

Analýza rozloženia elektromagnetického poľa vo vvn elektrickej stanici

Peter ŽVANDA, Dušan MEDVEĎ

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita
v Košiciach, Slovenská republika

peter.zvanda@student.tuke.sk, dusan.medved@tuke.sk

Abstrakt — Tento článok sa zaoberá meraním a počítačovým modelovaním rozloženia elektromagnetického poľa v elektrickej stanici. Medzi charakteristické veličiny, ktoré boli merané a porovnávané s národnou legislatívou boli hodnoty elektrickej intenzity a magnetickej indukcie. Obsah článku sa delí na dve časti, z teoretickej a experimentálnej časti. Teoretická časť sa zaoberá metódami modelovania a výpočtu elektromagnetických polí. Experimentálna časť sa zaoberá meraním elektromagnetického poľa v elektrickej stanici a následne modelovaním a počítačovou simuláciou v prostredí Ansys.

Kľúčové slová — Ansys, meranie, modelovanie, simulácia, elektromagnetické pole, magnetická indukcia, intenzita elektrického poľa

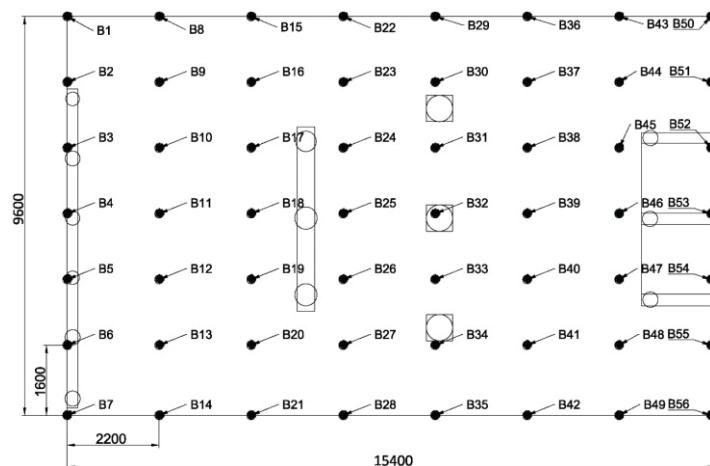
I. ÚVOD

V dnešnej dobe sú elektrické stanice neodlučiteľnou súčasťou celej elektrizačnej sústavy. Na to, aby mohla fungovať, musí sa vopred navrhnuť a nakonfigurovať. Pri konfigurácii je dôležitý správny výber prístrojovej výbavy z dôvodu dosiahnutia nízkej expozície elektromagnetických polí (EMP). V dnešnej dobe sa v praxi veľmi neuvažuje so znížením expozície elektromagnetických polí, ktoré vplývajú na človeka. Existujú rôzne opatrenia na zníženie expozície elektromagnetického poľa, ktoré vplývajú na človeka. Úlohou týchto opatrení je znížiť alebo v lepšom prípade odstrániť riziká, ktoré hrozia pri expozícii elektromagnetickým poľom vyžarovaným od zdrojov. Na zistenie rozloženia elektromagnetického poľa sa v dnešnej dobe používajú rôzne metódy. Najčastejšie sa využíva fyzické meranie elektromagnetického poľa, čiže meranie magnetickej indukcie pre magnetické pole a intenzity elektrického poľa pre elektrické pole. Ďalšia metóda spočíva v modelovaní a následne v simulácii rozloženia EMP.

II. MERANIE EMP VYBRANEJ ČASTI ELEKTRICKEJ STANICE

Na meranie elektromagnetického poľa a jej magnetickej zložky sa používal merací prístroj FW Bell model 8030 Magnetometer Gaussmeter Teslameter spolu s externou 3 osovou sondou. Použitím tohto prístroja bolo možné merať magneticú zložku EMP. Okrem merania v 3 osiach, prístroj meria aj výslednú vektorovú hodnotu, čiže vektorový súčet z týchto troch osí. Vďaka tomu je možné merať výslednú hodnotu magnetickej indukcie, ktorá pôsobí na človeka. Na meranie elektromagnetického poľa a jej elektrickej zložky sa používal merací prístroj Gigahertz Solutions ME 3840B. Hlavnou úlohou týchto prístrojov bolo odmerať rozloženie magnetickej indukcie a intenzity elektrického poľa vybranej časti vvn elektrickej stanice.

