- nazivna vrednost toka, to je vrednost toka, za katero je daljnovod načrtovan,
- najvišja vrednost v letu 2015,
- najvišja dnevna povprečna vrednost v letu 2015,
- najvišja tedenska povprečna vrednost v letu 2015,
- najvišja mesečna povprečna vrednost v letu 2015 in
- letna povprečna vrednost v letu 2015.

T 2: Nazivne ter povprečne vrednosti toka za različne tipe visokonapetostnih daljnovodov na območju Slovenije.

Daljnovod	Nazivni tok [A]	Najvišja vrednost v času enega leta [A]	Najvišja dnevna povprečna vrednost [A]	Najvišja tedenska povprečna vrednost [A]	Najvišja mesečna povprečna vrednost [A]	Letna povprečna vrednost [A]
110 kV tipa jelka	800	371	261	206	188	134
110 kV tipa sod	2×800	785, 782	516, 514	363, 362	348, 357	284, 283
220 kV tipa jelka	800	787	567	482	427	275
400 kV tipa sod	2×1600	956, 1074	721, 718	590, 587	454, 458	311, 310

Iz podatkov v tabeli T 2 je razvidno, da so že najvišje vrednosti toka v času enega leta za nekatere daljnovode v Sloveniji bistveno nižje od nazivnih vrednosti. Najvišje vrednosti toka v obdobju enega leta dosežejo med 98 odstotki za 220 kV daljnovod in 46 odstotki za 110 kV daljnovod. Najvišja dnevna povprečna vrednost se je gibala med 32 in 71 odstotki, najvišja tedenska povprečna vrednost se je gibala med 25 in 60 odstotki, najvišja povprečna mesečna vrednost se je gibala med 23 in 53 odstotki, letna povprečna vrednost pa se je gibala med 17 in 36 odstotki.

T 3: Delež časa, ko so različni tipi visokonapetostnih daljnovodov na območju Slovenije obremenjeni nad določenim deležem nazivne obremenjenosti.

Daljnovod	10 % nazivne obremenjenosti	20 % nazivne obremenjenosti	30 % nazivne obremenjenosti	40 % nazivne obremenjenosti	50 % nazivne obremenjenosti	60 % nazivne obremenjenosti
110 kV tipa jelka	78	36	6	0	0	0
110 kV tipa sod	90	67	43	32	27	25
220 kV tipa jelka	93	87	66	35	12	3
400 kV tipa sod	84	48	12	2	0	0

Iz podatkov v tabeli T 3 je razvidno, da obstajajo znatne razlike v deležu časa, ko je nek daljnovod obremenjen nad določenim odstotkom nazivne obremenitve. Vseeno pa rezultati kažejo, da so daljnovodi obremenjeni več kot 60 odstotno le do 25 odstotkov časa, nad 30 odstotki pa do največ 66 odstotkov časa.

5 Numerični izračuni sevalnih obremenitev za različne tipe 110, 220 in 400 kV daljnovodov

Z numeričnim izračunom so bile izračunane sevalne obremenitve za različne tipe daljnovodov pri povprečnih obremenitvah daljnovoda.

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.

Magnetno polje daljnovoda se spreminja in je neposredno povezano z njegovo obremenitvijo. Večja kot je obremenitev daljnovoda, večji so tokovi, ki tečejo po daljnovodu, in ker je magnetno polje odvisno od toka, se povečajo tudi sevalne obremenitve zaradi magnetnega polja. Zato so bili izvedeni numerični izračuni magnetnega polja pri različnih obremenitvah daljnovodov za:

- nazivne obremenitve (100 %),
- najvišje dnevne povprečne vrednosti (60 % nazivne),
- najvišje tedenske povprečne vrednosti (50 % nazivne),
- najvišje mesečne povprečne vrednosti (40 % nazivne),
- letne povprečne vrednosti (30 % nazivne).

Takšne obremenitve so bile določene na podlagi podatkov iz tabele T 2.

Pri numeričnem izračunu je bila upoštevana najneugodnejša situacija, ko so vodniki od tal oddaljeni samo toliko, kolikor je najnižja dopustna oddaljenost vodnikov od tal. Za 110 kV daljnovod je to 6 m, za 220 kV daljnovod 6,75 m in za 400 kV daljnovod 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 induksijska 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:

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

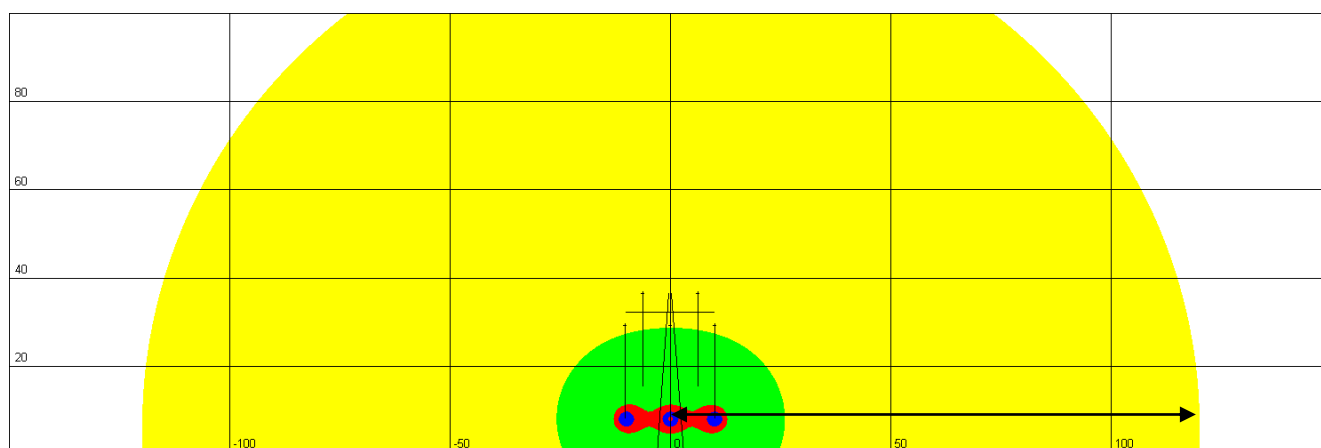
kjer je x_p koordinata x točke, v kateri računamo prispevek, r pa razdalja do te točke. Končni rezultat je vsota prispevkov vseh končnih vodnikov.

5.1 Vplivno območje

V nadaljevanju so za različne daljnovode poleg sevalnih obremenitev podane tudi velikosti vplivnega območja. Vplivno območje je tisto območje v prostoru, kjer so mejne vrednosti za posamezno mejno vrednost iz T 4 presežene. Vplivno območje daljnovoda se meri od srednje osi daljnovoda, določeno pa je na višini 1 m nad tlemi. V tabeli T 4 so predstavljene barve, ki so na slikah v nadaljevanju uporabljene za prikaz posameznega vplivnega območja.

