

Cyril Dujava, Iraida Kolcunová, Marek Pavlík

Meranie elektromagnetických polí v okolí vzdušných distribučných vedení

Tento príspevok sa zaoberá meraním elektromagnetických polí v okolí vzdušných distribučných vedení. Je venovaný meraniu nízkofrekvenčného elektrosmog siet'ovej frekvencie 50 Hz produkovaného vzdušnými distribučnými vedeniami 22 kV a 110 kV. Hlavným cieľom tohto príspevku je porovnať namerané hodnoty s obmedzujúcimi hodnotami v legislatíve a zistiť zákonitosti elektromagnetických polí vzdušných distribučných vedení v životnom prostredí.

Kľúčové slová: elektromagnetické pole, meranie elektromagnetického poľa, elektrosmog, elektromagnetické znečistenie, vzdušné distribučné vedenia

This submission focuses on measurement of electromagnetic fields around distribution overhead lines. Its presentation is to measure low frequency electrosmog of utility frequency 50 Hz produced by distribution overhead lines 22 kV and 110 kV. The main objective of this submission is to compare measured values to restrictive values in law and to find out regularities about electromagnetic fields of distribution overhead lines in natural environment. (**Measuring electromagnetic fields around distribution overhead lines**)

Keywords: electromagnetic field, electromagnetic field measurement, electrosmog, electromagnetic pollution, distribution overhead lines

I. ÚVOD

Elektrická energia je ušľachtilou formou energie, dnes nevyhnutnou pre priemysel a životný štýl. Už od procesu elektrifikácie až po masívne využívanie celého elektromagnetického spektra, najmä v oblasti rádiových a mikrovlnných frekvencií sa vyskytovali otázky ohľadom bezpečnosti a jej vplyvov na životné prostredie ako aj človeka. Vzdušné distribučné vedenia slúžia na distribúciu elektrickej energie do miesta spotreby, a teda ku konečným zákazníkom, ktorými sme my všetci. Častokrát sa rozvod distribučnej siete nachádza v blízkosti obytných zón. Preto je dôležité sa otázkou vplyvu elektromagnetického poľa na človeka zaoberať a ďalej ho skúmať [1].

II. ELEKTROMAGNETICKÉ POLE A VLNIENIE

Elektromagnetické pole je fyzikálne pole vyvolané elektromagnetickou silou. Elektromagnetická sila $\mathbf{F} = Q \cdot \mathbf{E} + Q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ (1) je jednou zo štyroch základných síl, ktorými je možné popísať všetky javy v prírode [2][3][4]

$$\mathbf{F} = Q \cdot \mathbf{E} + Q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$

James Clerk Maxwell v druhej polovici devätnásteho storočia zjednotil elektrinu a magnetizmus do teórie elektromagnetizmu. Všetky elektrické a magnetické javy môžu byť opísané štyrmi rovnicami $\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j} + (\partial \mathbf{D} / \partial t)$ (2), $\text{rot } \mathbf{E} = -(\partial \mathbf{B} / \partial t)$ (3), $\text{div } \mathbf{D} = \rho$ (4), $\text{div } \mathbf{B} = 0$ (5), ktoré sa súhrnne nazývajú ako hlavné Maxwellove rovnice v diferenciálnom tvare.

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j} + (\partial \mathbf{D} / \partial t) \quad (2)$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -(\partial \mathbf{B} / \partial t) \quad (3)$$

$$\text{div } \mathbf{D} = \rho \quad (4)$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0 \quad (5)$$

Na popis elektromagnetického poľa sú stanovené štyri veličiny 4, a to intenzita magnetického poľa \mathbf{H} , intenzita elektrického poľa \mathbf{E} , elektrická indukcia \mathbf{D} a magnetická indukcia \mathbf{B} .

Energia elektromagnetického poľa sa priestorom šíri vo forme elektromagnetických vln. Vo vzduchu je rýchlosť šírenia sa elektromagnetickej vlny rovná rýchlosti svetla vo vákuu c . Spektrum elektromagnetického žiarenia zahŕňa širokú oblasť javov, líšiacich sa svojou vlnovou dĺžkou λ [2][5].

ELEKTROMAGNETICKÉ ZNEČISTENIE

Elektrické, magnetické a elektromagnetické polia, ktoré môžu mať nežiaduce biologické účinky je možné nazývať súhrnným názvom ako elektrosmog. Tieto elektromagnetické polia sa vhodnejšie nazývajú aj ako elektromagnetické znečistenie [6][7].