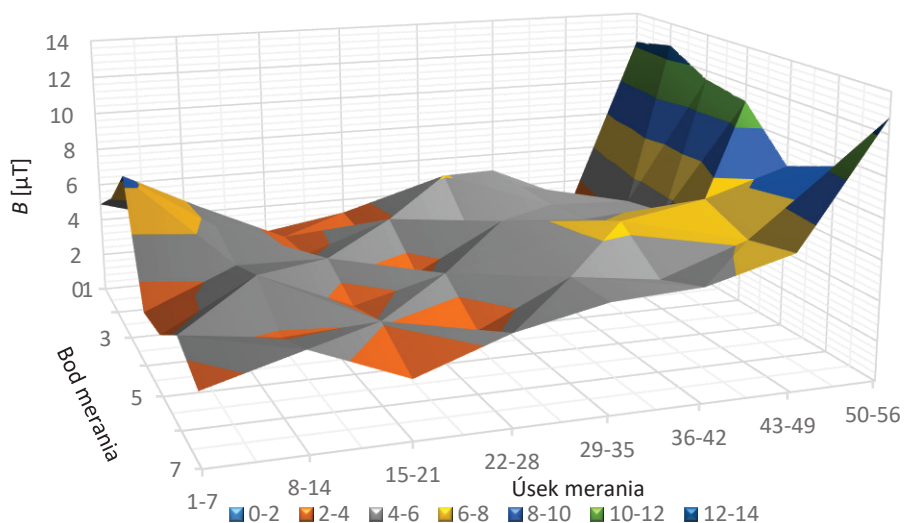
Samotné meranie sa starostlivo pripravilo. Najprv bolo potrebné sa oboznámiť s meracím pracoviskom, následne sa vybralo konkrétne pole (z viacerých polí) v elektrickej stanici, v ktorom sa meranie realizovalo. Na to, aby sa určilo koľko meraní sa uskutoční, bolo potrebné poznať rozmery meraného poľa. Využitím výpočtovej techniky sa navrhla geometria a vypočítal sa krok merania po osi x a y . Ako je možné vidieť z Obr. 1, dĺžka meracieho poľa (os x) činila 15 400 mm a šírka (os y) mala 9 600 mm. Zo zistených rozmerov poľa sa vybral krok merania po osi x vo veľkosti 2 200 mm a po osi y bola veľkosť kroku 1 600 mm. Pri takejto veľkosti poľa a zvolenom kroku merania, vzniklo 56 meracích bodov. V každom bode boli realizované ďalšie tri merania a to vo výške (0,3; 1; 1,8) m nad zemou. Pri meraní bolo nameraných dohromady 168 hodnôt pre elektrické pole a 168 hodnôt pre magnetické pole.