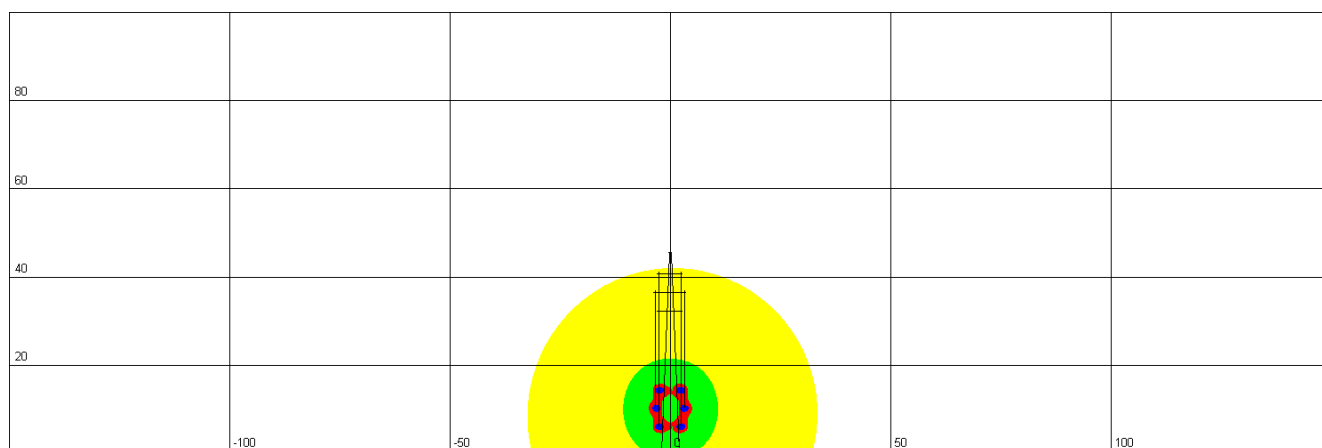
T 4: Barve, ki bodo v nadaljevanju uporabljene za posamezno vplivno območje in pripadajoče mejne vrednosti.

	mejne vrednosti za gostoto magnetnega pretoka B [μT]
Empirična mejna vrednost	0,4
uredba o EMS, I. območje (1996)	10
uredba o EMS, II. območje (1996)	100
Priporočila Evropskega sveta (1999)	100
Smernice ICNIRP (2010)	200

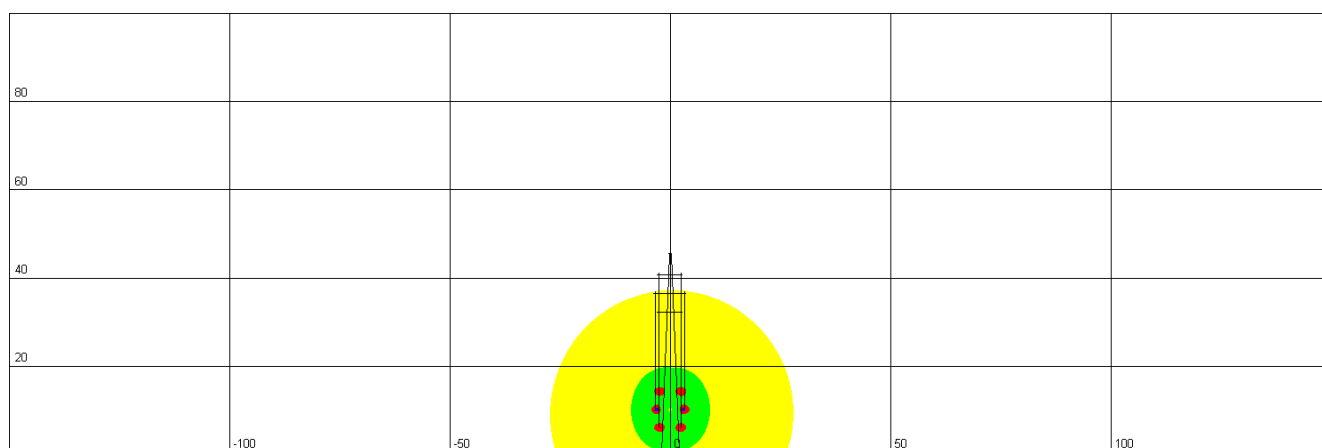


S 5: Shematski prikaz vplivnega območja. Območja, kjer so posamezne mejne vrednosti presežene, so predstavljena z različnimi barvami glede na tabelo T 4.

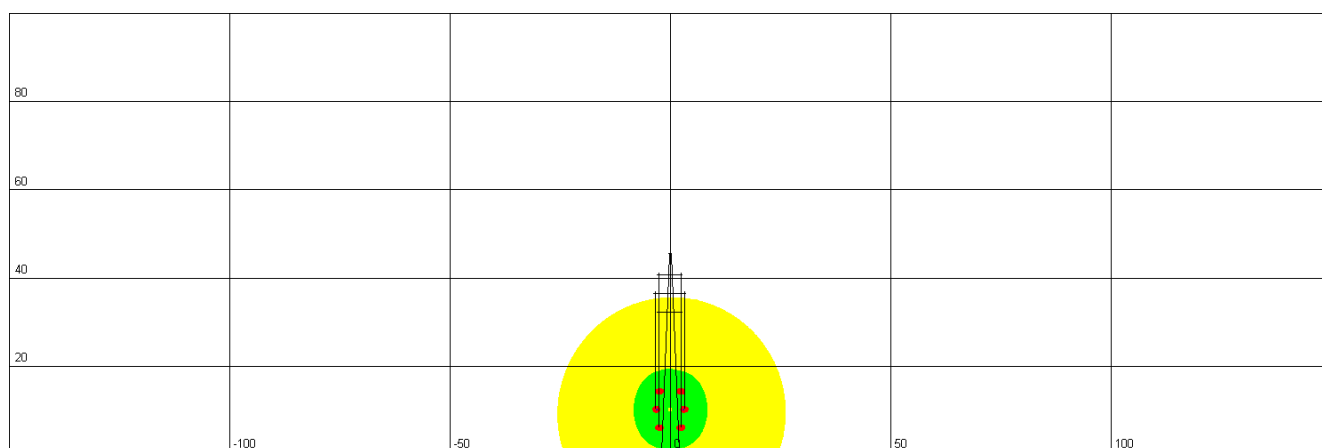
5.2 Dvosistemski 110 kV daljnovod tipa sod