Účinky elektromagnetických polí na človeka môžeme rozdeliť na priame a nepriame. Priame účinky sú termálne (tepelné) a spôsobujú ohriatie tkanív vplyvom absorbovanej energie. Výrazné sú najmä v oblasti mikrovlnných frekvencií. Nepriame účinky môžu mať na človeka špecifický vplyv a spôsobovať zmeny vo fyziologických funkciách človeka.

SÚČASNE PLATNÁ LEGISLATÍVA NA SLOVENSKU

Na Slovensku platia samostatné právne akty na ochranu obyvateľstva a zamestnancov pred elektromagnetickým poľom. Oba právne akty sú v súlade s odporúčaniami Európskej únie. Ochranu obyvateľstva v Slovenskej republike v súčasnosti zabezpečuje vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 534/2007 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.

Postup pri výpočte akčných hodnôt expozície je uvedený v prílohe k tejto vyhláške, konkrétne v Tabuľke I z ktorej sú tučným písmom zvýraznené vzorce použité v $E_{max} = 250 / f = 250 / 0,05 \text{ kHz} = 5000 \text{ V/m}$ (6) a $B_{max} = 5 / f = 5 / 0,05 \text{ kHz} = 100 \mu\text{T}$ (7) na výpočet akčných hodnôt pre intenzitu elektrického poľa a magnetickú

indukciu pri frekvencii 50 Hz **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**[8].

Neprekročenie akčných hodnôt zaručí neprekročenie limitných hodnôt expozície.

Okrem záväzných právnych dokumentov existujú aj technické normy, ktoré sú menej striktné a nezáväzná odporúčania nezávislých odborníkov, ktoré sú mimoriadne prísne.

TABULKA I

Akčné hodnoty expozície pre elektrické, magnetické a elektromagnetické polia (efektívne hodnoty pre nepretržitú expozíciu)[8]

Frekvenčný rozsah	Intenzita elektrického poľa E (V/m)	Intenzita magnetického poľa H (A/m)	Magnetická indukcia B (μ T)	Hustota toku výkonu ekvivalentnej rovinatej vlny S_{eq} (W/m ²)
0 Hz až <1 Hz	–	$3,2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	–
1 Hz až < 8 Hz	10 000	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	$3,2 \cdot 10^4/f^2$	–
8 Hz až < 25 Hz	10 000	$4 000/f$	$5 000/f$	–
0,025 kHz až < 0,8 kHz	250f	4/f	5/f	–
0,8 kHz až < 3 kHz	250f	5	6,25	–
3 kHz až < 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15 MHz až < 1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	–
1 MHz až < 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	–
10 MHz až < 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 MHz až < 2 000 MHz	$1,375 \cdot f^{1/2}$	$0,0037 \cdot f^{1/2}$	$0,0046 \cdot f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz až 300 GHz	61	0,16	0,20	10

$$E_{max} = 250 / f = 250 / 0,05 \text{ kHz} = 5000 \text{ V/m} \quad (6)$$

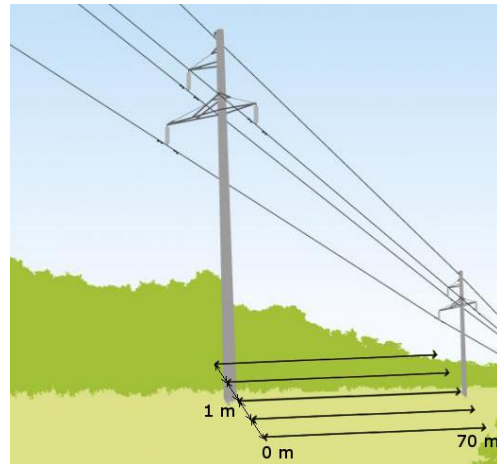
$$B_{max} = 5 / f = 5 / 0,05 \text{ kHz} = 100 \mu\text{T} \quad (7)$$

III. MERANIA VEDENÍ

V okolí vedení bola meraná intenzita elektrického poľa E a magnetická indukcia B . Merania boli vykonané v oblasti nízkych frekvencií z rádiových frekvencií elektromagnetického spektra v rozsahu 5 Hz až 100 kHz. Merania boli vykonané s digitálnym analyzérrom elektrosmogu ME 3830B, ktorý sa počas merania nachádzal vo výške 1,1 m.