Obr. 1 Pôdorys vybraného poľa v elektrickej stanici s vyznačením bodov merania

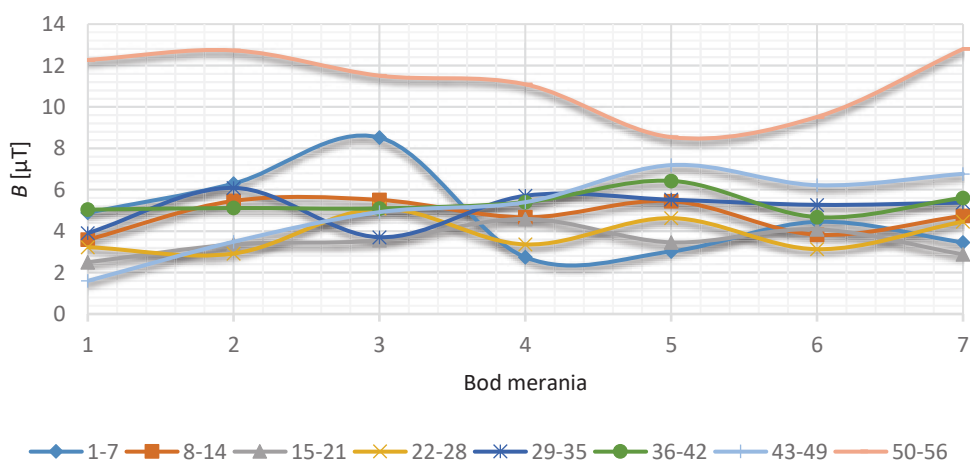
Počas merania veličín E a B teplota prostredia dosahovala hodnotu 19°C a vlhkosť vzduchu činila hodnotu 93 %. Meranie intenzity elektrického poľa sa vykonávalo paralelne spolu s meraním magnetickej indukcie. Pri meraní intenzity elektrického poľa boli namerané hodnoty, podľa ktorých bolo možné zistiť, že najväčšie hodnoty sa dosahovali v mieste kolmo na vodiče. Meranie sa vykonávalo v 3 výškach, avšak toto meranie nebolo možné zrealizovať v každom bode. Limitný faktor predstavoval merací prístroj, ktorého horný merací rozsah bol do 2 000 V/m.

Rozloženie magnetickej indukcie vo výške 0,3 m v elektrickej stanici



Obr. 2 Grafická závislosť nameraného rozloženia magnetickej indukcie vo výške 0,3 m

Rozloženie magnetickej indukcie vo výške 0,3 m v elektrickej stanici



Obr. 3 Grafická závislosť rozloženia magnetickej indukcie v úsekoch merania vo výške 0,3 m

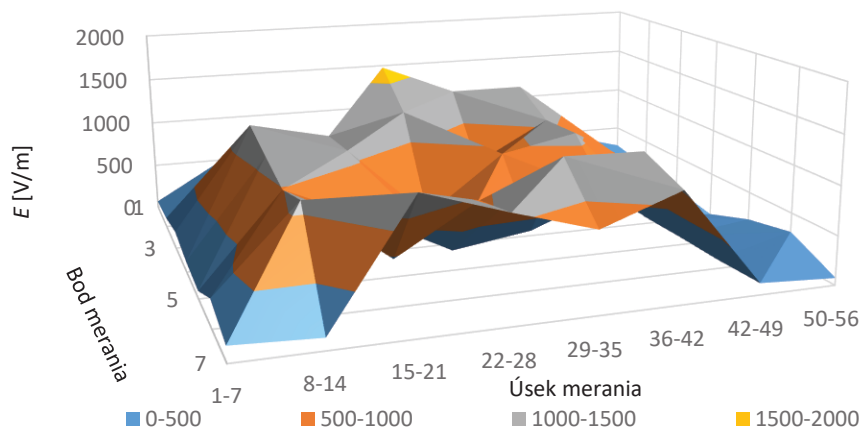
Všetky grafické znázornenia (typu 3D), ako napr. na Obr. 2 a Obr. 4, ktoré znázorňujú rozloženia magnetickej indukcie a intenzity elektrického poľa, sú orientované rovnakým smerom ako je geometria modelu na Obr. 6.

Z obrázka Obr. 2 je možné vidieť celkové rozloženie magnetickej indukcie vo výške 0,3 m nad zemou v celom vybranom poli vvn elektrickej stanice. Bodové usporiadanie hodnôt magnetickej indukcie v jednotlivých úsekoch merania, je možné vidieť na obr. 3.