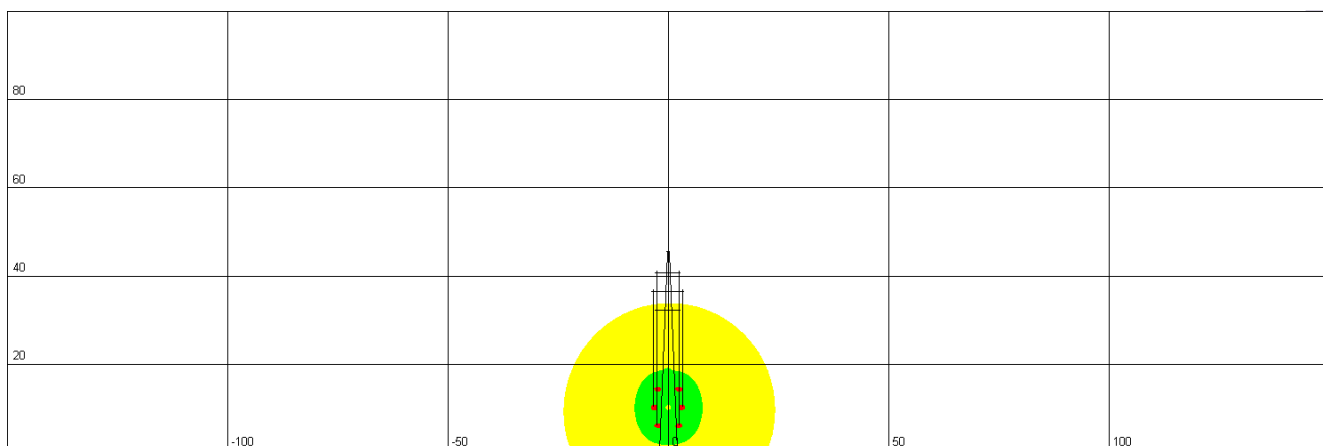
S 6: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri nazivni obremenitvi (100 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



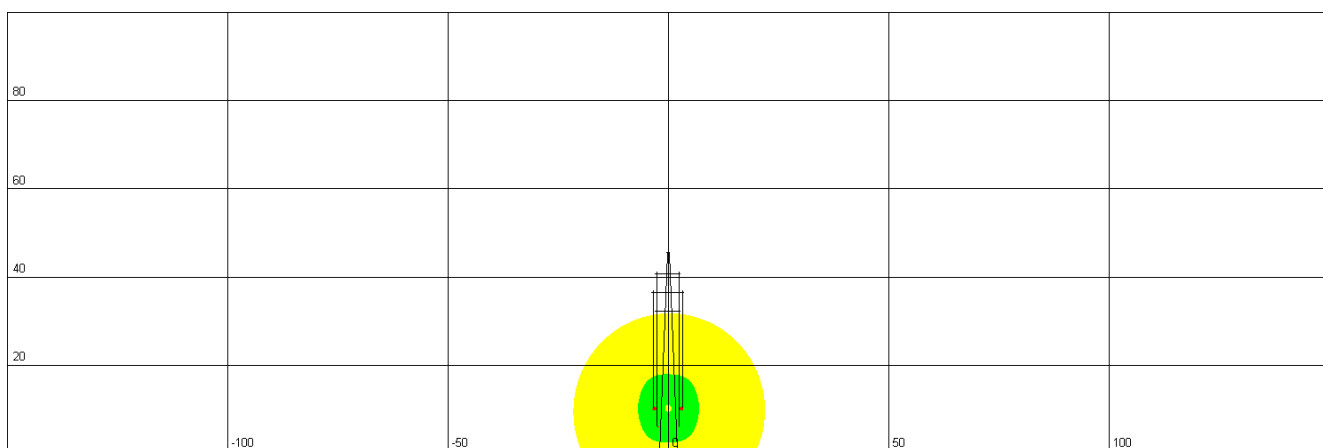
S 7: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni dnevni obremenitvi (60 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje



S 8: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni tedenski obremenitvi (50 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje



S 9: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni mesečni obremenitvi (40 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



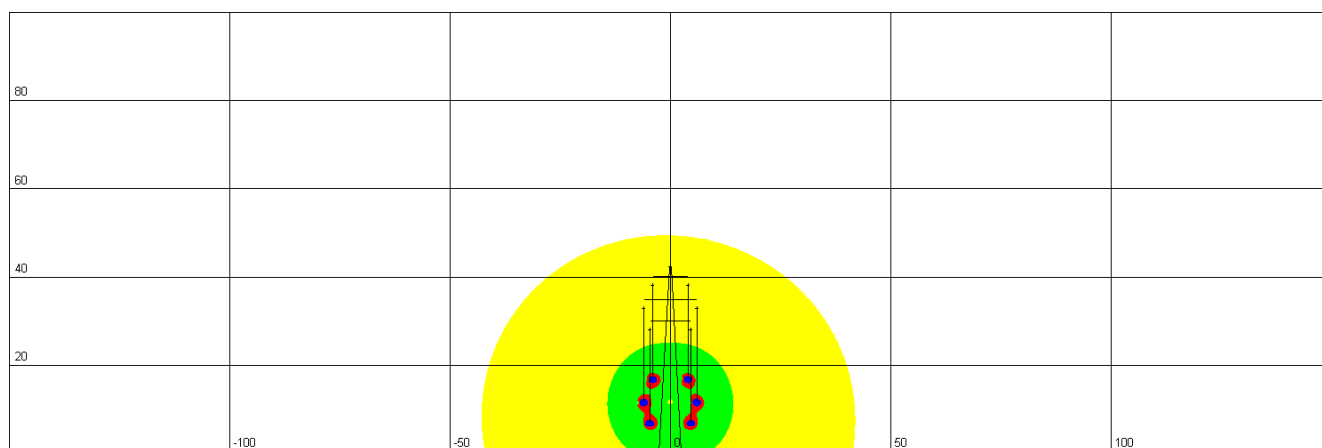
S 10: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni letni obremenitvi (30 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.

T 5: Velikost vplivnega območja (območja, kjer so lahko presežene mejne vrednosti).

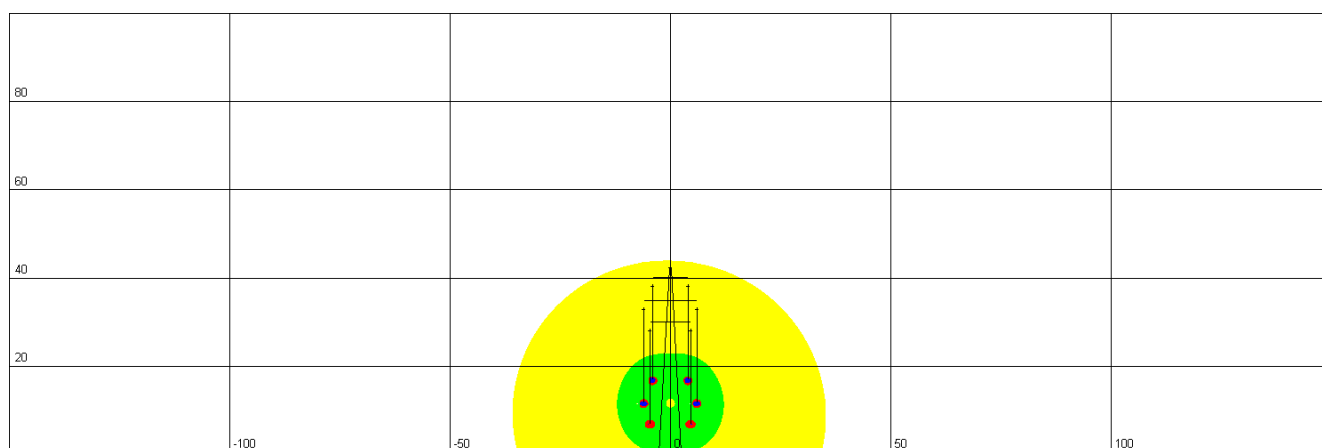
Obremenjenost	Empirična mejna vrednost [0,4 μ T]	Uredba o EMS I. območje [10 μ T]	Uredba o EMS I. območje obstoječi viri II. območje Priporočila Evropskega sveta [100 μ T]	Smernice ICNIRP 2010 [200 μ T]
nazivna (100 %)	do 32 m	do 7 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja dnevna povprečna (60 %)	do 26 m	do 3 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja tedenska povprečna (50 %)	do 24 m	ni preseženo	ni preseženo	ni preseženo
najvišja mesečna povprečna (40 %)	do 22 m	ni preseženo	ni preseženo	ni preseženo
povprečna letna (30 %)	do 20 m	ni preseženo	ni preseženo	ni preseženo

Vplivno območje je določeno na višini 1m nad tlemi. Meri se od srednje osi daljnovoda.