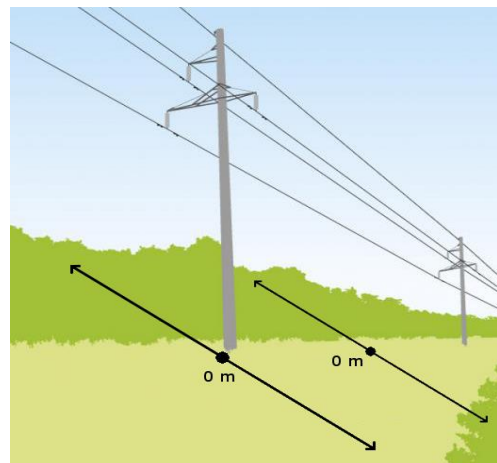
SPÔSOBY A METÓDY MERANIA

Podľa účelu merania je možné elektrické vedenia merať dvomi spôsobmi. Prvým spôsobom merania vedení je meranie polí pozdĺž vedenia a je zobrazené na Obr. 1. Toto meranie je vykonávané medzi dvomi podpernými bodmi v piatich líniiach (strednej a dvoch vpravo a dvoch vľavo od strednej línie). Vzďalenosť medzi dvoma susediacimi líniami je 1 m. Meranie začína pri prvom podpernom bode v bode 0 m a končí pri druhom podpernom bode vo vzdialenosti 70 m od prvého podperného bodu, čiže sú merané polia v celom rozpätí vedenia 22 kV 70 m s krokom 2 m. V strednej línii je nad vedením 22 kV vodič fázy.



Obr. 1 Meranie polí pozdĺž vedenia[9]

Druhým spôsobom merania vedení je meranie polí v závislosti od vzdialenosti od vedenia a je zobrazené na Obr. 2. Meria sa v dvoch miestach a to za podperným bodom a v strede rozpätia vedenia. U oboch miest sa začína v strede vedenia v bode označenom ako 0 m (u vedenia 22 kV je nad týmto bodom vodič fázy a u vedenia 110 kV uzemňovacie lano) a pokračuje sa smerom doprava a doľava do požadovanej vzdialenosti s krokom 0,5 m.



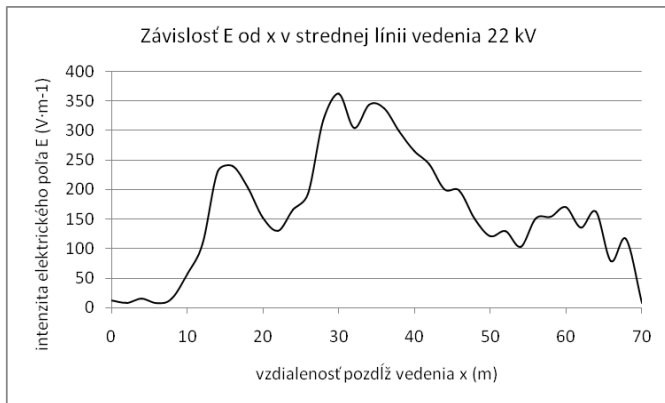
Obr. 2 Meranie polí v závislosti od vzdialenosti od vedenia[9]

IV. VÝSLEDKY MERANIA

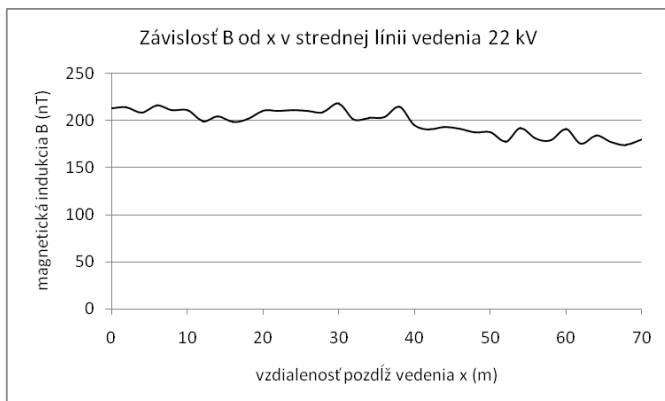
VEDENIE 22 KV

Prvým meraným objektom bolo jednoduché vedenie 22 kV na pozemku rodinného domu, v okolí ktorého boli polia merané prvým spôsobom merania vedení. Vľavo od vedenia 22 kV sa nachádzalo dvojité vedenie 110 kV s jedným uzemňovacím lanom, vpravo sa nachádza rodinný dom. Prvým podperným bodom bol drevený stĺp, druhým podperným bodom bol oceľový prihradový stožiar.

Na Obr. 3 a Obr. 4 sú závislosti nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v závislosti od vzdialenosti pozdĺž vedenia namerané v strednej línii. Pre všetky línie platí, že najvyššie hodnoty intenzity elektrického poľa boli namerané v strede rozpätia vedenia, kde je najväčší priehyb a najnižšie hodnoty sú pri podperných bodoch. Magnetická indukcia pozdĺž celého vedenia v jednotlivých líniiach dosahovala konštantné hodnoty.