Z grafickej závislosti (Obr. 2) je možné vidieť zvýšenie hodnôt v bode 3 na hodnotu $8,52 \mu\text{T}$. Je to z dôvodu, že bod 3 sa nachádzal kolmo pod vodičom fázy L_3 . V tom čase pretekal prúd vo fáze L_3 o veľkosti $I_{L3} = 235,12 \text{ A}$. Pri pohľade na zvyšné línie od 8-14 až po 43-49, nie je vidieť žiadnu výchytku a hodnoty majú porovnateľnú veľkosť. Z nameraných hodnôt je vidieť, že rozloženie magnetickej indukcie v meranom poli je rovnomerné. Avšak pri línii 50-56 sa hodnoty prudko, resp. rapídne, zvyšujú od hodnoty $10 \mu\text{T}$ až po hodnotu $14 \mu\text{T}$. Zvýšenie hodnôt je prevažne možné pozorovať na začiatku a na konci úseku. Je to z dôvodu prítomnosti železnej konštrukcie (nosník), na ktorej sú vyvedené vodiče, ktoré smerujú von z elektrickej stanice. Maximálna hodnota B na tomto úseku bola nameraná v bode B52, čiže v druhom bode, na úseku 50-56 a to o veľkosti $12,73 \mu\text{T}$. V strede tohto úseku je vidieť znižovanie hodnôt až na minimálnu hodnotu $8,54 \mu\text{T}$. Príčinou znižovania hodnôt v strede tohto úseku je prítomnosť železnej konštrukcie, ktorá bola uzemnená.

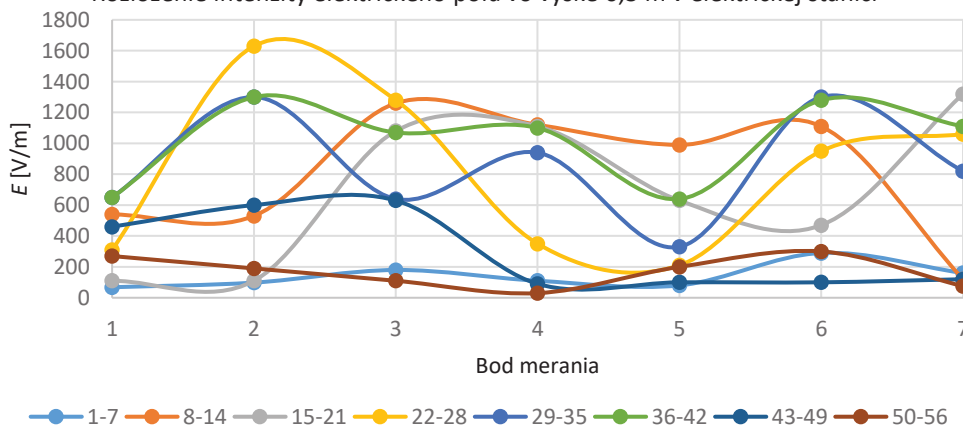
Vo zvyšných výškach (1 m a 1,8 m nad zemou) sa hodnoty magnetickej indukcie zvyšovali. Preto sa potvrdil teoretický predpoklad, že so zväčšujúcou sa vzdialenosťou medzi meracou sondou a zdrojom EMP, sa hodnota magnetickej indukcie znižuje.

Rozloženie intenzity elektrického poľa vo výške 0,3 m v elektrickej stanici



Obr. 4 Grafická závislosť rozloženia elektrickej intenzity vo výške 0,3 m nad zemou, zistená meraním

Rozloženie intenzity elektrického poľa vo výške 0,3 m v elektrickej stanici



Obr. 5 Grafická závislosť rozloženia intenzity elektrického poľa v úsekoch merania vo výške 0,3 m