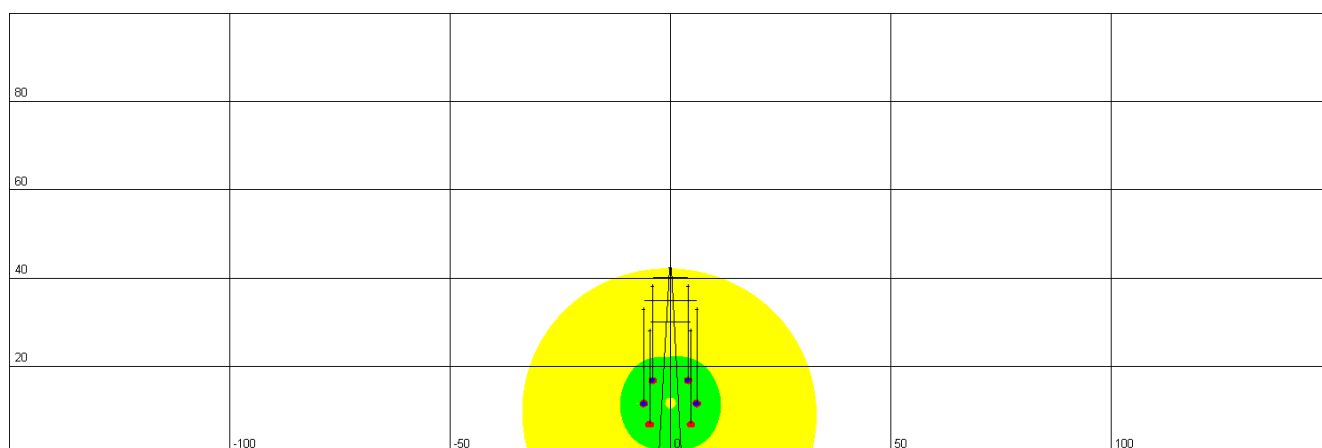
5.3 Dvosistemski 220 kV daljnovod tipa sod



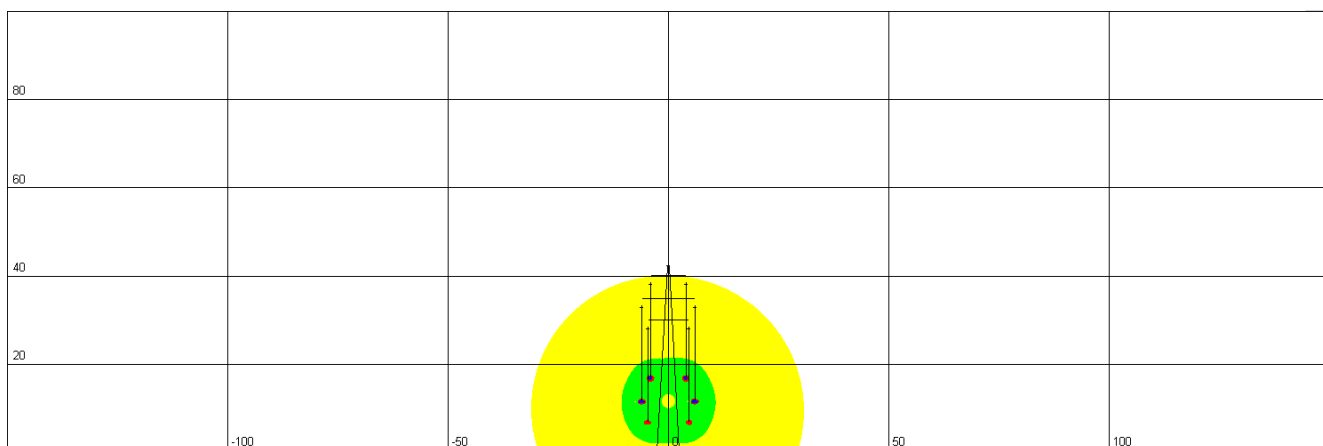
S 11: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri nazivni obremenitvi (100 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



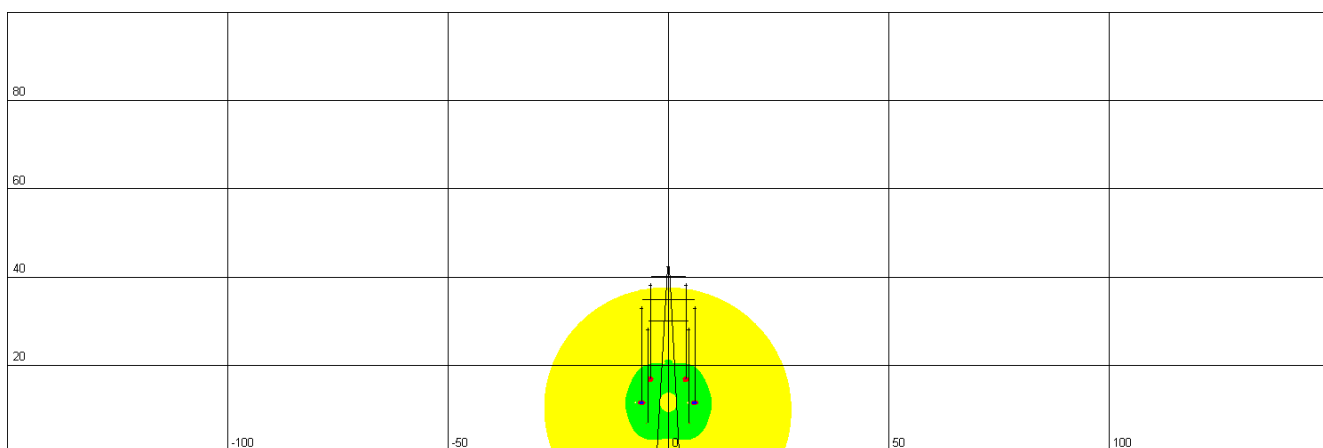
S 12: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni dnevni obremenitvi (60 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



S 13: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni tedenski obremenitvi (50 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