Obr. 3 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti pozdĺž vedenia v strednej línii vedenia 22 kV

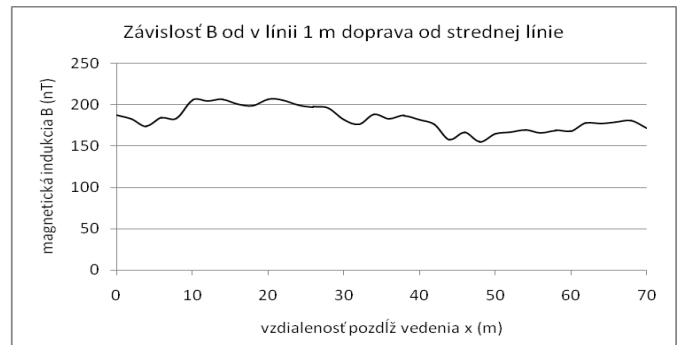


Obr. 4 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti pozdĺž vedenia v strednej línii vedenia 22 kV

Na Obr. 5 a Obr. 6 sú zobrazené závislosti nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v závislosti od vzdialenosti pozdĺž vedenia namerané v línii 1 m doprava od strednej línii vedenia. V tejto línii dosahuje magnetická indukcia nižšie hodnoty ako v strednej línii.



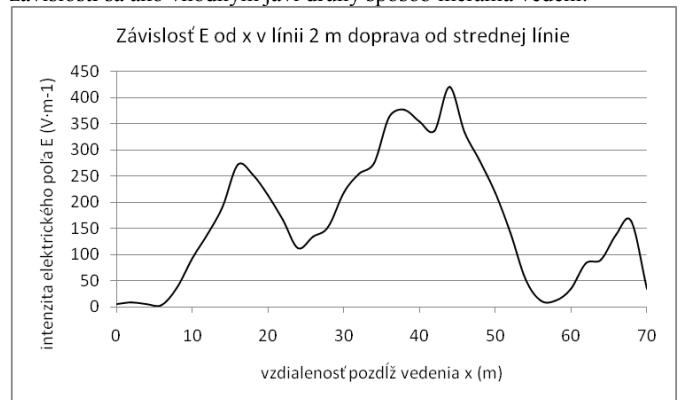
Obr. 5 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti pozdĺž vedenia v línii 1 m doprava od strednej línii vedenia 22 kV



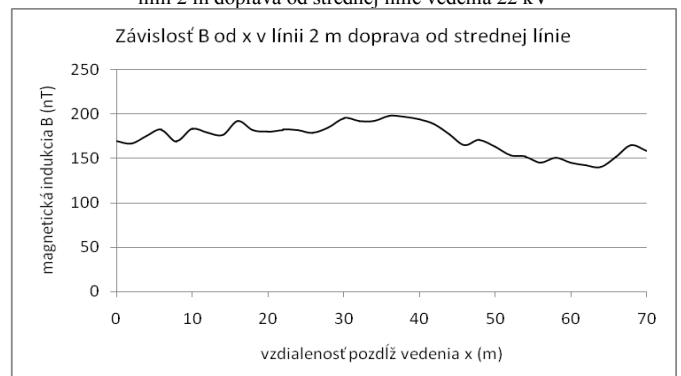
Obr. 6 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti pozdĺž vedenia v línii 1 m doprava od strednej línii vedenia 22 kV

Na Obr. 7 a Obr. 8 sú zobrazené závislosti nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v závislosti od vzdialenosti pozdĺž vedenia merané v línii 2 m doprava od strednej línii vedenia. V tejto línii je elektrické pole tienené stromom vo vzdialenosti 54 až 60 m od prvého podperného bodu. Naproti tomu magnetické pole tienené stromom nie je.

Magnetická indukcia v tejto línii dosahuje najnižšie hodnoty spomedzi všetkých línii. Preto je možné usúdiť, že so vzdáľovaním sa od stredu vedenia magnetická indukcia klesá. Na presné určenie tejto závislosti sa ako vhodným javí druhý spôsob merania vedení.