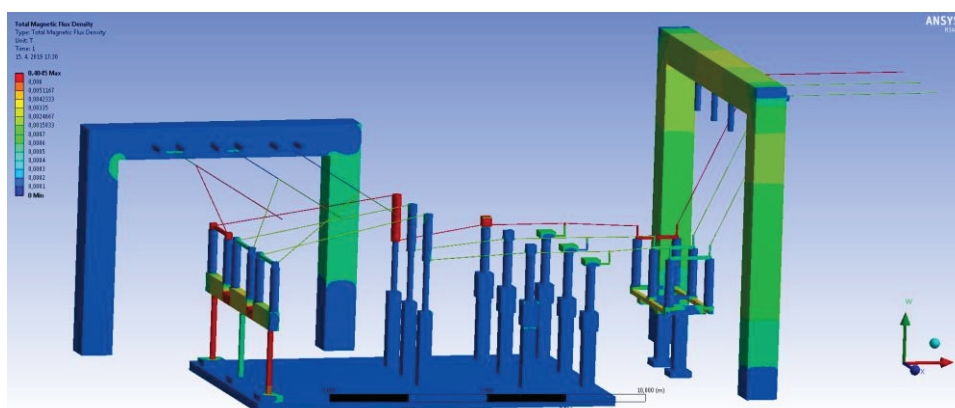
Na grafickej závislosti, ktorá sa nachádza na obrázku Obr. 5, je možné vidieť veľké výkyvy hodnôt vo všetkých úsekoch merania. Najmenšie namerané hodnoty intenzity elektrického poľa sú zaznamenané v prvom úseku merania a to v úseku 1-7 a v poslednom úseku merania, 50-56. Je to z dôvodu, že v týchto oblastiach, na začiatku a na konci poľa, nie je veľká koncentrácia káblov (fázových vodičov), ktoré by boli zdrojmi elektrického poľa. Najväčší výkyv je zaznamenaný na úseku merania 22-28, kde priebeh v tomto úseku merania dosahoval najväčší rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou intenzity elektrického poľa. Maximálna

hodnota bola v druhom bode merania a činila hodnotu 1 630 V/m (bod B23). Táto hodnota je zároveň najväčšou nameranou hodnotou vo výške 0,3 m nad zemou. V ostatných úsekoch poľa a to od úseku merania 8-14 až po úsek merania 43-49, namerané hodnoty sa pohybujú od 400 V/m až po 1 300 V/m. V týchto oblastiach sa nachádza prístrojové vybavenie poľa elektrickej stanice. Nachádzajú sa tu rôzne nosníky a vysoká koncentrácia káblov (fázových vodičov).

Pre výšku 1 m nad zemou nebolo možné v každom bode odmerať veľkosť intenzity elektrického poľa. Hodnoty presahovali horné ohraničenie prístroja (2 000 V/m) a to už od výšok 0,65 m. Preto, ak nebolo možné odmerať hodnotu E vo výške 1 m nad zemou, meranie bolo realizované pre najvyššiu možnú výšku, kde merací prístroj ešte dokázal odmerať danú hodnotu E . Podobný prípad nastal aj pri výške 1,8 m nad zemou. Preto sa zvolil rovnaký postup merania ako pri výške 1 m nad zemou.