S 14: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni mesečni obremenitvi (40 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



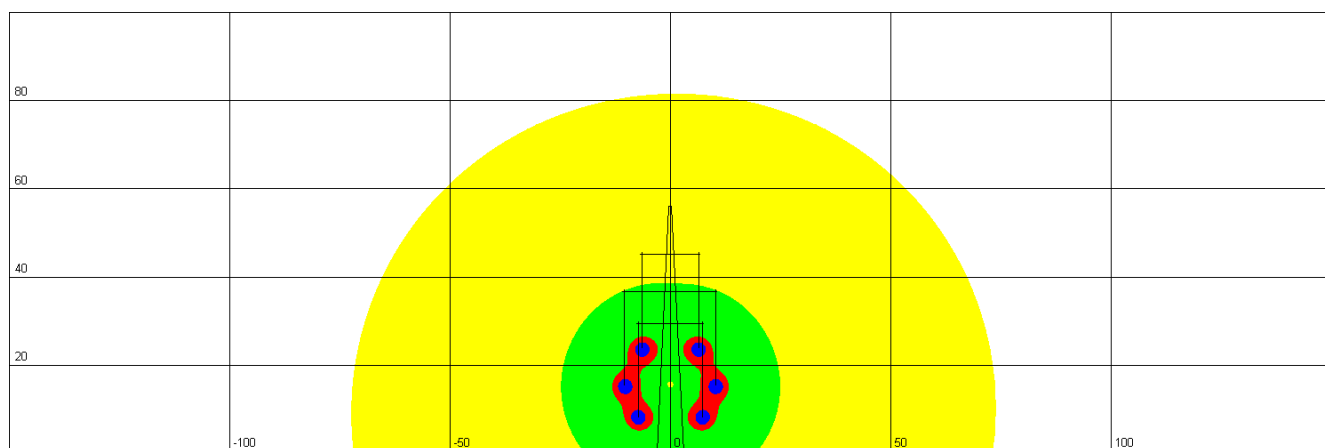
S 15: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni letni obremenitvi (30 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.

T 6: Velikost vplivnega območja (območja, kjer so lahko presežene mejne vrednosti).

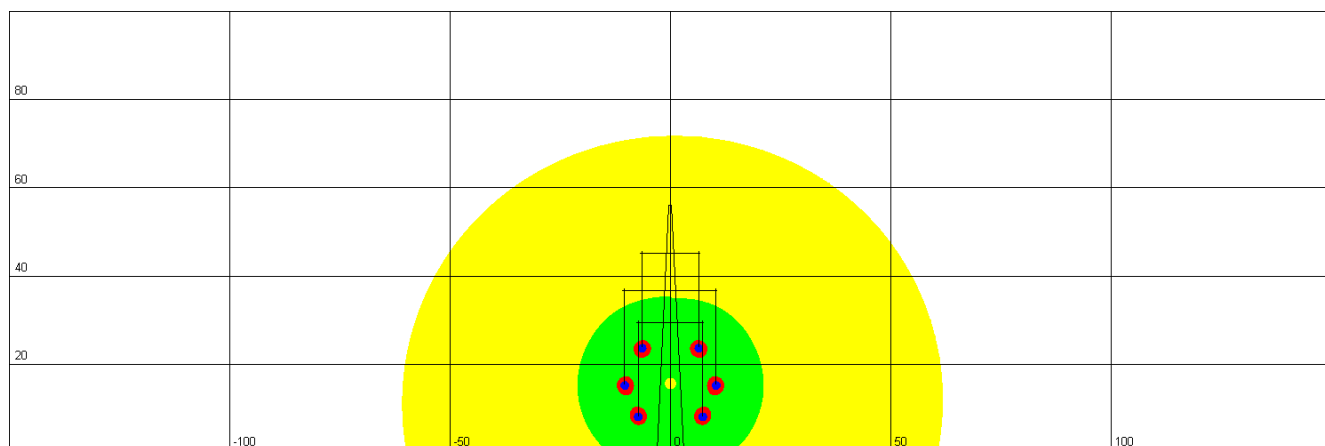
Obremenjenost	Empirična mejna vrednost [0,4 μ T]	Uredba o EMS I. območje [10 μ T]	Uredba o EMS I. območje obstoječi viri II. območje Priporočila Evropskega sveta [100 μ T]	Smernice ICNIRP 2010 [200 μ T]
nazivna (100 %)	do 42 m	do 10 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja dnevna povprečna (60 %)	do 35 m	do 5 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja tedenska povprečna (50 %)	do 32 m	ni preseženo	ni preseženo	ni preseženo
najvišja mesečna povprečna (40 %)	do 30 m	ni preseženo	ni preseženo	ni preseženo
povprečna letna (30 %)	do 27 m	ni preseženo	ni preseženo	ni preseženo

Vplivno območje je določeno na višini 1m nad tlemi. Meri se od srednje osi daljnovoda.

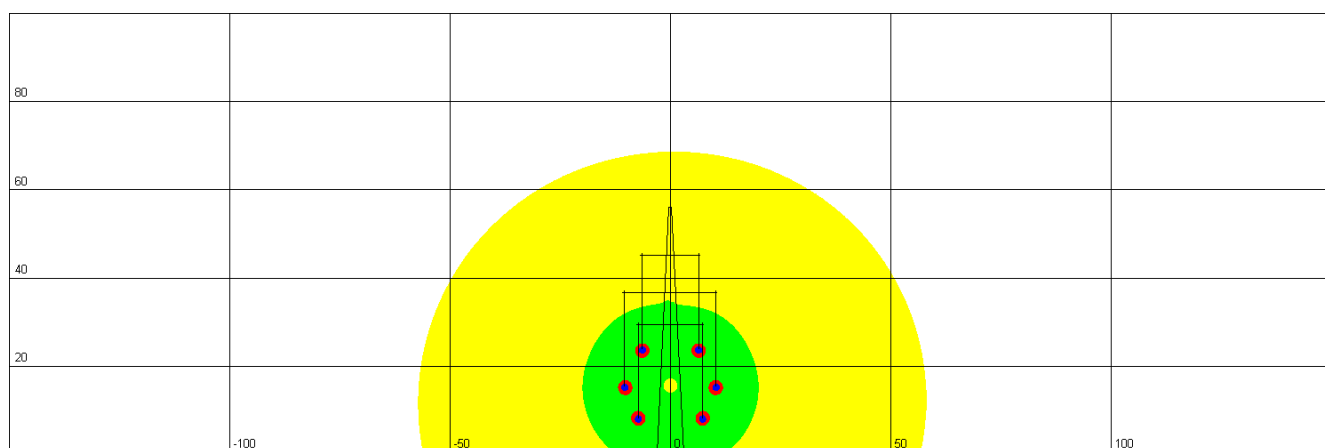
5.4 Dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod



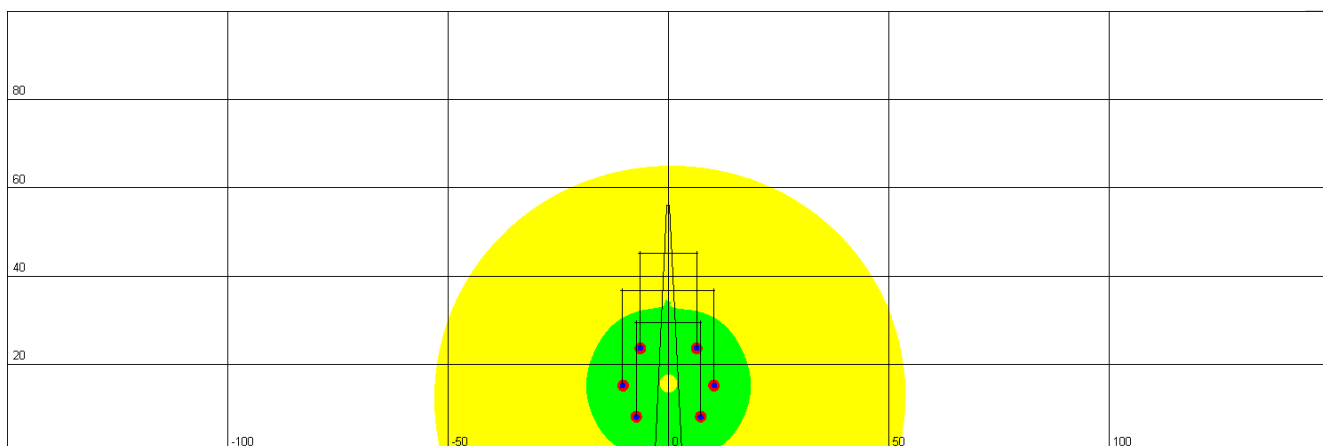
S 16: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri nazivni obremenitvi (100 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



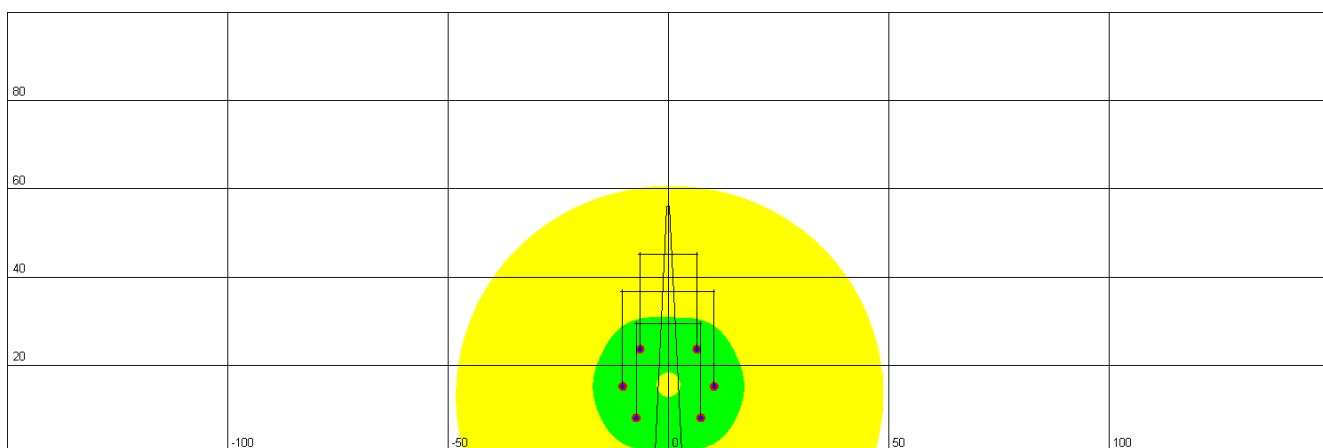
S 17: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni dnevni obremenitvi (60 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



S 18: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni tedenski obremenitvi (50 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



S 19: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni mesečni obremenitvi (40 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



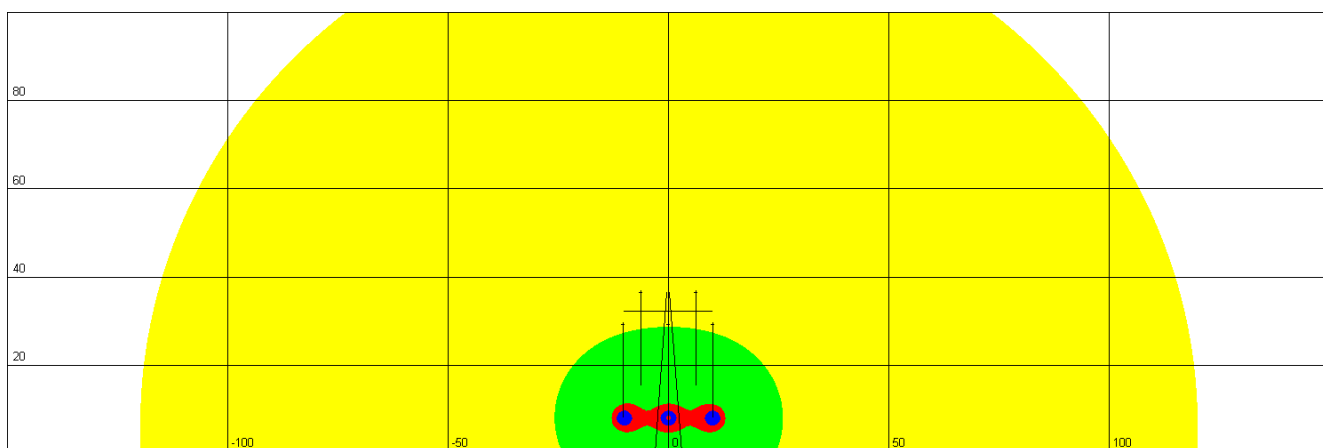
S 20: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni letni obremenitvi (30 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.

T 7: Velikost vplivnega območja (območja, kjer so lahko presežene mejne vrednosti).