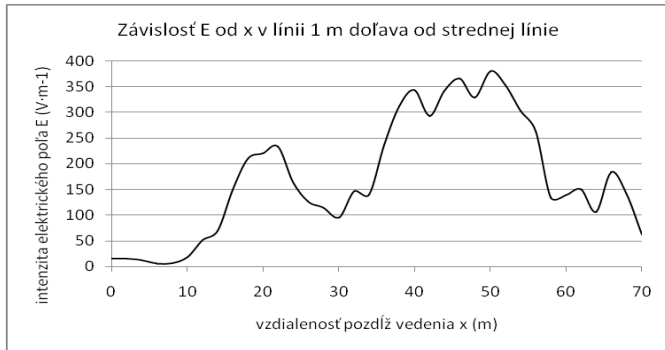


Obr. 7 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti pozdĺž vedenia v línii 2 m doprava od strednej línii vedenia 22 kV

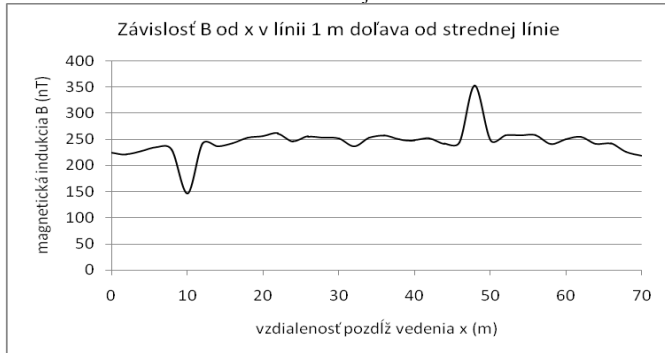


Obr. 8 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti pozdĺž vedenia v línii 2 m doprava od strednej línii vedenia 22 kV

Na Obr. 9 a Obr. 10 sú zobrazené závislosti nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v závislosti od vzdialenosti pozdĺž vedenia namerané v línii 1 m doľava od strednej línii vedenia. Vo vzdialenosti 10 m a 48 m od prvého podperného bodu pri meraní magnetickej indukcie došlo k subjektívnym chybám.

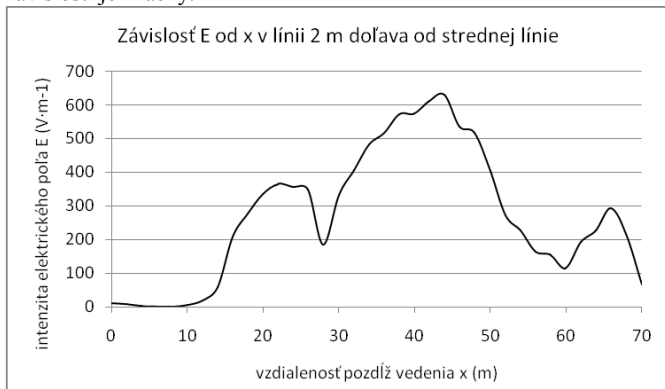


Obr. 9 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti pozdĺž vedenia v línii 1 m doľava od strednej línie vedenia 22 kV

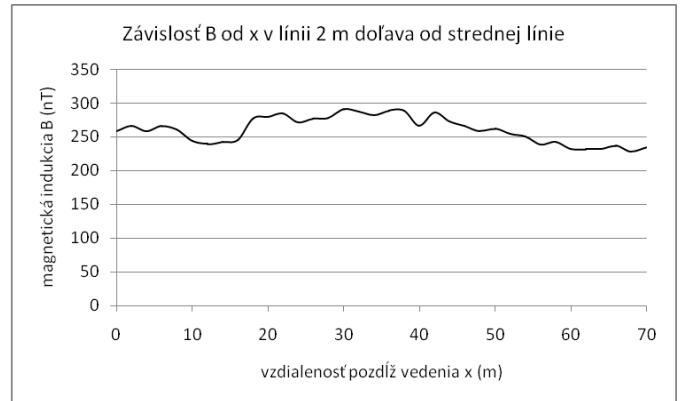


Obr. 10 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti pozdĺž vedenia v línii 1 m doľava od strednej línie vedenia 22 kV

Na Obr. 11 a Obr. 12 sú závislosti nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v závislosti od vzdialenosti pozdĺž vedenia namerané v línii 2 m doľava od strednej línie vedenia. V línii 2 m doľava je už značný vplyv susediaceho 110 kV vedenia, ktoré vytvára silné polia a namerané hodnoty v tejto línii sú vyššie ako hodnoty namerané v strednej línii. Vplyv tohto vedenia na namerané závislosti je značný.



Obr. 11 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti pozdĺž vedenia v línii 2 m doľava od strednej línie vedenia 22 kV



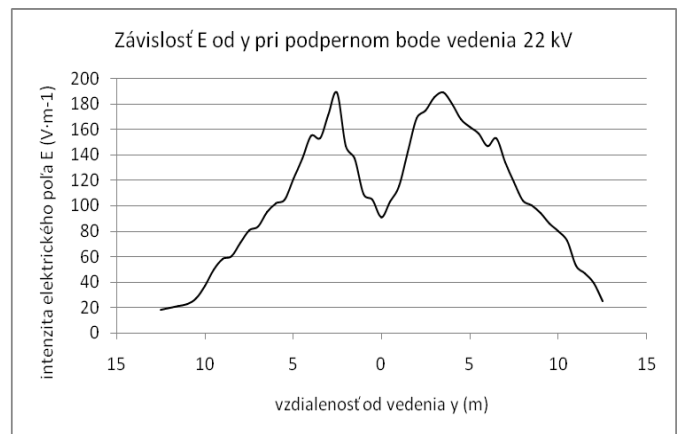
Obr. 12 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti pozdĺž vedenia v línii 2 m doľava od strednej línie vedenia 22 kV