III. POČÍTAČOVÉ MODELOVANIE ROZLOŽENIA EMP V PROSTREDÍ ANSYS

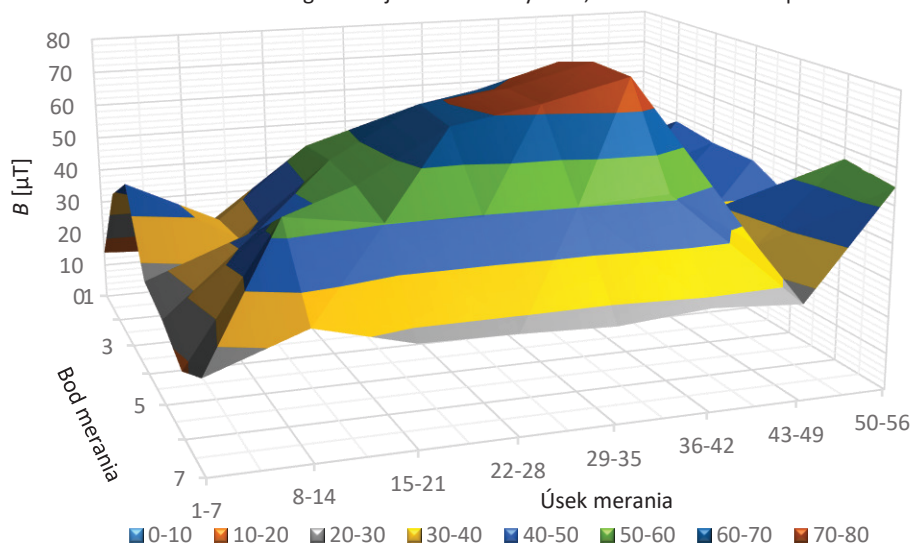
Počítačový model bol vytvorený na základe skutočných rozmerov prístrojovej výbavy daného poľa, kde sa realizovalo meranie. Do modelu sa zahrnulo aj reálne rozmiestnenie daných konštrukcií a ich vzájomné vzdialenosti. Na to, aby vznikli čo najpresnejšie a najlepšie výsledky rozloženia elektromagnetického poľa, celý návrh sa riešil v trojrozmernom formáte. Na základe časovej náročnosti na výpočtový výkon, pristúpilo sa k určitým zjednodušeniam geometrie.



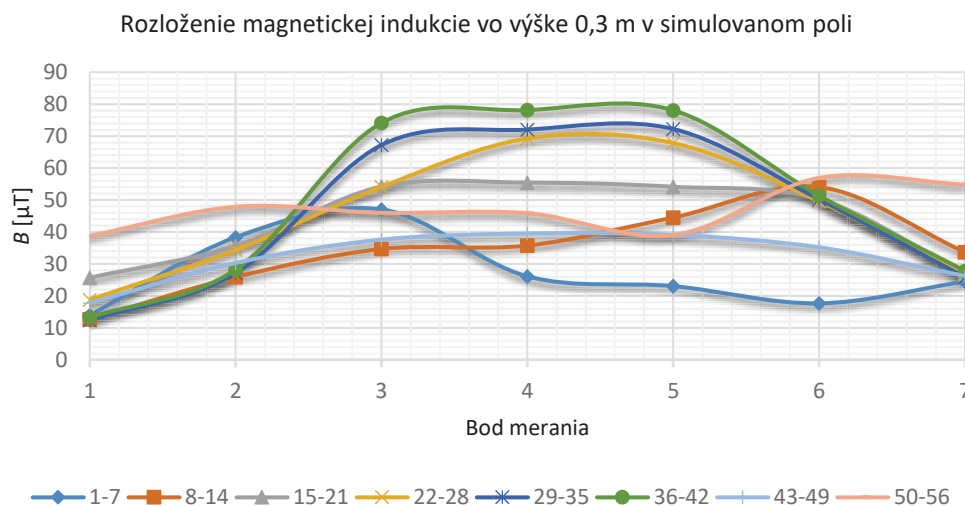
Obr. 6 Rozloženie magnetickej indukcie v meracom poli

Na obrázku Obr. 6 je možné vidieť výsledok simulácie rozloženie magnetickej indukcie vo vnútri poľa elektrickej stanice. Predmetný výsledok simulácie bolo možné získať s dostupnou výpočtovou technikou, kde je nainštalovaná licencia na softvér ANSYS (12-jadrový procesor, 96 GB RAM), po 14 dňoch (10 dní výpočet sieťovania a cca 4 dni výpočet magnetickej indukcie).