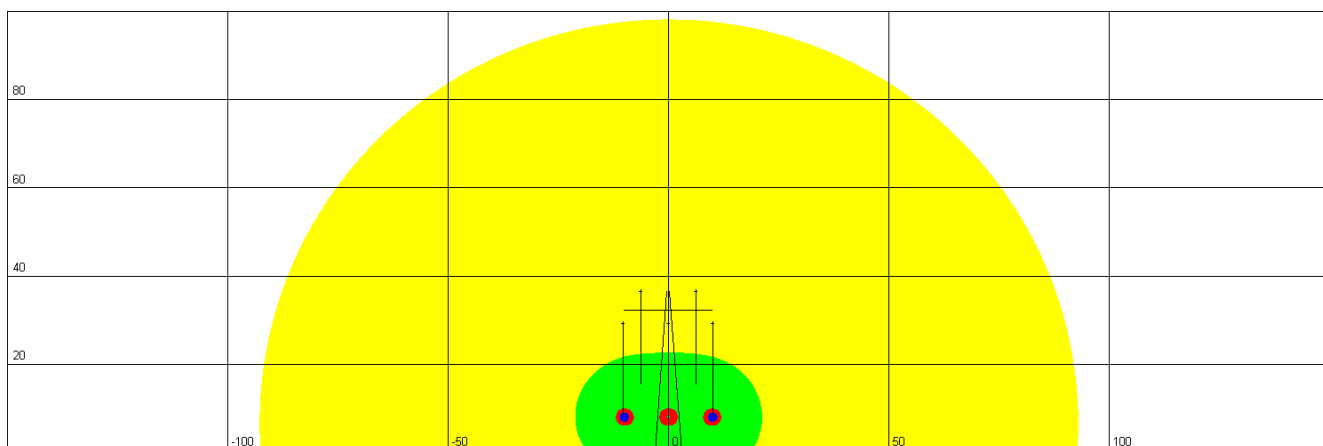
Obremenjenost	Empirična mejna vrednost [0,4 μ T]	Uredba o EMS I. območje [10 μ T]	Uredba o EMS I. območje obstoječi viri II. območje Priporočila Evropskega sveta [100 μ T]	Smernice ICNIRP 2010 [200 μ T]
nazivna (100 %)	do 72 m	do 20 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja dnevna povprečna (60 %)	do 60 m	do 15 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja tedenska povprečna (50 %)	do 56 m	do 13 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja mesečna povprečna (40 %)	do 52 m	do 11 m	ni preseženo	ni preseženo
povprečna letna (30 %)	do 47 m	do 7 m	ni preseženo	ni preseženo

Vplivno območje je določeno na višini 1m nad tlemi. Meri se od srednje osi daljnovoda.

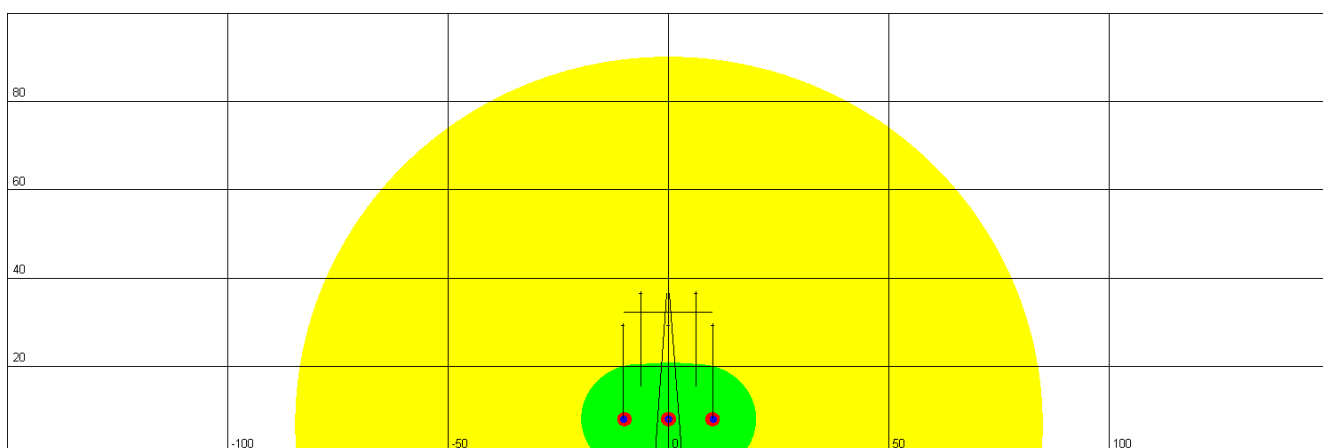
5.5 Enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y



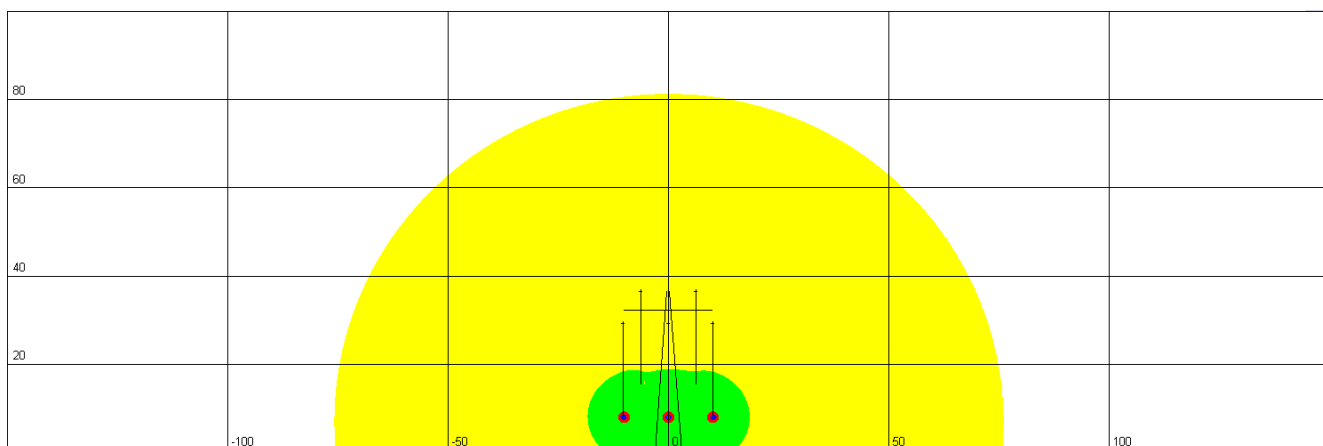
S 21: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri nazivni obremenitvi (100 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



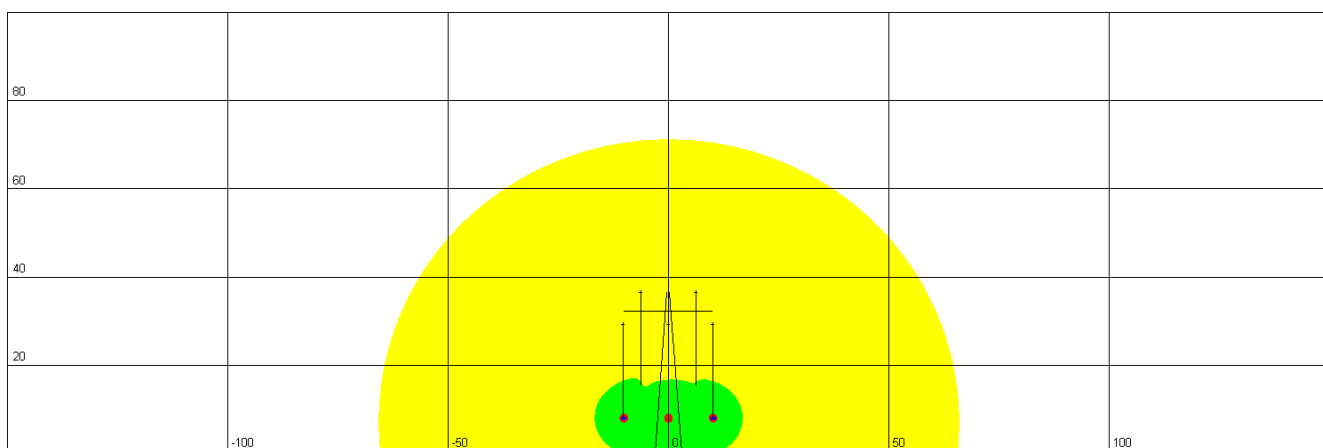
S 22: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni dnevni obremenitvi (60 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



S 23: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni tedensko obremenitvi (60 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



S 24: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni mesečni obremenitvi (40 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.