Druhým meraným objektom bolo jednoduché vedenie 22 kV pri obci, znázornené na Obr. 13, pri ktorom boli polia merané druhým spôsobom merania vedení.

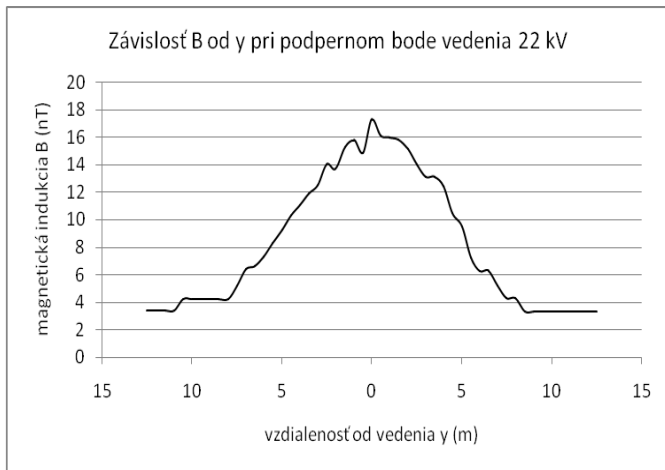


Obr. 13 Vedenie 22 kV

Na Obr. 14 a Obr. 15 sú závislosti nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v závislosti od vzdialenosti od vedenia pri podpernom bode vedenia. Podperným bodom bol železobetónový stĺp. Hodnoty intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od vedenia 22 kV klesajú exponenciálne.

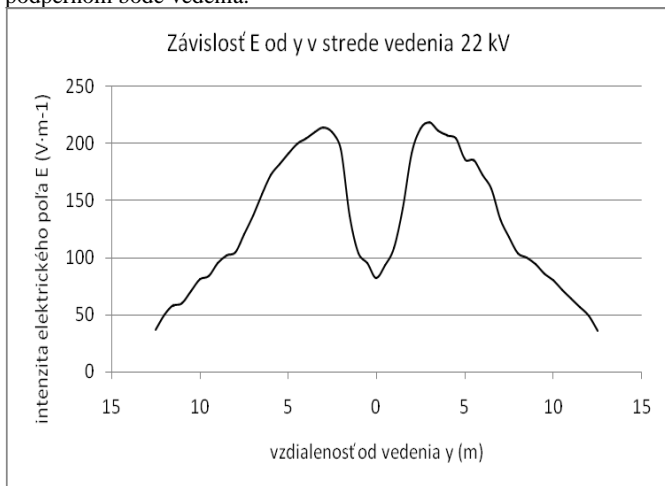


Obr. 14 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti od vedenia pri podpernom bode vedenia 22 kV

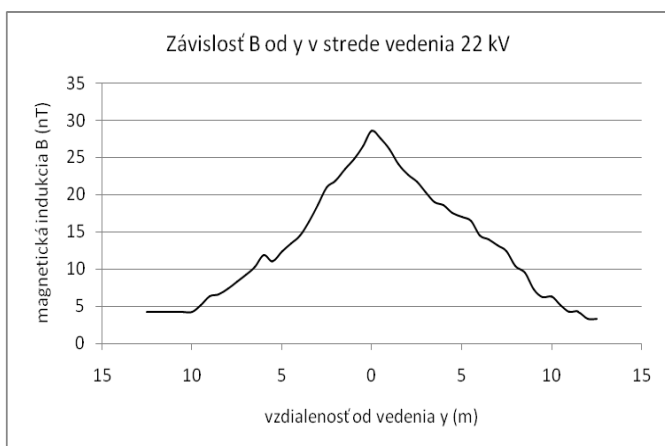


Obr. 15 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti od vedenia pri podpernom bode vedenia 22 kV

Na Obr. 16 a Obr. 17 sú závislosti nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v závislosti od vzdialenosti od vedenia v strede vedenia. Hodnoty intenzity elektrického poľa sú v strede a magnetickej indukcie sú v strede vedenia vyššie ako pri podpernom bode vedenia.



Obr. 16 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti od vedenia v strede rozpätia vedenia 22 kV



Obr. 17 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti od vedenia v strede vedenia 22 kV

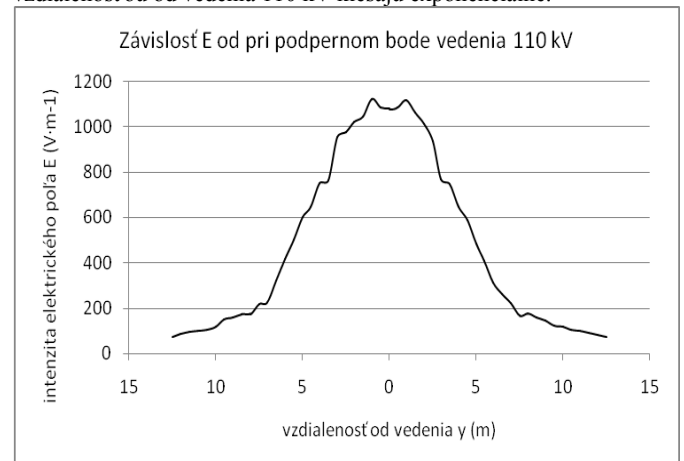
VEDENIE 110 KV

Tretím objektom merania bolo dvojité vedenie 110 kV s jedným uzemňovacím lanom za sídliskom, znázornené na Obr. 18, pri ktorom boli polia merané druhým spôsobom merania vedení.

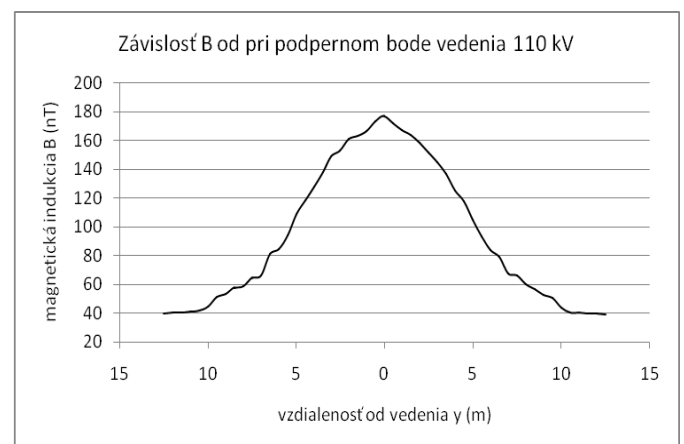


Obr. 18 Vedenie 110 kV

Na Obr. 19 a Obr. 20 sú závislosti nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v závislosti od vzdialenosti od vedenia pri podpernom bode vedenia. Hodnoty intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od vedenia 110 kV klesajú exponenciálne.

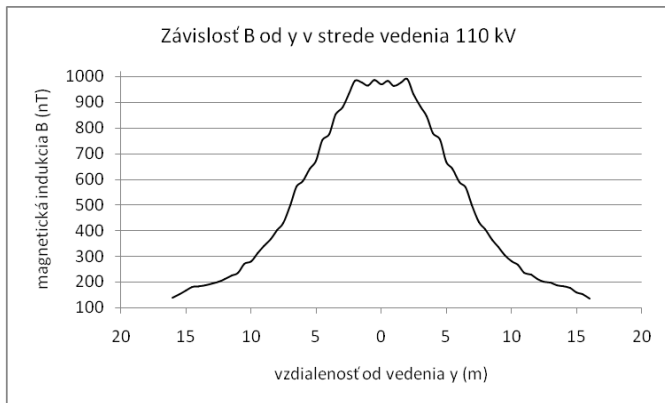


Obr. 19 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti od vedenia pri podpernom bode vedenia 110 kV



Obr. 20 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti od vedenia pri podpernom bode vedenia 110 kV

Na Obr. 21 je závislosť magnetickej indukcie v závislosti od vzdialenosti od vedenia nameraná v strede vedenia. V strede vedenia boli namerané hodnoty intenzity elektrického poľa nad rozsahom meracieho prístroja. Hodnoty magnetickej indukcie sú v strede vedenia vyššie ako pri podpernom bode vedenia.



Obr. 21 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti od vedenia pri podpernom bode vedenia 110 kV

V. ZHODNOTENIE A ZÁVER

Tento príspevok sa venuje meraniu elektromagnetických polí v okolí vzdušných distribučných vedení 22 kV a 110 kV. Cieľom je porovnať namerané hodnoty v okolí vedení a porovnať ich s obmedzujúcimi hodnotami v súčasne platnej legislatíve a zistiť zákonitosti elektromagnetických polí týchto vedení v životnom prostredí.

Porovnaním nameraných hodnôt s akčnými hodnotami, vypočítanými podľa Tabuľky I je možné vyvodit' záver, že akčné hodnoty expozície elektrických a magnetických polí neboli prekročené. Ak sú dodržané ochranné pásma (minimálne vzdialenosti od zariadení elektrizačnej sústavy) definované v zákone o energetike, tak polia v ich okolí nadobúdajú len čiastkové a nepatrné hodnoty, neprekračujúce ani hodnoty hygienických odporúčaní. Najväčším zdrojom elektromagnetických polí pôsobiacich na obyvateľstvo sú elektrické spotrebiče v domácnosti.

Z merania na prvom objekte, ktorý však nebol samostatne meraným objektom je možné usúdiť, že intenzita elektrického poľa pozdĺž vedenia stúpa od podperného bodu, kde dosahuje najnižšie hodnoty smerom ku stredu vedenia, kde je značný priehyb a dosahuje najvyššie hodnoty. Hodnoty magnetickej indukcie pozdĺž celého vedenia je možné považovať za konštantné. Stromy tienia elektrické pole a magnetické pole nezoslabujú.

Z meraní na ostatných objektoch je možné dôjsť k záveru, že hodnoty intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie klesajú so vzdialenosťou od vedenia exponenciálne. V strede vedenia, kde je značný priehyb, nadobúdajú polia vyššie hodnoty meraných veličín ako pri podpernom bode.

Elektrické a magnetické pole pri vedeniach závisí od vzdialenosti vodičov od zeme. Elektrické pole závisí od napäťovej hladiny reprezentovanej elektrickým napätím a magnetické pole od elektrického prúdu pretekajúceho vodičmi. Rozloženie polí závisí aj od typov stožiara. Zníženie expozície elektromagnetických polí je

možné pomocou rôznej konfigurácie (napríklad transpozície vodičov) [1][10].

POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla na základe podpory vedeckej grantovej agentúry VEGA MŠVVaŠ SR a SAV č. projektu 1/0132/15 Výskum prieniku vysokofrekvenčného elektromagnetického poľa cez stavebné ekologické materiály.

LITERATÚRA

- [1] C. Dujava, "Ochrana obyvateľstva pred elektromagnetickým poľom," Bakalárska práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2015. 73 s.
- [2] J. Hlaváčová, J. Ziman, M. Kovaľáková, and B. Zagyi, "Fyzika II," Vyd. ako dotlač. Košice: Elfá, 2012. 141 s. ISBN 978-80-8086-051-6.
- [3] R. Feynman, R. Leighton, and M. Sands, "The Feynman Lectures on Physics," online edition. California Institute of Technology, 2013. [online]. [citované 2015-01-20]. Dostupný na internete: < <http://www.feynmanlectures.caltech.edu/> >.
- [4] D. Špaldonová, "Elektromagnetické pole," [CD-ROM]. 2. preprac. a upr. vyd. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2010. 206 s. ISBN 978-80-553-0524-0.
- [5] A. Tirpák. "Elektromagnetizmus," 2. opravená verzia. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, 2004. 711 s. ISBN 80-88780-26-8.
- [6] J. Durpok, H.-J. MORISKE, and N. Englert, "GESÜNDER WOHNEN — ABER WIE?: Praktische Tipps für den Alltag," Berlin: KOMAG mbH, 2005. [online]. [citované 2015-07-07]. Dostupný na internete: < <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/logo/2885.pdf> >.
- [7] L. Burrell, "What Is Electrosmog?," 2010. [online]. [citované 2015-01-21]. Dostupný na internete: < <http://www.electricsense.com/143/what-is-electrosmog/> >.
- [8] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 534/2007 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.
- [9] Protection Zones. Elering. [online]. [citované 2015-07-06]. Upravený z obrázku dostupného na internete: < http://elering.ee/public/Maaomanikule/thumbnails/elering_110kv_overhe_ad_line_520x735.jpg >.
- [10] P.H. Pretorius, "ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS FROM OVERHEAD POWER LINES : A Summary of Technical and Biological Aspects," ESKOM HOLDINGS LTD, 2006. [online]. [citované 2015-07-07]. Upravený z obrázku dostupného na internete: < http://www.eskom.co.za/OurCompany/SustainableDevelopment/EnvironmentalImpactAssessments/Documents/Anderson_Substation_Appendix_C_-_Electric_and_Magnetic_Fields_from_Overhead_Power_Lines1.pdf >.

ADRESY AUTOROV

Cyril Dujava, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Cyril.Dujava@student.tuke.sk

Iraida Kolcunová, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Iraida.Kolcunova@tuke.sk

Marek Pavlík, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Marek.Pavlik@tuke.sk