Rozloženie magnetickej indukcie vo výške 0,3 m v simulovanom poli

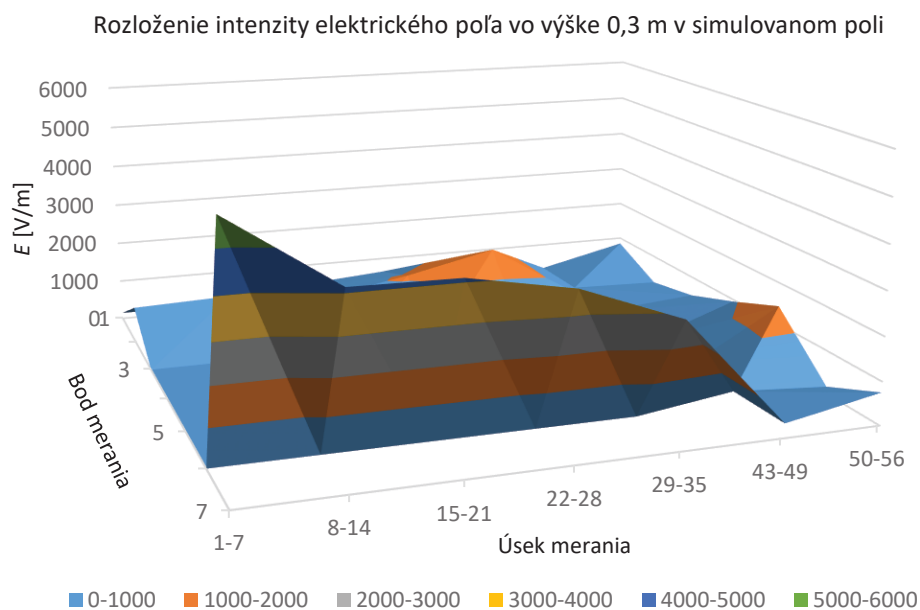


Obr. 7 Rozloženie magnetickej indukcie vo výške 0,3 m nad zemou získané počítačovou simuláciou



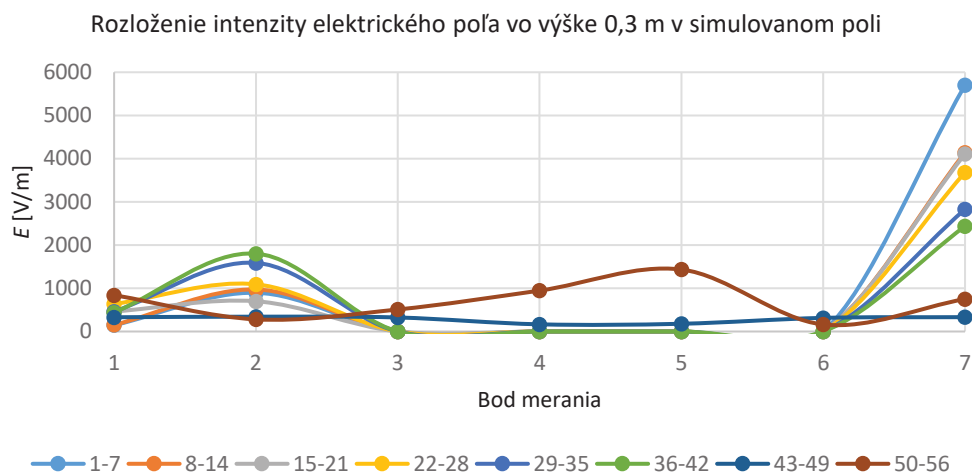
Obr. 8 Grafické znázornenie magnetickej indukcie v úsekoch merania v simulovanom poli vo výške 0,3 m

Z grafických závislostí (Obr.7) a (Obr. 8) je vidieť, že najväčšie hodnoty magnetickej indukcie boli v úseku merania 36-42. V týchto miestach dosahovala hodnota magnetickej indukcie hodnoty 70-80 μT . V úsekoch merania od 22-28 až po 36-42 je vidieť veľké zvýšenie hodnôt magnetickej indukcie oproti ostatným úsekom. Vo zvyšných úsekoch sa hodnoty magnetickej indukcie pohybujú rádovo 10-55 μT . Celkovo najväčšie hodnoty sa nachádzajú na tých miestach, kde sú uložené fázové vodiče. Tento vplyv vysokých hodnôt má za príčinu uzemnenie, ktoré sa nachádza pozdĺž celého poľa. Elektromagnetické vlastnosti tohto uzemnenia veľmi vplývali na výsledky simulácie. To malo za príčinu skreslenie týchto hodnôt.