S 25: Magnetno polje v okolici daljnovoda pri povprečni letni obremenitvi (30 %). Izračun je izveden na sredini med stebroma daljnovoda, kjer je vplivno območje največje.

T 8: Velikost vplivnega območja (območja, kjer so lahko presežene mejne vrednosti).

Obremenjenost	Empirična mejna vrednost [0,4 μ T]	Uredba o EMS I. območje [10 μ T]	Uredba o EMS I. območje obstoječi viri II. območje Priporočila Evropskega sveta [100 μ T]	Smernice ICNIRP 2010 [200 μ T]
nazivna (100 %)	do 120 m	do 24 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja dnevna povprečna (60 %)	do 93 m	do 19 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja tedenska povprečna (50 %)	do 85 m	do 18 m	ni preseženo	ni preseženo
najvišja mesečna povprečna (40 %)	do 76 m	do 16 m	ni preseženo	ni preseženo
povprečna letna (30 %)	do 66 m	do 13 m	ni preseženo	ni preseženo

Vplivno območje je določeno na višini 1m nad tlemi. Meri se od srednje osi daljnovoda.

6 Sklep

Pri visokonapetostnih daljnovodih se napetost daljnovoda spreminja le minimalno, medtem ko pa se tok spreminja sorazmerno z obremenjenostjo daljnovoda. Ker je magnetno polje daljnovoda povezano s tokom v daljnovodu, se tudi vrednosti magnetnega polja v okolici daljnovoda spreminjajo z njegovo obremenjenostjo. Najvišje vrednosti bi bile prisotne takrat, ko bi bil daljnovod nazivno obremenjen, dejansko pa so daljnovodi bistveno manj obremenjeni.

Da bi ugotovili, kakšna so vplivna območja daljnovodov pri različnih pogojih obremenjenosti, so bile na podlagi podatkov o obremenjenosti štirih daljnovodov določene najvišja povprečna dnevna vrednost v enem letu, najvišja povprečna mesečna vrednost v enem letu in letna povprečna vrednost.

Na podlagi teh podatkov smo izvedli numerične izračune vplivnih območij za dvosistemske 110, 220 in 400 kV daljnovode tipa sod in enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y, in sicer za naslednje obremenitve: nazivne obremenitve (100 %), najvišje dnevne povprečne vrednosti (60 % nazivne), najvišje tedenske povprečne vrednosti (50 % nazivne), najvišje mesečne povprečne vrednosti (40 % nazivne) in letne povprečne vrednosti (30 % nazivne).

Izračuni kažejo, da so pri 30 odstotni obremenitvi območja, kjer vrednosti magnetnega polja presegajo jakosti $0,4 \mu\text{T}$, bistveno manjša do območij pri nazivni obremenitvi. Za dvosistemski 110 kV daljnovod tipa sod se območje iz 32 m zmanjša na 20 m, za dvosistemski 220 kV daljnovod tipa sod se iz 42 m zmanjša na 27 m, za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod se iz 72 m zmanjša na 47 m in za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y iz 120 m na 66 m. 30 odstotna obremenjenost daljnovoda predstavlja letne povprečne vrednosti, ki najbolje odražajo povprečne izpostavljenosti v bližini daljnovoda. Če pa namesto letnih povprečnih vrednosti upoštevamo najvišje dnevne povprečne vrednosti v času enega leta, se območja, kjer vrednosti magnetnega polja presegajo jakosti $0,4 \mu\text{T}$, do območij pri nazivni obremenitvi zmanjša v manjši meri. Za dvosistemski 110 kV daljnovod tipa sod se območje iz 32 m zmanjša na 26 m, za dvosistemski 220 kV daljnovod tipa sod se iz 42 m zmanjša na 35 m, za dvosistemski 400 kV daljnovod tipa sod se iz 72 m zmanjša na 60 m in za enosistemski 400 kV daljnovod tipa Y iz 120 m na 93 m. Ob tem velja poudariti, da 60 odstotna obremenitev, kolikor približno znašajo najvišje dnevne povprečne vrednosti, predstavlja najneugodnejšo variantno povprečnih vrednosti. Od obravnavanih štirih daljnovodov sta bila v času enega leta samo dva obremenjena 60 in več odstotno, in sicer eden 3 odstotke časa in drugi 25 odstotkov časa.

T 9: Primerjava velikosti vplivnega območja za električno polje glede na uredbo o EMS za I. območje varstva pred sevanji (500 V/m) in za magnetno polje za empirično vrednost $0,4 \mu\text{T}$ pri povprečni letni obremenitvi (30 odstotkov) daljnovoda.

Daljnovod	električno polje	magnetno polje	
	500 V/m	letna povprečna obremenitev (30 %)	najvišja dnevna povprečna obremenitev v enem letu (60 %)
dvosistemski 110 kV tipa sod	do 10 m	do 11 m	do 26 m
dvosistemski 220 kV tipa sod	do 16 m	do 27 m	do 35 m
dvosistemski 400 kV tipa sod	do 36 m	do 47 m	do 60 m
enosistemski 400 kV tipa Y	do 46 m	do 66 m	do 93 m

Vplivno območje je določeno na višini 1 m nad tlemi. Meri se od srednje osi daljnovoda.

Če ob tem upoštevamo še vplivno območje zaradi električnega polja, ki je večje od vplivnega območja magnetnega polja, lahko ugotovimo, da pri daljnovodu, obremenjenem s povprečnimi letnimi vrednostmi, vplivno območje za magnetno polje jakosti $0,4 \mu\text{T}$ ni bistveno večje od vplivnega območja za električno polje glede na uredbo o EMS za I. območje varstva pred sevanji (500 V/m).



7 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] EU (1999). Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). Official Journal of the European Communities L 199/59 (10. 7. 1999).
- [4] Direktiva 2013/35/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 26. junija 2013 o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah v zvezi z izpostavljenostjo delavcev tveganjem, ki nastajajo zaradi fizikalnih dejavnikov (elektromagnetnih sevanj) (20. posebna direktiva v smislu člena 16(1) Direktive 89/391/EGS)
- [5] Direktiva 2004/40/ES (UL EU 179/2013) 2004/40/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 29. aprila 2004 o minimalnih zdravstvenih in varnostnih zahtevah v zvezi z izpostavljenostjo delavcev tveganjem, ki nastajajo zaradi fizikalnih dejavnikov (elektromagnetnih sevanj) (18. posamična direktiva v smislu člena 16(1) Direktive 89/391/EGS) (UL EU 159/2004).
- [6] UL RS 70/96 (1996). Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, Ministrstvo za okolje in prostor RS.