Obr. 9 Rozloženie intenzity elektrického poľa v simulovanom poli vo výške 0,3 m nad zemou

Na obrázku Obr. 10 je vidieť zvýšenie hodnôt elektrickej intenzity v bode merania 2. V tomto bode sa nachádza fázový vodič L_3 . Pod týmto vodičom, pozdĺž celého poľa, sa pohybujú hodnoty od 281,31 V/m až po 1 802,7 V/m. V poslednom úseku merania 50-56, sa hodnoty intenzity elektrického poľa zvyšujú v bode merania 5. Takého zvýšenie hodnôt malo za príčinu prítomnosť fázového vodiča L_1 . Vo zvyšných častiach poľa sa hodnota elektrickej intenzity pohybuje okolo hodnoty 100 V/m. Najväčšie hodnoty je vidieť na konci úsekov merania a to konkrétne v bode merania 7. V každom úseku merania, v posledných bodoch merania 7, sú zvýšené hodnoty, ktoré predstavujú chybný výpočet programu Ansys z dôvodu výskytu hrany železo-betónového základu. Táto chyba sa prejavovala aj v ostatných výškach a to pri 1 m a 1,8 m nad zemou.



Obr. 10 Intenzita elektrického poľa v jednotlivých úsekoch merania v simulovanom poli vo výške 0,3 m

IV. ZÁVER

Tento článok sa zaoberal meraním a modelovaním rozloženia elektromagnetického poľa vo VVN elektrickej stanici. Vzniklo množstvo nameraných a simulovaných hodnôt. Namerané a vypočítané hodnoty boli porovnané so slovenskou legislatívou (vyhláška MZ SR 534/2007 Z.z. a nariadenie 209/2016 Z.z.), pričom sa zistilo, že v bodoch merania nebola prekročená hodnota magnetickej indukcie B a elektrickej intenzity E akčná hodnota expozície elektromagnetického poľa. Pri vzájomnom porovnaní nameraných a simulovaných hodnôt sa zistilo, že namerané a simulované hodnoty intenzity elektrického poľa (elektrické pole), mali najmenší rozdiel v porovnaní s hodnotami magnetickej indukcie (magnetického poľa). Hodnoty pre elektrické pole a to namerané a simulované, sa líšili v priemere 3,2-krát, kým pre magnetické pole to bolo 5,9-krát. Vzhľadom na to, že namerané a simulované hodnoty neprekračujú hodnoty definované v legislatíve, dávajú širokej verejnosti prehľad o rozložení EMP vo vvn elektrickej stanici.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18, VEGA 1/0435/19 a tiež v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt *Ochrana obyvateľstva SR pred účinkami elektromagnetických polí* (ITMS kód: 26220220145), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

REFERENCIE

- [1] Mayer, D., „Aplikovaný elektromagnetizmus“. Nakl. Kopp, Č. Budějovice 2012. ISBN 978-80-7232-436-1
- [2] Dědková, J., „Modelování elektromagnetických polí“, Vysoké učení technického v Brně, 2006, 82 strán.
- [3] Žvanda, P. „Analýza rozloženia elektromagnetického poľa vo VVN elektrickej stanici“, diplomová práca. Technická univerzita Košice, 2019.
- [4] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 534/2007 Z.z., z 16. augusta 2007 o podrobnostiach a požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.
- [5] Nariadenie vlády SR č. 209/2016 Z.z., z 1. júl 2016 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu.