

Ing. Ľuboš Skurčák

Autoreferát dizertačnej práce

**VPLYV KONFIGURÁCIE VONKAJŠÍCH EL. ROZVODNÍ VVN A
ZVN NA VEĽKOSŤ ELEKTRICKÝCH A MAGNETICKÝCH POLÍ
SIEŤOVEJ FREKVENCIE Z POHĽADU OCHRANY OSÔB**

na získanie akademickej hodnosti doktor (philosophiae doctor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: **Elektroenergetika**
v študijnom odbore 5.2.30 Elektroenergetika

Miesto a dátum: Bratislava, 21.07.2015

Ing. Ľuboš Skurčák

Autoreferát dizertačnej práce

**VPLYV KONFIGURÁCIE VONKAJŠÍCH EL. ROZVODNÍ VVN A
ZVN NA VEĽKOSŤ ELEKTRICKÝCH A MAGNETICKÝCH POLÍ
SIEŤOVEJ FREKVENCIE Z POHĽADU OCHRANY OSÔB**

na získanie akademickej hodnosti doktor (philosophiae doctor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: **Elektroenergetika**

Miesto a dátum: Bratislava, 21.07.2015

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia.

Na Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave.

Predkladateľ: **Ing. Ľuboš Skurčák**
VUJE, a.s.
Okružná 5
918 64 Trnava

Školiteľ: **Doc. Ing. Anton Beláň, PhD.**
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Oponenti: **doc. Ing. Miroslav Gutten, PhD.**
Katedra merania a aplikovanej elektrotechniky
Elektrotechnická fakulta
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1, 010 26 Žilina
Slovenská republika

Doc. Ing. Petr Toman, PhD.
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií
Ústav elektroenergetiky
61600 Brno – Poruba Technická 3082/12, Královo Pole
Česká republika

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná: 26.08.2015 o 8:30 hod.

Na Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3

.....
prof. Dr. Ing. Miloš Oravec
dekan fakulty

Obsah

OBSAH	4
ÚVOD	5
CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE	7
1 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	8
1.1 LEGISLATÍVA SR A EÚ V OBLASTI ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ	8
1.2 OBJEKTIVIZÁCIA EXPOZÍCIE ELEKTROMAGNETICKÉMU POLU	11
1.2.1 <i>Meranie intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie</i>	11
1.2.2 <i>Výpočet intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie</i>	13
2 MODELOVANIE PRÍSTROJOV	15
3 MODELOVANIE ELEKTRICKÝCH A MAGNETICKÝCH POLÍ ELEKTRICKÝCH STANÍC 17	
3.1 ELEKTRICKÁ STANICA PODUNAJSKÉ BISKUPICE	19
3.2 ELEKTRICKÁ STANICA VARÍN	21
3.3 ELEKTRICKÁ STANICA SENICA.....	24
3.4 ELEKTRICKÁ STANICA PIONIERSKA BRATISLAVA.....	27
4 NÁVRH OPATRENÍ NA ZNÍŽENIE EXPOZÍCIE OSÔB ELEKTROMAGNETICKÉMU POLU V PRIESTOROCH ELEKTRICKÝCH STANÍC VVN A ZVN 30	
4.1 ZVÄČŠENIE VÝŠKY SILOVÝCH PRÍSTROJOV A PRÍPOJNÍC	30
4.2 PASÍVNE TIENENIE ŽIVÝCH ČASTÍ ROZVODNE VVN, ZVN V OKOLÍ ODPOJOVAČOV	31
4.3 PASÍVNE TIENENIE ŽIVÝCH ČASTÍ POMOCOU ZAPUZDRENÝCH KOMPAKTNÝCH MODULOV	33
5 PRÍNOS PRÁCE PRE PRAX	35
ZÁVER	38
POUŽITÁ LITERATÚRA	41
ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ AUTORA SÚVISIACICH S PROBLEMATIKOU DIZERTAČNEJ PRÁCE	44

Úvod

Elektrické rozvodne sú neoddeliteľnou súčasťou elektrizačnej sústavy. Musia plniť rôznorodé požiadavky, ktoré sú na ne kladené. Pri návrhu elektrických rozvodní je potrebné rešpektovať rôzne požiadavky ako napr. výkon zdrojov, charakter odberu, veľkosť skratových prúdov, spoľahlivosť a bezpečnosť dodávky elektrickej energie, spôsob údržby a pod. Tieto požiadavky spolu s ďalšími podmienkami, ako sú predstavy investora, dispozičné usporiadanie vonkajších a káblových vedení, veľkosť priestoru na ich výstavbu a pod. určujú konfiguráciu rozvodne. Konfigurácia elektrických rozvodní, ako aj výber prístrojov patria k dôležitým aspektom, ktoré majú výrazný vplyv na dosahované úrovne nízkofrekvenčných elektrických a magnetických polí. V súčasnej praxi sa však s optimalizáciou veľkosti expozície osôb elektromagnetickému poľu ako s podmienkou ovplyvňujúcou návrh elektrickej rozvodne neuvažuje.

Problematika hodnotenia expozície elektromagnetickému poľu s frekvenciou 50 Hz je pritom v Slovenskej republike (SR) aktuálna už od roku 2004. V súčasnosti sa touto problematikou zaoberá vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 534/2007 Z.z., ktorá ustanovuje minimálne požiadavky na zdroje elektromagnetického žiarenia, s cieľom zabezpečiť ochranu zdravia obyvateľov v životnom prostredí v súvislosti s expozíciou elektromagnetickému poľu s frekvenciou od 0 Hz do 300 GHz, ako aj nariadenie vlády SR č. 329/2006 Z.z., ktoré určuje povinnosť zamestnávateľov vykonávať posudzovanie rizík expozície elektromagnetickému poľu. Spomínané nariadenie vlády (NV) vyžaduje od zamestnávateľov aby na základe posúdenia rizík určil opatrenia. Cieľom je odstrániť alebo znížiť riziká v súvislosti s expozíciou elektromagnetickému poľu na najnižšiu dosiahnuteľnú úroveň, predovšetkým pri zdroji elektromagnetického poľa. V prípade ak sú prekročené akčné hodnoty definované nariadením vlády č. 329/2006 Z.z., zamestnávateľ je povinný navrhnúť a zrealizovať také opatrenia, ktoré znížia expozíciu elektromagnetického poľa. V prípade prekročenia limitných hodnôt je potrebné tieto opatrenia vykonať bezodkladne. Môže ísť o organizačné ale aj technické alebo stavebné opatrenia.

Posudzovanie rizík v súvislosti s expozíciou elektromagnetickému poľu v priestoroch elektrických staníc je možné realizovať viacerými postupmi. Najčastejšie sa pre tento účel využíva matematické modelovanie alebo meranie intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie. Podrobnejšie skúmanie rozloženia elektrických a magnetických polí v elektrických staniach veľmi vysokého napätia (VVN) a zvlášť vysokého napätia (ZVN) v rámci elektrizačnej sústavy SR, v závislosti od rôznych aspektov, ako je konfigurácia elektrickej rozvodne, jej menovité napätie, priestorové usporiadanie, prístrojové vybavenie, vrátane prevádzkových režimov je možné len pomocou modelovania.

Spôsob a postupy na vytvorenie zodpovedajúcich modelov výrazne ovplyvňuje zvolený výpočtový softvér. Program EFC-400, ktorý bol použitý v súvislosti s touto prácou, umožňuje modelovať elektrické prístroje ako tvarovo členité konštrukcie, identické zachytenie ich tvaru

však nie je možné. Z tohto dôvodu je potrebné zvoliť ich vhodnú geometrickú reprezentáciu s rešpektovaním dôležitých parametrov. Ide o náročnú činnosť, keďže prístroje pozostávajú z kovových elektricky vodivých častí ako aj z izolátorov, pričom niektoré ich kovové vodivé časti sú len na potenciáli, iné sú na potenciáli a pretekané prúdom. Pre dosiahnutie hodnoverných výsledkov výpočtov je pritom dôležité správne definovať tvary prúdových dráh alebo častí pod napätím, pretože tieto sú pre výpočet významné.

Ciele dizertačnej práce

Cieľom dizertačnej práce je preskúmať dosahované úrovne elektrických a magnetických polí sieťovej frekvencie v priestore elektrických rozvodní VVN a ZVN rôznej konfigurácie (elektrického zapojenia a technického vyhotovenia) z pohľadu ochrany osôb pred nepriaznivými účinkami týchto polí a navrhnúť vhodné spôsoby na zníženie expozície osôb elektromagnetickému poľu.

Čiastkové ciele diplomovej práce, podmieňujúce dosiahnutie hlavného cieľa:

- 1) Vytvorenie modelov na simuláciu elektrických a magnetických polí vybraných typov elektrických staníc používaných v ES SR.
- 2) Stanovenie úrovni elektrického a magnetického poľa v priestoroch vybraných elektrických staníc.
- 3) Lokalizovanie miest v elektrických staniach, v ktorých sú dosahované najvyššie úrovne expozície elektromagnetickému poľu.
- 4) Návrh opatrení zameraných na zníženie dôsledkov súvisiacich s expozíciou osôb elektromagnetickému poľu v priestoroch elektrických staníc VVN a ZVN.

1 Súčasný stav riešenej problematiky

V súčasnosti v SR sa problematike ochrany v súvislosti s expozíciou zamestnancov elektrických rozvodní elektromagnetickým poľom nevenuje taká pozornosť ako v zahraničí. Realizácia opatrení na zníženie expozície zamestnancov elektroenergetiky, zvlášť pracovníkov elektrických staníc 110 kV až 400 kV nie je v SR bežnou praxou. Vykonáva sa posúdenie rizík v zmysle Nariadenia vlády SR č. 325/2006Z.z., v prevažnej miere však len na základe neakreditovaných meraní, realizovaných v niektorých bodoch určených prevádzkovateľom. Opatrenia sa navrhujú len v prípade, ak je prekročená limitná hodnota (takmer výlučne ide o priestor okolo kompenzačných tlmiviek, ktorý sa zabezpečí technickými prostriedkami na zamedzenie vstupu). V prípade obyvateľstva je situácia v SR o niečo priaznivejšia. Nové vedenia 400 kV sú posudzované ešte počas prípravy projektu. Na základe výsledkov výpočtov sú potom prijímané opatrenia na zníženie hodnoty intenzity elektrického poľa pod akčnú hodnotu stanovenú pre obyvateľstvo, t.j. pod $5 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$. V zahraničí je problematike ochrany zamestnancov v súvislosti s expozíciou elektromagnetickému poľu venovaná väčšia pozornosť. Viaceré zahraničné energetické spoločnosti sa zaoberajú posudzovaním rizík spojených s nízkofrekvenčnými elektromagnetickými poliami sieťovej frekvencie, ktoré sú generované zariadeniami na prenos a distribúciu elektrickej energie, vykonávajú školenia a vybavujú zamestnancov ochrannými pracovnými pomôckami. Aj v zahraničí je však väčšia pozornosť venovaná znižovaniu expozície obyvateľstva (návrh nových typov stožiarov, technické opatrenia na zníženie magnetickej indukcie v blízkosti káblových trás a pod.). Cielené znižovanie expozície zamestnancov pomocou technických opatrení nie je bežné.

1.1 Legislatíva SR a EÚ v oblasti elektromagnetických polí

Legislatíva zaoberajúca sa problematikou ochrany osôb pred účinkami elektromagnetických polí prešla rôznymi zmenami. Súčasná legislatíva SR k elektromagnetickým poliám nadväzuje na odporúčania ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection), ktoré sú zohľadnené aj v európskych smerniciach.

V súčasnosti sú v SR platné dva legislatívne predpisy. V prípade zamestnancov ide o Nariadenie vlády č. 329/2006 Z.z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu, ktoré bolo novelizované Nariadením vlády č. 217/2008 Z.z. V prípade obyvateľstva problematiku elektromagnetických polí zastrešuje Vyhlášku MZ SR č. 534/2007 Z.z. o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.

Tab. 1.1 Platné akčné a limitné hodnoty expozície elektromagnetickému poľu pre frekvenciu 50 Hz

	Akčná hodnota pre E (kV.m ⁻¹)	Akčná hodnota pre B (μT)	Limitná hodnota (mA.m ⁻²)
<i>Vyhl. MZ SR č. 534/2007 Z.z. (pre obyvateľstvo)</i>	5	100	-
<i>NV SR č. 329/2006 Z.z. (pre zamestancov)</i>	10	500	10

K vyhláške MZ SR 534/2007 Z.z. [2] bol 2.2.2009 vydaný list Úradu verejného zdravotníctva SR č.OOFŽP/20935/2008, v ktorom je uvedené stanovisko k požiadavke na zdroje elektromagnetického žiarenia a limity krátkodobej expozície obyvateľstva. V stanovisku sa uvádza:

„Vyhláška MZ SR 534/2007 Z. z. stanovuje akčné hodnoty expozície pre elektrické, magnetické a elektromagnetické polia ako efektívne hodnoty pre nepretržitú expozíciu, t.j. pre expozíciu 24 hodín. Na základe uvedenej skutočnosti odporúčame stanoviť akčné hodnoty expozície pre rôzne dĺžky expozície vo frekvenčnom pásme 50 Hz nasledovne:

$$\sum E_i^2 \cdot t_i \leq 24 \cdot E_{L,i}^2$$

kde t_i je doba i-tej expozície v hodinách,

E_i - intenzita elektrického poľa pri i-tej expozícii v jednotkách (V.m⁻¹)

$E_{L,i}$ - akčná hodnota intenzity elektrického poľa pre nepretržitú expozíciu uvedená v tabuľke 2, t.j. pre frekvenciu 50 Hz to je 5000 V.m⁻¹.

Poznámka: Analogicky pre magnetické pole.“

Expozícia obyvateľov elektromagnetickému poľu je riešená aj v európskej legislatíve. V roku 1999 bolo medzinárodnou komisiou na ochranu pred neionizujúcim žiarením vydané Odporúčanie rady č. 1999/519/EC o obmedzení expozície verejnosti elektromagnetickým poliam. V tomto odporúčaní sa uvádzajú akčné a limitné hodnoty expozície elektromagnetickému poľu (viď Tab. 1.3 a

Tab. **1.3**).

Tab. 1.2 Akčné hodnoty expozície uvedené v Odporúčaní rady č. 199/519/EC pre $f=50$ Hz

Katégoria osôb	Frekvencia (Hz)	Intenzita elektrického poľa E (kV.m ⁻¹)	Magnetická indukcia B (μT)
<i>Obyvateľstvo</i>	50	5	100

Tab. 1.3 Limitné hodnoty expozície uvedené v Odporúčaní rady č. 199/519/EC pre $f=50$ Hz

Katégoria osôb	Frekvencia (Hz)	Hustota elektrického prúdu J (mA.m ⁻²)
<i>Obyvateľstvo</i>	50	2

Uvedené odporúčanie uvádza, že ak sú namerané veličiny vyššie ako sú akčné hodnoty expozície, nemusí to nevyhnutne znamenať prekročenie limitných hodnôt expozície. V takom prípade treba stanoviť, či úroveň expozície je pod limitnými hodnotami expozície.

Problematika expozície zamestnancov elektromagnetickému poľu je riešená aj v [12], kde sa uvádzajú akčné a limitné hodnoty expozície elektromagnetickému poľu (viď Tab. 1.4 a Tab. 1.5).

Tab. 1.4 Akčné hodnoty expozície uvedené v Smernici č. 2004/40/ES pre $f=50$ Hz

Katégoria osôb	Frekvencia (Hz)	Intenzita elektrického poľa E (kV.m ⁻¹)	Magnetická indukcia B (μT)
<i>Zamestnanci</i>	50	10	500

Tab. 1.5 Limitné hodnoty expozície uvedené v Smernici č. 2004/40/ES pre $f=50$ Hz

Katégoria osôb	Frekvencia f (Hz)	Hustota elektrického prúdu J (mA.m ⁻²)
<i>Zamestnanci</i>	50	10

V roku 2013 bola vydaná nová smernica Európskeho parlamentu a rady č. 2013/35/EÚ [31], ktorá ako limitnú hodnotu uvádza intenzitu vnútorného elektrického poľa. Pre frekvenciu 50 Hz bola limitná hodnota pre zdravotné účinky stanovená na hodnotu $1,1 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ (špičková hodnota). Akčné hodnoty pre E a B sú uvádzané v dvoch úrovniach. Dolná úroveň je stanovená pre vonkajšie elektrické polia tak aby nebola prekročená limitná hodnota, horná úroveň zabezpečí dodržanie limitnej hodnoty, ak sú prijaté ochranné opatrenia. Do 31.12.2015 má Európska komisia vydať praktické pokyny pre metódy výpočtu a posúdenia limitných hodnôt.

1.2 Objektivizácia expozície elektromagnetickému poľu

Všeobecne je možné pre určenie veľkosti expozície elektromagnetickému poľu použiť nasledovné postupy:

- Meranie intenzity elektrického poľa, magnetickej indukcie a porovnaním nameraných úrovní s akčnými úrovňami.
- Výpočet.
- Meranie na modeloch ľudského tela alebo jeho časti (vzhľadom na skutočnosť, že uvedený postup je možné použiť len v laboratórnych podmienkach).

1.2.1 Meranie intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie

Meranie je v súčasnosti najčastejší postup používaný pre zisťovanie expozície elektromagnetickému poľu. V prípade sieťových frekvencií 50 Hz ide o oblasť blízkeho poľa, z tohto dôvodu sa intenzita elektrického poľa a magnetickej indukcia merajú samostatne. Meranie intenzity elektrického poľa sa obvykle vykonáva vo výške hlavy 1,8 m nad zemou, prípadne vo výške srdca cca 1,6 m nad zemou. Magnetickej indukcia sa obvykle meria vo výške 1 m, prípadne 1,8 m nad zemou. Meranie je možné realizovať aj v iných výškach, tieto je však potrebné zaznamenať v protokole z merania.

Zisťovanie hodnôt E a B meraním sa zvyčajne v priestoroch elektrických staníc realizuje pri bežnej prevádzke. Namerané hodnoty teda zodpovedajú konkrétnemu prevádzkovému stavu (veľkosť napätí a prúdov, zapojenie). Posudzovanie rizík v súvislosti s expozíciou elektromagnetickému poľu by sa však malo vykonať pre najnepriaznivejší stav, v ktorom sú dosahované najvyššie možné hodnoty E a B. Realizovať merania v takomto prevádzkovom stave je vzhľadom na meniace sa zaťaženie jednotlivých vývodov rozvodní 110 kV, 220 kV a 400 kV značne komplikované až nereálne. Túto skutočnosť je možné označiť za hlavný nedostatok meraní.

Presnosť merania E a B v reálnej prevádzke ovplyvňuje viacero faktorov podrobnejšie popísaných v [4], [5], [6], [13]. Sú to najmä:

- Prevádzkové faktory – veľkosť napätia a prúdu, sled fáz.

Veľkosť napätia je v prenosovej sústave (PS) a distribučných sústavách (DS) udržiavaná v stanovených medziach definovaných technickými podmienkami pre pripojenie resp. kódexom DS ($\pm 10\%$ pre siete 110 kV a 220 kV, $\pm 5\%$ pre siete 400 kV). Adekvátne s prevádzkovým napätím sa v uvedenom percentuálnom rozsahu mení aj intenzita elektrického poľa v okolí elektroenergetických zariadení. Trvalý prevádzkový prúd sa môže meniť v rozsahu od 0 A až po dovolený prúd (nominálny prúd). Veľkosť magnetickej indukcie je priamo závislá na veľkosti pretekajúceho prúdu, v dôsledku krátkodobých prúdových preťažení môže však nadobudnúť počas niekoľkých minút vyššie hodnoty.

2. Faktory vonkajšieho prostredia – vlhkosť a teplota prostredia.

Ide o faktory, ktoré súvisia s použitým typom meracej sondy. V prípade kapacitnej sondy dochádza pri relatívnej vlhkosti vzduchu nad 60%, v povrchových štrbinách sondy (stykov na hranách sondy) ku kondenzácii vlhkosti na molekuly vody a k skratovaniu kondenzátorových dosiek meracej sondy. To má za následok zvýšenie meranej hodnoty intenzity elektrického poľa. V prípade teploty je potrebné dodržiavať odporúčenie výrobcu prístroja, uvedené vo forme intervalu teplôt alebo závislosti meranej hodnoty od teploty okolia

3. Faktory okolia – výška porastu, terén, vzdialenosť od konštrukcií.

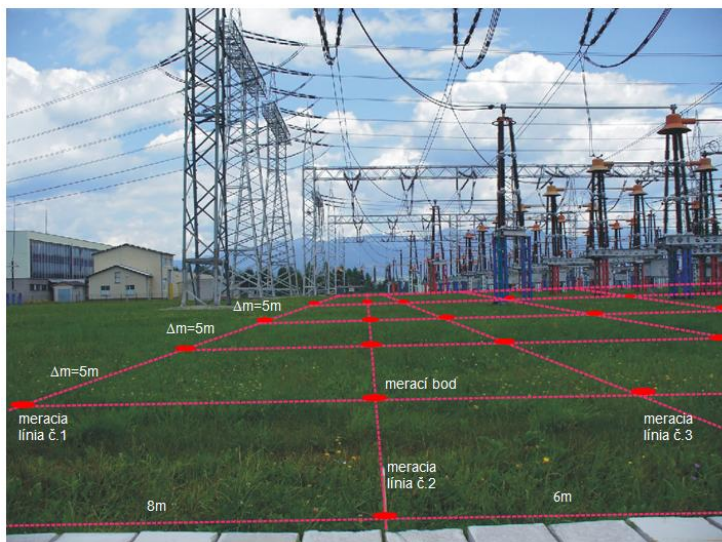
V dôsledku trávnatých porastov alebo inej vegetácie dochádza k zvýšeniu nameranej hodnoty elektrického poľa. Ovplyvňovanie veľkosti E je výrazné aj v blízkosti oceľových konštrukcií. V prípade magnetickej indukcie majú oceľové konštrukcie ako aj veľkosť vegetácie zanedbateľný vplyv na meranú hodnotu B.

4. Faktory merania – metodika merania, použité meracie prístroje.

Veľkosť meranej veličiny (ale aj celkový výsledok merania) môže okrem ostatných faktorov nepriaznivo ovplyvniť aj výber meracej metódy, ktorá nezohľadňuje podmienky okolia a obmedzenia meracieho prístroja. Pri meraní je však rovnako dôležité poznať a dodržiavať podmienky a špecifikácie dané výrobcom prístroja. Dôležité je aj správne poznanie meracieho prístroja a interpretácie meranej veličiny prístrojom (maximálna, efektívna hodnota).

Uvedené požiadavky je možné zabezpečiť pri použití tzv. sieťovej metódy. Pri použití tejto metódy sa meranie uskutočňuje v presne definovaných bodoch určených pomocou vhodne zvoleného rastra na ploche elektrickej rozvodne (viď Obr. 1.1). V praxi sa raster určuje v závislosti od menovitého napätia rozvodne a jej konfigurácie, pričom sa meranie vykonáva v niekoľkých paralelných meracích líniiach v jednotlivých bodoch vzdialených o konštantnú vzdialenosť Δm . Výber meracích línii sa vykonáva na základe odborného odhadu, tak aby meracie línie prechádzali miestami, kde sa očakávajú zvýšené hodnoty E a B. Zároveň musia byť rešpektované požadované podmienky merania smerujúce k

zabezpečeniu dostatočnej presnosti merania (vzdialenosť od ocelových konštrukcií, budov a pod.), s ohľadom na zaistenie bezpečnosti pracovníkov vykonávajúcich toto meranie. Vzďialenosť jednotlivých bodov, v ktorých sa vykonáva meranie sa volí s ohľadom na vzdialenosť lanových prepojení, tak aby E a B boli merané v čo najväčšom počte priamo pod lanovými prepojeniami a prípojnicami. Miesta, v ktorých bola nameraná najvyššia hodnota E a B je potrebné podrobnejšie preskúmať. Tento spôsob sa na základe dlhodobých praktických skúseností ukázal ako optimálny.



Obr. 1.1 Fiktívna sieť na ploche elektrickej rozvodne pri využití sieťovej metódy merania

1.2.2 Výpočet intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie

Výpočet elektromagnetických polí pomocou matematického modelovania zariadení elektrických staníc sa v súčasnosti v čoraz väčšej miere presadzuje pri určovaní expozície osôb elektromagnetickému poľu. Vzhľadom na zložitosť je nevyhnutné pre výpočet využiť špecializovaný softvér rešpektujúci základné fyzikálne zákonitosti platné v teórii elektromagnetického poľa [6].

Matematické modelovanie rozvodní VVN, ZVN je komplikovaný proces, ktorý vyžaduje čo najpresnejšie zadanie vstupných parametrov, najmä priestorových tvarov jednotlivých konštrukčných prvkov podieľajúcich sa na generovaní elektrického poľa a magnetickeho poľa. Ide napr. o priestorovo tvarované prípojnice, lanové a rúrové prepojenia, silové káble a silové elektrické prístroje, ale aj ocelové konštrukcie a profil terénu, ktoré tvoria členitú okrajovú

podmienku výpočtu elektrického a magnetického poľa na ploche vonkajšej rozvodne VVN a ZVN.

Presnosť výsledkov výpočtov elektromagnetických polí v priestore elektrických staníc je závislá na viacerých faktoroch uvedených v [7]. Majú však široké uplatnenie v oblasti ochrany osôb pred nepriaznivými účinkami elektromagnetických polí:

- Umožňujú posúdiť expozíciu zamestnancov elektromagnetickému poľu už v štádiu projektovania elektrickej rozvodne. Na základe toho je možné navrhnúť účinné opatrenia na zníženie expozície na úroveň požadovanú legislatívou. Vo všeobecnosti platí, že finančná náročnosť ich realizácie je nižšia, ako vynútené dispozičné úpravy v už prevádzkovaných rozvodniach.
- Výpočty je možné opakovane realizovať pre rôzne prevádzkové stavy, vrátane maximálnych prevádzkových stavov.
- Sú vhodné na posudzovanie úrovne expozície pracovníkov elektromagnetickému poľu pri rekonštrukciách alebo zmenách spôsobu prevádzkovania rozvodní, najmä z hľadiska maximálnych prevádzkových stavov.
- Matematické modelovanie umožňuje podrobnejšie zmapovať rozloženie úrovni expozície osôb elektromagnetickému poľu v porovnaní s praktickými meraniami. Výsledky výpočtov sú preto využiteľné pri optimalizácii pochôdzkových trás a presnom vymedzení priestorov, kde dochádza k prekročeniu expozičných limitov.

Nevýhoda matematického modelovania rozvodní je vo väčšej časovej náročnosti pri vytváraní výpočtového modelu.

2 Modelovanie prístrojov

Táto časť práce je venovaná popisu všeobecných pravidiel, ktoré by mali byť rešpektované pri modelovaní zariadení elektrických staníc s využitím špecializovaného softvéru EFC-400. Nižšie uvedené pravidlá vychádzajú zo skúseností, ktoré boli získané realizáciou veľkého počtu výpočtov elektrických a magnetických polí v okolí elektroenergetických zariadení, s využitím uvedeného softvéru.

Elementárnym modelovým prvkom výpočtového programu EFC-400 je líniový prúdovodič pod napätím konečnej dĺžky s definovaným polomerom z elektricky vodivého, magnetického alebo nemagnetického materiálu (Fe, Al, Cu). Pri modelovaní elektrických staníc pomocou elementárných prúdovodičov je potrebné vytvoriť všetky dôležité prvky, ktoré určujú veľkosť elektrických a magnetických polí. Ide najmä o:

- priame rúrové prípojnice so známym vonkajším priemerom a prierezom medzikružia dutého valca-rúry,
- lanové prípojnice a lanové prepojenia s definovaným priemerom, ktoré môžu byť reprezentované sériou dotyčnic k priehybovej čiare tvaru reťazovky, alebo jednoduchou náhradou reťazovky - parabolou,
- kruhové ochranné armatúry známeho priemeru (modelované sériou dotyčnic ku kružnici v tvare mnohouholníka),
- valcové hlavy prístrojov (modelované klieťkou vytvorenou z líniových výpočtových prvkov, vystihujúcou čo najlepšie ich skutočný tvar),
- cievky vinutí transformátorov a kompenzačných tlmiviek (namodelované z líniových výpočtových prvkov v dotyčniciach ku špirále kruhových závitov),
- hranaté kovové objekty (ovládacie skrine prístrojov) namodelované pravidelným šesťstenom, z materiálu so známym tieniacim faktorom.

Všetky uvedené časti sa pritom modelujú s rešpektovaním tvarov a konštrukčných rezov, funkcie a použitých materiálov. Prioritou pri matematickom modelovaní elektrickej stanice, je správne určenie:

- troj-rozmerného tvaru prúdových dráh silových prístrojov pod napätím, v súlade s ich konštrukčným rezom a tvarom lanových alebo rúrových pripojení,
- priestorového umiestnenia jednotlivých prístrojov na ploche celej rozvodne,
- tvaru uzemnených priehradových konštrukcií a podporných stoličiek silových prístrojov,
- oceľových stožiarov a portálov hlavných a pomocných prípojnic,
- členitosti terénu rozvodne.

Vychádza sa pritom z projekčných výkresov jednotlivých polí a celej rozvodne, ktoré je vhodné verifikovať fyzickým zameraním jej skutočného dispozičného usporiadania (často krát

odlišného od projektu). Dôležité je venovať pozornosť detailom ako: poloha ovládacích skriň umiestnených na podperných stoličkách prístrojov, umiestnenie kovových skriň na rozvážačov, tvar lanových prepojení, výška a skutočný priehyb lanových prípojnic, atď. Nesprávne určenie geometrie prúdových dráh a umiestnenia ostatných dôležitých prvkov sú obvyklé príčiny disproporcií vypočítaných a nameraných hodnôt intenzity elektrického poľa E a magnetickej indukcie B .

Vytvorenie geometrickej reprezentácie elektrických prístrojov a ďalších zariadení je teda nevyhnutným predpokladom pre vytvorenie modelu elektrických staníc. Nejde pritom o triviálnu úlohu. V rámci prípravy podkladov pre modelovanie je nevyhnutné identifikovať:

- tvary aktívnych okruhov a ich priestorové rozmery, t.j. tých vodivých častí, ktoré pri známej konfigurácii rozvodne tvoria prúdové dráhy a napäťové, alebo beznapäťové okruhy (prípojnice, odpojovače, vypínače, meracie transformátory, atď.),
- rozloženie aktívnych okruhov na úseky a tvary, ktoré sa dajú namodelovať náhradnými elementárnymi výpočtovými prvkami,
- priestorové rozmery a tvary uzemnených častí rozvodne, t.j. oceľových priehradových stožiarov a podperných stoličiek silových prístrojov,
- rozloženie uzemnených častí na úseky, ktoré sú definovateľné náhradnými výpočtovými prvkami,
- začiatkové a koncové body náhradných výpočtových prvkov v trojrozmernom priestore (definované ich priestorovými súradnicami x,y,z),
- materiál a prierez použitých náhradných výpočtových prvkov,
- členitosť terénu rozvodne.

Nasledujúce kapitoly obsahujú postup, ktorý bol použitý pre vytvorenie reprezentatívnych modelov vybraných jedнопólových elektrických prístrojov. Zároveň obsahujú grafické zobrazenie výsledkov výpočtu E a B v okolí týchto prístrojov, vrátane analýzy priestorového rozloženia intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie. Prístroje boli vybrané s ohľadom na dostupné informácie, nevyhnutné pre vytvorenie ich modelov (chýbajúce údaje boli získané odborným odhadom). Pre vytvorenie prúdovo-napäťovej dráhy elektrických prístrojov boli využité rezy, dostupné v prevádzkovej dokumentácii dodávanej k prístrojom, resp. s voľne dostupných katalógových listov.

3 Modelovanie elektrických a magnetických polí elektrických staníc

Modelovanie elektrických staníc bolo zamerané na najdôležitejšie časti z pohľadu veľkosti elektromagnetických polí sieťovej frekvencie a to na rozvodne prenosovej sústavy (400 kV a 220 kV) a rozvodne distribučnej sústavy (110 kV). Modely vybraných elektrických rozvodní boli vytvorené s rešpektovaním pravidiel uvedených v kapitole **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**

Prioritou matematického modelovania rozvodne, je skutočne zodpovedajúce priestorové zadanie jej geometrie, t.j. správneho:

- trojrozmerného tvaru prúdových dráh silových prístrojov pod napätím, v súlade s ich konštrukčným rezom a tvarom lanových alebo rúrových pripojení,
- priestorového umiestnenia jednotlivých prístrojov na ploche celej rozvodne,
- tvaru uzemnených priehradových konštrukcií a podperných stoličiek silových prístrojov,
- oceľových stožiarov a portálov hlavných a pomocných prípojnic,
- členitosti terénu rozvodne.

Vychádzalo sa pritom z projekčných výkresov jednotlivých polí a celej rozvodne, ktoré sa verifikovali fyzickým zameraním 3D súradníc jej skutočného dispozičného usporiadania.

V modeloch boli uvažované aj oceľové konštrukcie, ktoré ovplyvňujú výsledok výpočtu v ich okolí. Ide o uzemnené oceľové konštrukcie portálov hlavných a pomocných lanových prípojnic a podperných konštrukcií prístrojov, ktoré sú súčasťou elektrických vonkajších rozvodní VVN a ZVN. Intenzita elektrického poľa v tesnej blízkosti oceľových konštrukcií, z dôvodu nehomogenít, je niekoľko násobne vyššia oproti hodnote, ktorá by bola nameraná v rovnakom mieste bez prítomnosti vodivého kovového uzemneného povrchu. Vzhľadom na priestorovú zložitosť oceľových konštrukcií bolo ich matematické modelovanie zjednodušené, napr. rohové uholníky portálov rozvodne boli modelované pomocou štyroch valcových vodičov, prípadne dutým valcom.

Výpočty boli realizované pre dva prevádzkové stavy. Prvá sada výpočtov sa uskutočnila pre vybraný reálny prevádzkový stav, pri ktorom boli uskutočnené aj merania E a B. Cieľom týchto výpočtov bolo stanoviť predpokladané úrovne elektrického a magnetického poľa v priestoroch vybraných elektrických staníc. Realizované merania mali preukázať, že vytvorené modely sú vhodné pre výpočty elektrickej intenzity a magnetickej indukcie. Pre posúdenie vhodnosti vytvoreného modelu sa využilo ustanovenie nariadenia vlády č. 329/2006 Z.z. uvedené v bode 4.2.1.: ak je stredná relatívna chyba výpočtu príslušnej veličiny menšia ako 1 dB, t. j. približne 12,5 % pri intenzite poľa, pokladá sa limitná hodnota alebo akčná hodnota za dodržanú, ak je vypočítaná hodnota rovnaká ako limitná alebo akčná hodnota alebo je nižšia. Z tohto ustanovenia vyplýva, že pre priame porovnanie výsledkov výpočtu

s definovanými akčnými a limitnými hodnotami, je potrebné dodržať vyššie uvedenú hodnotu strednej relatívnej chyby. V takomto prípade bol vytvorený model vyhovujúci.

Druhá sada výpočtov bola realizovaná pre maximálne dovolené prevádzkové stavy. Ide o ustálené prevádzkové stavy, keď menovité napätie je zväčšené o najväčšiu dovolenú kladnú odchýlku a prúdové dráhy sú zaťažené maximálnym dovoleným prúdom, ktorý je určený najslabšie prúdovo dimenzovaným prvkom (obvykle prístrojovým transformátorom prúdu). Tieto výpočty slúžili na určenie maximálnych hodnôt intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v priestore elektrických rozvodní. Pri definovaní dovolených prúdov sa vychádzalo zo štítkových údajov použitých silových prístrojov, lanových a rúrových prípojnic, svoriek a armatúr podľa konkrétneho projektu rozvodne.

Vo všeobecnosti platí, že pre každú vonkajšiu rozvodňu je možné definovať niekoľko maximálnych dovolených prevádzkových stavov. Ich počet je závislý na viacerých faktoroch, ako počet možných zapojení rozvodne, veľkosť a orientácia prúdov. Vzhľadom na kombináciu uvedených faktorov môže byť počet maximálnych dovolených prevádzkových stavov značný. Realizácia výpočtov pre všetky kombinácie je z časových dôvodov nereálna. Z tohto dôvodu boli pre každú vybranú rozvodňu skúmané len niektoré vybrané maximálne dovolené prevádzkové stavy, v ktorých sa predpokladá, že vypočítané hodnoty intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie budú najvyššie. Pri výpočtoch E a B však nebolo uvažované s:

- degradáciu napäťovo-prúdových parametrov jednotlivých prvkov rozvodne vplyvom ich zmien vyvolaných pozvoľným starnutím, alebo priamo ich fyzickým poškodením,
- so skratmi, ktorých doba pôsobenia je ohraničená rýchlym pôsobením ochrán,
- so zapojením rozvodne, ktoré je dočasné v dôsledku realizovaných manipulácií,
- s prevádzkou rozvodne na viac ako jeden systém hlavných prípojnic (prevádzka s pomocnou prípojnou W5 cez KSP bola uvažovaná).
- Výsledky výpočtov pre maximálne prevádzkové stavy boli ďalej analyzované, pričom pre každú hodnotenú elektrickú rozvodňu boli lokalizované miesta, v ktorých sú dosahované najvyššie úrovne expozície elektromagnetickému poľu. V rámci analýzy bola určená maximálna hodnota indukovanej prúdovej hustoty. Táto hodnota bola porovnaná s limitnou hodnotou definovanou Nariadením vlády SR č. 329/2006 Z.z. Vzhľadom na neznáme fázové natočenie komplexných fázorov intenzity elektrického poľa E ($\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$) a magnetickej indukcie B (μT), bol uvažovaný najnepriaznivejší stav, pri ktorom je fázový posuv nulový. V takomto prípade sa hodnota indukovanej prúdovej hustoty v tele človeka vypočíta podľa normy STN EN 62226-3-1 (36 7080) ako skalárny súčet indukovaných prúdových hustôt.

3.1 Elektrická stanica Podunajské Biskupice

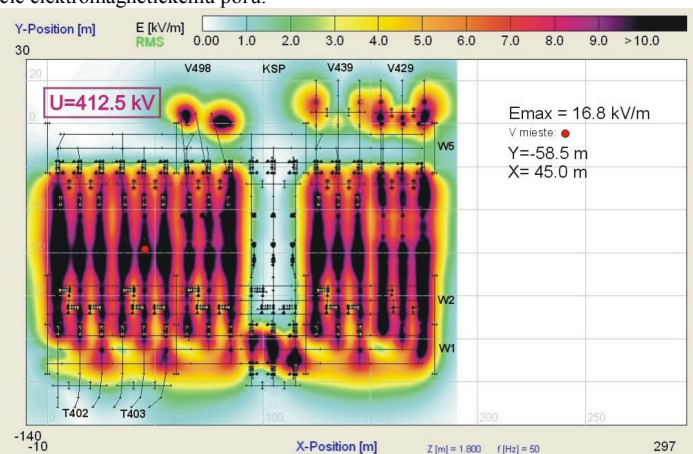
Elektrická stanica 400 kV Podunajské Biskupice je uzlový napájací bod, určený najmä pre zásobovanie časti Západného Slovenska (oblasť Bratislavy) elektrickou energiou. Modelovaná bola rozvodňa 400 kV, ktorá je vyhotovená ako jednoradová rozvodňa s dvoma systémami prípojnic a s pomocnou prípojnícou.

Pri bežnom prevádzkovom stave bolo maximum intenzity elektrického poľa $E_{MAX} = 16,8 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ vypočítané v poli transformátora T403, pod fázou L2, v blízkosti kombinovaného prístrojového transformátora prúdu a napätia. Maximum magnetickej indukcie $B_{MAX} = 28,74 \text{ }\mu\text{T}$ bolo vypočítané v poli vývodu vonkajšieho vedenia V439, v blízkosti kombinovaného prístrojového transformátora prúdu a napätia medzi fázami L1, L2.

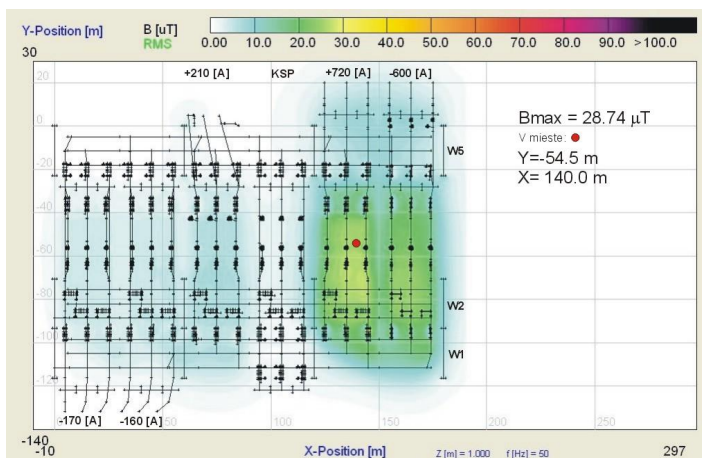
Z výsledkov porovnania nameraných a vypočítaných výsledkov vo vybranej línii vyplýva nasledovné:

- percentuálne odchýlky vypočítaných a nameraných hodnôt pri vyšších vypočítaných hodnotách intenzity elektrického poľa (väčších ako $4 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$) sa nachádzali v intervale - 10,7 % až 8,7 %,
- percentuálne odchýlky vypočítaných a nameraných hodnôt pri nižších vypočítaných hodnotách intenzity elektrického poľa (menších ako $4 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$) sa nachádzali v intervale - 18,0 % až 42,6 %,

Model Rz 400 kV P. Biskupice je na základe výsledkov porovnania s nameranými hodnotami možné považovať za dostatočne presný pre účely stanovenia maximálnych úrovni elektrického a magnetickeho poľa a lokalizovania miest, v ktorých sú dosahované najvyššie úrovne expozície elektromagnetickému poľu.



Obr. 3.1 Výsledok výpočtu intenzity elektrického poľa vo výške 1,8 m nad zemou v Rz 400 kV Podunajské Biskupice



Obr. 3.2 Výsledok výpočtu magnetickej indukcie vo výške 1,8 m nad zemou v Rz 400 kV Podunajské Biskupice

Poznanky pre Rz 400 kV Podunajské Biskupice získané výpočtami intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie pre maximálne prevádzkové stavy:

- Akčná hodnota intenzity elektrického poľa ($10 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$) je prekročená v každom poli rozvodne pod napätím, pričom jej rozloženie je orientované v prevažnej miere v pozdĺžnom smere pod lanovými a rúrovými prepojeniami medzi silovými prístrojmi a pod vertikálnymi zvodmi k pripojovacím svorkám silových prístrojov rozvodne. Celkovo je akčná hodnota prekročená cca na 9 % plochy.
- Kritické miesta z hľadiska výskytu najväčších hodnôt intenzity elektrického poľa sú pri podporných izolátoroch vo fáze L3, medzi výkonovými vypínačmi a odpojovačmi Q2, pod fázami L1 a L3 v blízkosti odpojovačov Q2.
- Vývodové polia rozvodne, ktoré sú pod napätím, ovplyvňujú intenzitu elektrického poľa v susedných vypnutých poliach, alebo priestor mimo rozvodne do vzdialenosti cca 15 m. Príspevok polí pod napätím je nižší ako $2 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$.
- Akčná hodnota magnetickej indukcie ($500 \text{ }\mu\text{T}$) nebola prekročená v žiadnom bode na celej ploche rozvodne.
- Kritické miesta z hľadiska najväčších hodnôt magnetickej indukcie sú okolie odpojovačov Q6 a Q2 (prípadne Q1), pod ich uzemňovacími nožmi, prípadne priestor pod fázou L1 v poli vývodu s najvyšším prúdovým zaťažením.

- Magnetická indukcia vo vnútri vývodových poli je viac koncentrovaná v priestore medzi krajnými fázami.
- Pole vývodu zaťažené maximálnym dovoleným prúdom zasahuje svojou magnetickou indukciou (generovanou prúdom pretekajúcim týmto vývodom) do priestoru vypnutého poľa rozvodne, alebo do priestoru mimo rozvodne, do vzdialenosti cca 10 m, pričom príspevok k celkovej hodnote magnetickej indukcie nepresiahne 10 μT .

Na základe výsledkov výpočtov boli vypočítané maximálne hodnoty indukovanej prúdovej hustoty, ktoré sú uvedené v nasledovnej tabuľke.

Tab. 3.1 Maximálne hodnoty indukovanej prúdovej hustoty pre Rz 400 kV P. Biskupice

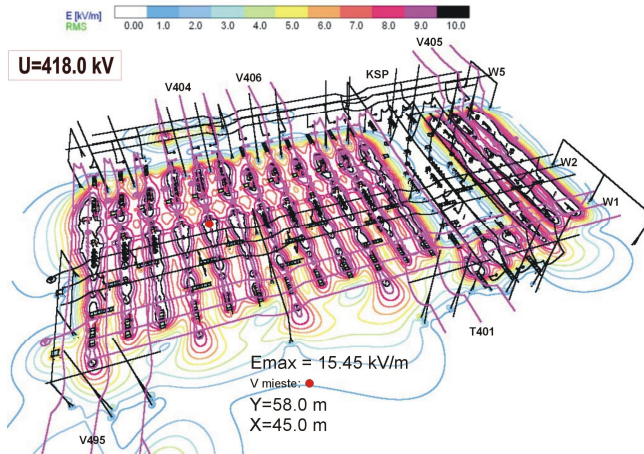
Hodnotený prevádzkový stav	Maximálna hodnota E ($\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$)	Maximálna hodnota B (μT)	Maximálna indukovaná prúdová hustota J ($\text{mA}\cdot\text{m}^{-2}$)
I	17,17	135,20	4,57
II	17,89	124,06	4,77
III	15,37	150,78	4,13

Z vyššie uvedených výsledkov je možné konštatovať, že v Rz 400 kV Podunajské Biskupice nebola prekročená limitná hodnota indukovanej prúdovej hustoty v ľudskom tele ($10 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$) stanovená v NV SR č. 329/2006 Z.z., v žiadnom z hodnotených maximálnych prevádzkových stavoch. Z dôvodu, že pri maximálnych prevádzkových stavoch sa modelujú najhoršie možné ustálené prevádzkové režimy v rozvodni, možno konštatovať, že v Rz 400 kV Podunajské Biskupice sú splnené požiadavky z hľadiska krátkodobej expozície definované predmetným nariadením vlády.

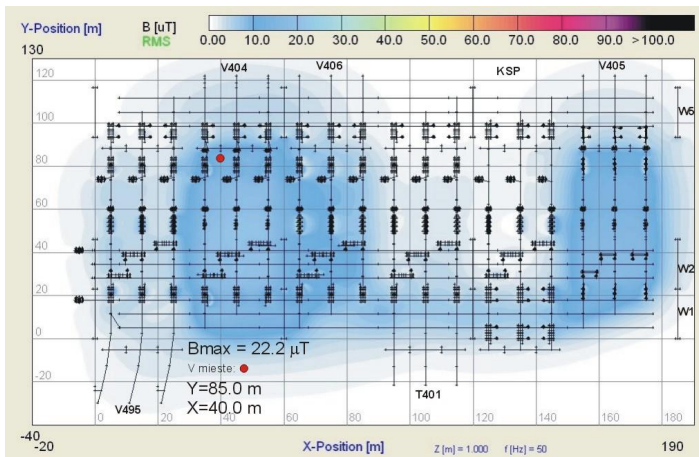
3.2 Elektrická stanica Varín

Rozvodňa 400 kV Varín je hraničná rozvodňa prenosovej sústavy SR prepojená s prenosovou sústavou Českej republiky vonkajším vedením V404 Varín – Nošovice. Ide o jednoradovú rozvodňu s dvoma systémami prípojnic a s pomocnou prípojnou.

Maximálna hodnota magnetickej indukcie $B_{\text{MAX}} = 22,2 \mu\text{T}$ bola vypočítaná v poli vývodu vonkajšieho vedenia V404, medzi fázami L2 a L3, pri vývodovom odpojovači. Najvyššia hodnota intenzity elektrického poľa $E_{\text{MAX}} = 15,45 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ bola vypočítaná v poli vývodu vonkajšieho vedenia V404, pod fázou L2, medzi výkonovým vypínačom a kombinovaným prístrojovým transformátorom prúdu a napätia. Maximálna hodnota magnetickej indukcie $B_{\text{MAX}} = 22,2 \mu\text{T}$ bola vypočítaná v poli vývodu vonkajšieho vedenia V404, medzi fázami L2 a L3, pri vývodovom odpojovači.



Obr. 3.3 Výsledok výpočtu intenzity elektrického poľa vo výške 1,8 m nad zemou v Rz 400 kV Varín



Obr. 3.4 Výsledok výpočtu magnetickej indukcie vo výške 1,8 m nad zemou v Rz 400 kV Varín

Z výsledkov porovnania nameraných a vypočítaných výsledkov pre Rz 400 kV Varín vo vybranej línii vyplýva nasledovné:

- percentuálne odchýlky vypočítaných a nameraných hodnôt pri vyšších vypočítaných hodnotách intenzity elektrického poľa (väčších ako $4 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$) sa nachádzali v intervale -12,1 % až 10,2 %,

- percentuálne odchýlky vypočítaných a nameraných hodnôt pri nižších vypočítaných hodnotách intenzity elektrického poľa (menších ako $4 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$) sa nachádzali v intervale 8,0 % až 30,8 %,

Model RZ 400 kV Varín bol uznaný ako dostatočne presný pre účely stanovenia maximálnych úrovní elektrického a magnetického poľa a lokalizovania miest, v ktorých sú dosahované najvyššie úrovne expozície elektromagnetickému poľu.

Poznanky pre RZ 400 kV Varín získané výpočtami intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie pre maximálne prevádzkové stavy:

- Akčná hodnota intenzity elektrického poľa ($10 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$) je prekročená v každom poli rozvodne pod napätím, v prevažnej miere pozdĺžne pod lanovými a rúrovými prepojeniami medzi silovými prístrojmi a pod vertikálnymi zvodmi z prípojnic k pripojovacím svorkám silových prístrojov rozvodne. Celkovo je akčná hodnota prekročená na cca na 5 - 6 % plochy.
- Kritické miesta z hľadiska výskytu najväčších hodnôt intenzity elektrického poľa sú v zapnutých poliach rozvodne pod napätím, na betónovom chodníku vedľa výkonových vypínačov. Ďalej sú to aj oblasti v okolí podperných izolátorov umiestnených na oceľových podperkách prútovej konštrukcie, pri odpojovačoch Q1 a Q2. Keďže silové prístroje a ich lanové prepojenia sú v poli vývodu vonkajšieho vedenia V405 sú o 0,5 m nižšie, ako v ostatných poliach, bola v tomto poli vypočítaná aj vyššia intenzita elektrického poľa.
- Pri zapojení rozvodne na hlavnú prípojnicu W2 sú hodnoty intenzity elektrického poľa vyššie, ako by boli pri zapojení všetkých polí na hlavnú prípojnicu W1.
- Vývodové polia rozvodne, ktoré sú pod napätím, ovplyvňujú intenzitu elektrického poľa v susedných vypnutých poliach, alebo priestor mimo rozvodne do vzdialenosti cca 15 m. Príspevok polí pod napätím je nižší ako $2 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$.
- Akčná hodnota magnetickej indukcie ($500 \mu\text{T}$) nebola prekročená v žiadnom bode na celej ploche rozvodne.
- Kritické miesta z hľadiska najväčších hodnôt magnetickej indukcie sú v blízkosti odpojovačov Q4 najmä v prípadoch dvoch vysokozaťažených susediacich polí. V blízkosti odpojovača Q1 toho vývodového poľa, ktorého prúdové zaťaženie je najvyššie a v blízkosti výkonových vypínačov.
- Magnetická indukcia vo vnútri vývodových polí je viac koncentrovaná v priestore medzi krajnými fázami.
- Pole vývodu zaťažené maximálnym dovoleným prúdom zasahuje svojou magneticou indukciou (generovanou prúdom pretekajúcim týmto vývodom) do priestoru vypnutého

poľa rozvodne, alebo do priestoru mimo rozvodne, do vzdialenosti cca 10 m, pričom príspevok k celkovej hodnote magnetickej indukcie nepresiahne 10 μT .

Na základe výsledkov výpočtov boli vypočítané maximálne hodnoty indukovanej prúdovej hustoty v Rz 400 kV Varín, ktoré sú uvedené v nasledovnej tabuľke.

Tab. 3.2 Maximálne hodnoty indukovanej prúdovej hustoty pre Rz 400 kV Varín

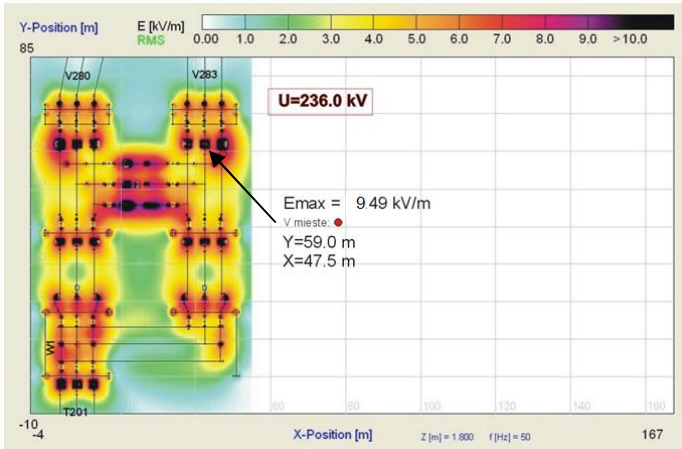
Hodnotený prevádzkový stav	Maximálna hodnota E ($\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$)	Maximálna hodnota B (μT)	Maximálna indukovaná prúdová hustota J ($\text{mA}\cdot\text{m}^{-2}$)
I	17,83	160,09	4,68
II	17,35	209,76	4,33
III	19,70	206,76	4,81

Z vyššie uvedených výsledkov je možné konštatovať, že v Rz 400 kV Varín nebola prekročená limitná hodnota indukovanej prúdovej hustoty v ľudskom tele ($10 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$) stanovená v NV SR č. 329/2006 Z.z., v žiadnom z hodnotených maximálnych prevádzkových stavoch. Z dôvodu, že pri maximálnych prevádzkových stavoch sa modelujú najhoršie možné ustálené prevádzkové režimy v rozvodni, možno konštatovať, že Rz 400 kV Varín spĺňa požiadavky nariadenia vlády z hľadiska krátkodobej expozície elektromagnetickému poľu.

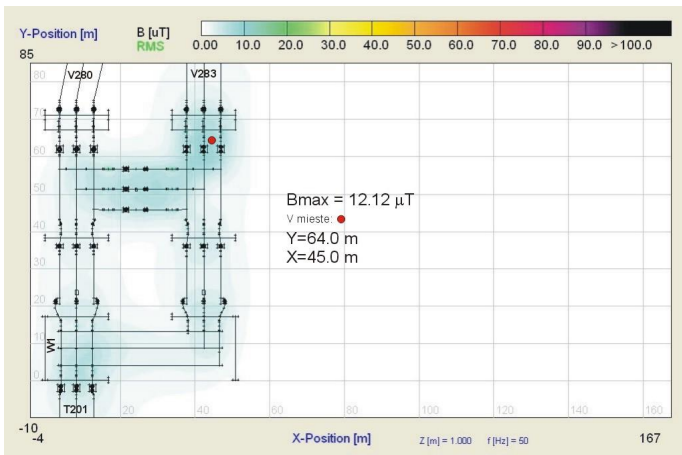
3.3 Elektrická stanica Senica

Rozvodňa 220 kV Senica je najzápadnejší uzlový bod prenosovej sústavy SR a súčasne hraničná rozvodňa, prepojená 220 kV vonkajším vedením V280 Senica – Sokolnice s prenosovou sústavou ČR. Rozvodňa je elektricky zapojená do trojuholníka (polygónu).

Maximálna hodnota intenzity elektrického poľa $E_{\text{MAX}} = 9,49 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ bola vypočítaná v mieste so súradnicami $X = 47,5 \text{ m}$ a $Y = 59 \text{ m}$, t.j. v poli vývodu vonkajšieho vedenia V283, pod fázou L1, pri prístrojovom transformátore prúdu. V prípade magnetickej indukcie bolo maximum $B_{\text{MAX}} = 12,12 \mu\text{T}$ vypočítané v mieste so súradnicami $X = 45,0 \text{ m}$ a $Y = 64,0 \text{ m}$, v poli vývodu vonkajšieho vedenia V283, medzi fázami L1 a L2, v priestore medzi prístrojovým transformátorom napätia a vývodovým odpojovačom.



Obr. 3.5 Výsledok výpočtu intenzity elektrického poľa v Rz 220 kV Senica



Obr. 3.6 Výsledok výpočtu magnetickej indukcie v Rz 220 kV Senica

Z výsledkov porovnania nameraných a vypočítaných výsledkov pre Rz 220 kV Senica vyplýva nasledovné:

- percentuálne odchýlky vypočítaných a nameraných hodnôt pri vyšších vypočítaných hodnotách intenzity elektrického poľa (väčších ako $4 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$) sa nachádzali v intervale -7.7% až $12,5\%$,

- percentuálne odchýlky vypočítaných a nameraných hodnôt pri nižších vypočítaných hodnotách intenzity elektrického poľa (menších ako $4 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$) sa nachádzali v intervale $-0,1 \%$ až $6,2 \%$.

Model R_z 220 kV Senica bol na základ porovnania nameraných a vypočítaných výsledkov uznaný ako dostatočne presný pre účely stanovenia úrovni elektrického a magnetického poľa a lokalizovania miest, v ktorých sú dosahované najvyššie úrovne expozície elektromagnetickému poľu.

Poznatky pre R_z 220 kV Senica získané výpočtami intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie pre maximálne prevádzkové stavy:

- Akčná hodnota intenzity elektrického poľa bola prekročená prevažne v poli priečnej spojky (Pole 1), v okolí výkonového vypínača pod lanovými prepojeniami medzi silovými prístrojmi.
- Kritické miesta z hľadiska výskytu najväčších úrovni intenzity elektrického poľa v zapnutých poliach rozvodne pod napätím, sa nachádzajú v blízkosti výkonových vypínačov (LTB 245 E1), pod ich nižšou pripojovacou svorkou. Ďalšie kritické miesta boli identifikované okolo podperných stoličiek prístrojových transformátorov.
- V konfiguračnom zapojení rozvodne so zopnutou priečnou spojkou sú vyššie hodnoty intenzity elektrického poľa, ako v prípade keď je priečna spojka vypnutá.
- Intenzita elektrického poľa vývodových polí v R_z 220 kV Senica pod napätím, zasahuje do vnútorného priestoru rozvodne alebo mimo priestoru polí, do vzdialenosti cca 10 m, hodnotou menšou ako $2 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$.
- Ani v jednom z hodnotených zapojení R_z 220 kV Senica nebola vypočítaná hodnota magnetickej indukcie väčšia ako akčná hodnota $500 \mu\text{T}$.
- Najväčšie úrovne magnetickej indukcie boli zistené v nasledovných miestach:
 - Pole silového transformátora T201 (ak je jeho zaťažovací prúd väčší, ako prúdové zaťaženie vývodu vonkajšieho vedenia V280) v miestach vedľa kovových podperných priehradových stoličiek odpojovača Q1.3 a prístrojových transformátorov prúdu a napätia.
 - Pole vývodu vonkajším vedením V280 (ak jeho prúdové zaťaženie je väčšie, ako prúd tečúci silovým transformátorom T201) pri kovových podperných priehradových stoličkách kombinovaného prístrojového transformátora prúdu a napätia, zvlášť pod vertikálnymi preponkami pozdĺžnych lanových prepojení poľa rozvodne k silovým prístrojom. Zvýšené hodnoty sú aj v blízkosti kovových podperných priehradových stoličiek odpojovača Q6.2.

- Pozdĺž celého poľa I (ak je jeho prúdové zaťaženie porovnateľné s prúdovým zaťažením ostatných polí rozvodne), zvlášť pri kovových podperných priehradových stoličkách výkonového vypínača a prístrojového transformátora prúdu.

Na základe výsledkov výpočtov boli vypočítané maximálne hodnoty indukovanej prúdovej hustoty v Rz 220 kV Senica, ktoré sú uvedené v nasledovnej tabuľke.

Tab. 3.3 Maximálne hodnoty indukovanej prúdovej hustoty pre Rz 220 kV Senica

Hodnotený prevádzkový stav	Maximálna hodnota E (kV.m ⁻¹)	Maximálna hodnota B (μT)	Maximálna indukovaná prúdová hustota J (mA.m ⁻²)
I	11,05	40,06	2,85
II	10,94	42,71	2,86
III	10,29	43,53	2,68

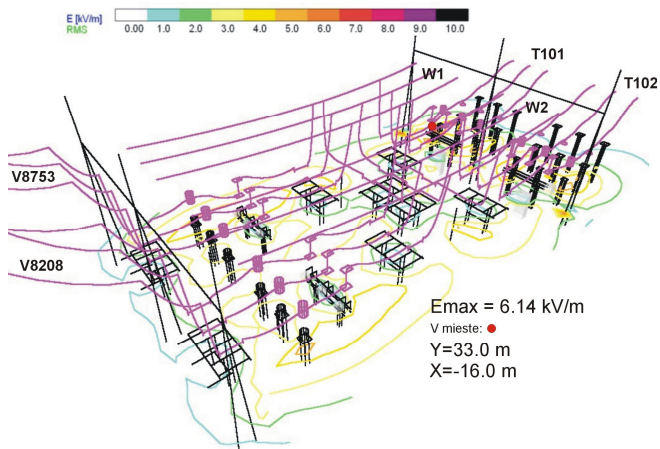
Z vyššie uvedených výsledkov je možné konštatovať, že v Rz 220 kV Senica nebola prekročená limitná hodnota indukovanej prúdovej hustoty v ľudskom tele (10 mA.m⁻²) stanovená v NV SR č. 329/2006 Z.z., v žiadnom z hodnotených maximálnych prevádzkových stavoch. Z dôvodu, že pri maximálnych prevádzkových stavoch sa modelujú najhoršie možné ustálené prevádzkové režimy v rozvodni, možno konštatovať, že Rz 220 kV Senica spĺňa požiadavky NV 329/2006 pre krátkodobú expozíciu elektromagnetickým poľom frekvencie 50 Hz.

3.4 Elektrická stanica Pionierska Bratislava

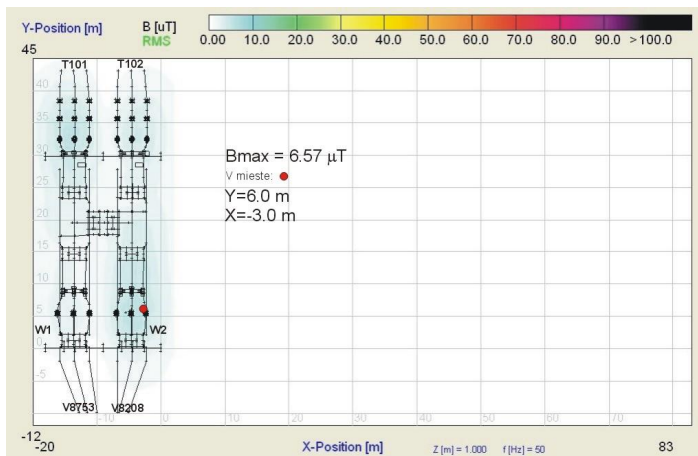
Rozvodňa 110/22 kV Pionierska je súčasťou 110 kV distribučnej siete v Bratislave, ktorá je prepojená vonkajším vedením V8208 k 110/22 kV Tr Lamač a vonkajším vedením V8753 k PPC Bratislava. Je určená pre zásobovanie III. obvodu Bratislavy elektrickou energiou. Rozvodňa 110 kV je vyhotovená ako typ H.

Maximálna hodnota intenzity elektrického poľa $E_{MAX} = 6,14 \text{ kV.m}^{-1}$ sa vyskytla v poli silového transformátora T101, pod fázou L3, v blízkosti prístrojového transformátora prúdu a napätia. Maximum magnetickej indukcie $B_{MAX} = 6,57 \text{ μT}$ bolo vypočítané v poli vývodu vonkajšieho vedenia V8208, pod fázou L1, pri kombinovanom prístrojovom transformátore prúdu a napätia. Z výsledkov porovnania nameraných a vypočítaných výsledkov pre Rz 110 kV Pionierska vyplýva, že percentuálne odchýlky vypočítaných a nameraných hodnôt sa nachádzali v intervale -0,2 % až 7,4 %. Model Rz 110 kV Pionierska bol uznaný ako dostatočne presný pre účely stanovenia úrovni elektrického a magnetického poľa a

lokalizovania miest, v ktorých sú dosahované najvyššie úrovne expozície elektromagnetickému poľu.



Obr. 3.7 Výsledok výpočtu intenzity elektrického poľa v Rz 110 kV Pionierska



Obr. 3.8 Výsledok výpočtu magnetickej indukcie v Rz 110 kV Pionierska

Poznatzky pre Rz 110 kV Pionierska získané výpočtami intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie pre maximálne prevádzkové stavy:

- Maximálna vypočítaná intenzita elektrického poľa mierne osciluje okolo hodnoty $5 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$. V žiadnom poli rozvodne pod napätím nie je teda výrazne prekročená akčná hodnota intenzity elektrického definovaná NV SR č. 329/2006 Z.z..

- Kritické miesta z hľadiska výskytu najväčších hodnôt intenzity elektrického poľa sú pozdĺžne pod krajnými fázami rozvodne, zvlášť pri kovových priehradových podperných stoličkách prístrojových transformátorov prúdu PTP vo vývodových poliach silových transformátorov T101 a T102.
- Intenzita elektrického poľa vývodov Rz 110 kV Pionierska, ktoré sú pod napätím, zasahuje do okolitého priestoru polí, do vzdialenosti cca 3 m, hodnotou menšou ako $2 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$.
- Ani v jednom z hodnotených zapojení Rz 110 kV Pionierska nebola vypočítaná hodnota magnetickej indukcie väčšia ako akčná hodnota $500 \mu\text{T}$.
- Najväčšie úrovne magnetickej indukcie boli vypočítané pri kovových priehradových podperných stoličkách prístrojových transformátorov prúdu alebo kombinovaného prístrojového transformátora prúdu a napätia poľa rozvodne, ktorým preteká najväčší prúd.

Na základe výsledkov výpočtov boli vypočítané maximálne hodnoty indukovanej prúdovej hustoty v Rz 110 kV Pionierska, ktoré sú uvedené v nasledovnej tabuľke.

Tab. 3.4 Maximálne hodnoty indukovanej prúdovej hustoty pre Rz 110 kV Pionierska

Hodnotený prevádzkový stav	Maximálna hodnota E ($\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$)	Maximálna hodnota B (μT)	Maximálna indukovaná prúdová hustota J ($\text{mA}\cdot\text{m}^{-2}$)
I	5,13	26,99	1,34
II	5,13	25,99	1,31

Z vyššie uvedených výsledkov je možné konštatovať, že v Rz 110 kV Pionierska nebola prekročená limitná hodnota indukovanej prúdovej hustoty v ľudskom tele ($10 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$) stanovená v NV SR č. 329/2006 Z.z., v žiadnom z hodnotených maximálnych prevádzkových stavoch.

4 Návrh opatrení na zníženie expozície osôb elektromagnetickému poľu v priestoroch elektrických staníc vvn a zvn

Nariadenie vlády SR č. 329/2006 Z.z. definuje minimálne požiadavky v súvislosti s expozíciou zamestnancov elektromagnetickému poľu. Spomínané nariadenie vlády sa však vzťahuje na nepriaznivé účinky krátkodobej expozície elektromagnetickému poľu, netýkajú sa účinkov v dôsledku ich dlhodobého pôsobenia. Z dôvodov prevencie je vhodné poznať možnosti na zníženie expozície elektromagnetickému poľu aj v prípade, ak nie sú v súčasnosti prekračované limitné hodnoty definované vyššie uvedenou vyhláškou.

Medzi metódy vedúce k zníženiu úrovni intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie sieťovej frekvencie 50 Hz, ktoré sú generované v priestore vonkajších elektrických rozvodní je možné navrhnúť:

- Zväčšenie nadzemnej výšky živých častí pod napätím pretekaných prúdom. Ide o najjednoduchší, ale investične náročný spôsob.
- Pasívne tienenie živých častí v okolí silových prístrojov (najmä odpojovačov) pridaním feromagnetických tieniacich rámov na vrchnú časť ich podperných stoličiek.
- Pasívne tienenie živých častí rozvodne pod napätím pretekaných prúdom, pomocou zapuzdrených kompaktných modulov vsadených do klasických vonkajších rozvodní VVN, ZVN. Táto úprava rozvodní je ekonomicky náročnejšia.
- Pasívna ochrana zamestnancov pred neionizujúcim elektromagnetickým žiarením.

4.1 Zväčšenie výšky silových prístrojov a prípojnic

Súčasné vonkajšie rozvodne VVN, ZVN sú z dôvodu úspory plochy pozemkov budované ako kompaktné so silovými prístrojmi umiestnenými na podperných stoličkách výšky cca 2.1 m. Zväčšenie výšky silových prístrojov, vrátane prípojnic a lanových prepojení predstavuje z pohľadu prípravy realizácie k jednoduchším úpravám, zameraných na zníženie intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie v rozvodniach, pri zachovaní pôvodného vzhľadu rozvodne. Úpravu je možné realizovať zvýšením všetkých oceľových podperných priehradových konštrukcií.

Na základe porovnania výsledkov výpočtov uskutočnených pre maximálne prevádzkové stavy s výsledkami výpočtov, ktoré boli realizované pri zväčšenej výške nad zemou, je možné konštatovať:

- V Rz 400 kV Podunajské Biskupice, sa po zvýšení všetkých silových prístrojov a prípojnic o $\Delta H=1.0$ m nad úroveň zeme, dosiahlo zníženie maxima intenzity elektrického poľa E_{MAX} z $15.59 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ na $10.92 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$, t.j. o 29.95 %, pričom miesto výskytu maximálnej hodnoty E zostalo pod krajinou fázou L3, pod ramenom výkonového vypínača v poli vývodu T402. Počet vypočítaných hodnôt (pri rovnakom výpočtovom rastru), ktoré prevyšovali akčnú hodnotu intenzity elektrického poľa $5 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ sa znížil

o 99.00%. Možno konštatovať, že v prípade zvýšenia všetkých silových prístrojov a prípojnic o $\Delta H=1.5$ m nad úroveň zeme, by v priestore Rz 400 kV P. Biskupice nebola prekročená akčná hodnota intenzity elektrického poľa pre frekvenciu 50 Hz.

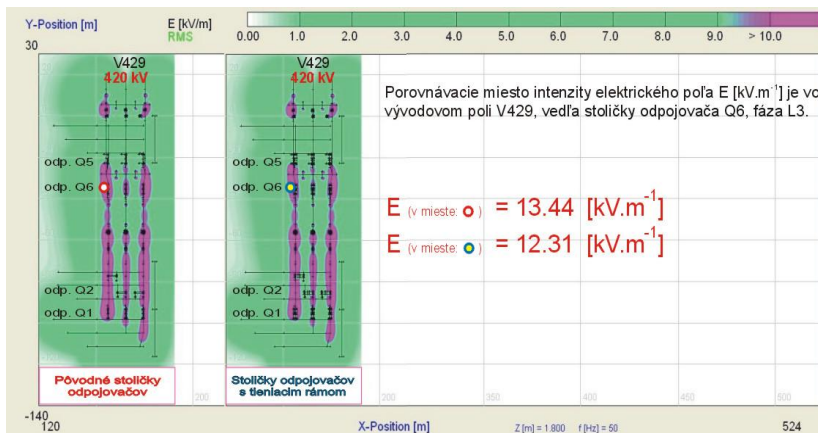
- V Rz 400 kV Varín, sa po zvýšení celého poľa vývodu vonkajšieho vedenia V405 o $\Delta H=0,5$ m nad zemou dosiahlo zníženie maxima intenzity elektrického poľa E_{MAX} zo $17,86 \text{ kV.m}^{-1}$ na $13,50 \text{ kV.m}^{-1}$, t.j. o 24,41 %, pričom nové miesto výskytu maximálnej hodnoty E sa presunulo z betónového chodníka vedľa výkonového vypínača v poli vývodu V495 pod fázou L3 smerom k odpojovaču Q6 toho istého poľa. Počet vypočítaných hodnôt (pri rovnakom výpočtovom rastru), ktoré prevyšovali akčnú hodnotu intenzity elektrického poľa sa v dôsledku zmeny výšky znížil o 48.27%.
- V Rz 220 kV Senica, sa po zvýšení vybraných prístrojov o $\Delta H=0.5$ m nad úroveň zeme dosiahlo zníženie maxima intenzity elektrického poľa E_{MAX} z 11.05 kV.m^{-1} na $8,48 \text{ kV.m}^{-1}$, t.j. o 23,26%, pričom vypočítaná maximálna hodnota zostala na pôvodnom mieste v Poli 1, v blízkosti výkonového vypínača priečnej spojky, pod fázou L3 smerom k odpojovaču Q12. Zmenou výšky v Rz 220 kV Senica sa dosiahol stav, pri ktorom v žiadnom mieste rozvodne nebola prekročená akčná hodnota intenzity elektrického poľa.

4.2 Pasívne tienenie živých častí rozvodne VVN, ZVN v okolí odpojovačov

Klasické odpojovače vonkajších rozvodní VVN, ZVN s kovovými otočnými ramenami (ale aj pantografické) spolu s ich lanovými alebo rúrovými pripojeniami, generujú vo svojom blízkom okolí intenzívne lokálne nehomogénne elektrické a magnetické polia. Otočné ramená a horizontálne alebo vertikálne pripojenia odpojovačov sa nachádzajú najbližšie k hladine 1,8 m nad zemou, kde sa skúma rozloženie intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie. Pre zdokumentovanie vplyvu tohto opatrenia boli realizované výpočty E a B pre elektrické stanice Varín a Podunajské Biskupice. Výsledky výpočtov ukázali, že na lokálne odtienenie elektrického a magnetického poľa odpojovačov sa dá využiť tieniaci účinok prídavného rámu v tvare obdĺžnika, zhotoveného z feromagnetického (oceľového) U-profilu.

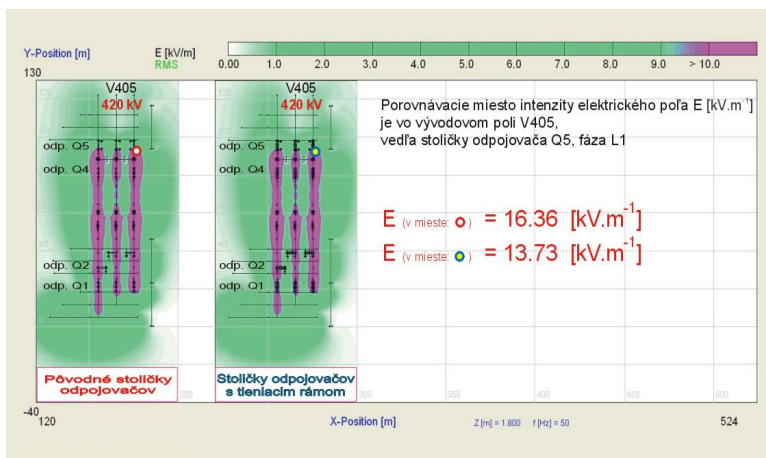
V prvom výpočte boli v modeli Rz 400 kV Podunajské Biskupice, v poli vývodu vonkajšieho vedenia V429 doplnené oceľové rámy, umiestnené na vrchnej časti podpernej stoličky, pri päte podperných izolátorov ramien všetkých odpojovačov. Oceľové rámy bol umiestnené vo výške 2.1 m nad zemou. Porovnanie tieniaceho účinku bolo vyhodnocované v mieste, kde boli v predchádzajúcich výpočtoch vypočítané vyššie hodnoty E. Ako porovnávacie miesto bola preto zvolená lokalita v okolí odpojovača Q6, najmä v blízkosti fázy L3. Porovnanie výsledkov výpočtov pre Rz 400 kV Podunajské Biskupice je na nasledovnom obrázku (Obr. 4.1). V ľavej časti obrázku je rozloženie intenzity elektrického poľa v okolí odpojovača uloženého na úzkaj kovovej podpernej stoličke s rozmermi 4,7x0,5 m. Výška podpernej konštrukcie 2.1 m nad zemou V pravej časti obrázku je výsledok výpočtu, v ktorom bol použitý tieniaci rám s

rozmermi 5,0x1,3 m. Výsledky výpočtov v najexponovanejšom bode (odpojovač Q6, fáza L3) preukázali lokálny pokles intenzity elektrického poľa z hodnoty 13,44 kV.m⁻¹ na hodnotu 12,31 kV.m⁻¹, t.j. 8,4%-ný pokles vypočítanej hodnoty. Na obrázku je zreteľný lokálny pokles intenzity elektrického poľa nielen v blízkosti odpojovača Q6, ale aj v priestore okolo podperných stoličiek ostatných odpojovačov s pridaným tieniacim rámom.



Obr. 4.1 Porovnanie výsledkov výpočtov intenzity elektrického poľa v Rz 400 kV Podunajské Biskupice po dozbrojení podperných stoličiek odpojovačov ocelovým tieniacim rámom

V druhom výpočte, realizovanom pre Rz 400 kV Varín, bolo analyzované umiestnenie tieniaceho rámu pri päte podperných izolátorov ramien všetkých odpojovačov vo výške 2.1 m nad zemou. Výsledky výpočtov boli hodnotené vzhľadom k najexponovanejšiemu miestu v okolí odpojovača Q5, v poli vývodu vonkajšieho vedenia V405, vo fáze L1. V ľavej časti obrázku je rozloženie intenzity elektrického poľa v okolí odpojovača uloženého na úzkej kovovej stoličke s rozmermi 5.0x0.4 m vo výške 1.95 m nad zemou. V pravej časti obrázku je výsledok výpočtu s použitým tieniacim rámom s rozmermi 5.0x1.3 m, ktorý bol umiestnený vo výške 2.1 m nad zemou. Výsledky výpočtov preukázali lokálny pokles intenzity elektrického poľa z hodnoty 16.36 kV.m⁻¹ na hodnotu 13.73 kV.m⁻¹, t.j. pokles E na úrovni 16.07%. Vyšší tieniaci účinok bol dosiahnutý z dôvodu, že spodná časť podperného izolátora ramena odpojovača bola umiestnená o 0.15 m nižšie ako tieniaci rám. Na obrázku je zreteľný lokálny pokles intenzity elektrického poľa nielen v blízkosti Q5, ale aj v priestore okolo podperných stoličiek ostatných odpojovačov s pridaným tieniacim rámom.

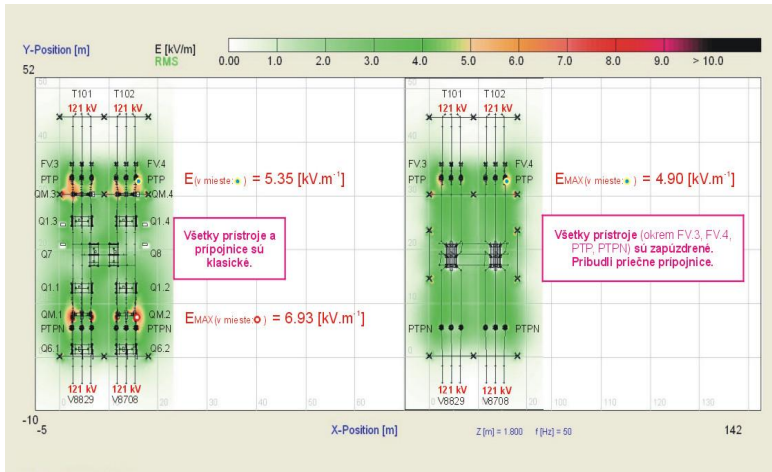


Obr. 4.2 Porovnanie výsledkov výpočtov intenzity elektrického poľa v Rz 400 kV Varín po dozbrojení podperných stoličiek odpojovačov oceľovým tieniacim rámom

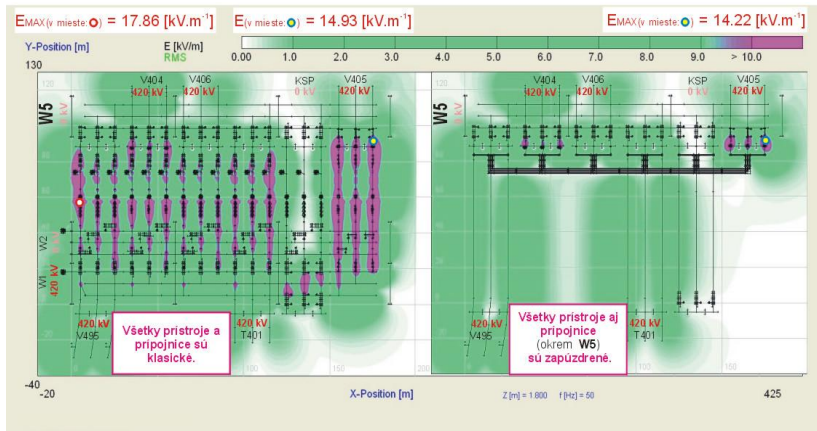
Na základe vyššie uvedených výsledkov výpočtov je možné konštatovať, že použitie tieniaceho kovového rámu z U-profilu je jednoduché a účinné technické riešenie z hľadiska lokálneho zníženia intenzity elektrického poľa v blízkosti odpojovačov klasickej konštrukcie.

4.3 Pasívne tienenie živých častí pomocou zapuzdrených kompaktných modulov

Zapuzdrené kompaktné moduly vonkajších rozvodní VVN a ZVN integrujú v sebe viac silových prístrojov, ktoré sú inštalované v spoločnom kovovom puzdre. Výpočty zamerané na určenie vplyvu zapuzdrených kompaktných modulov na veľkosť intenzity elektrického poľa boli uskutočnené pre Rz 110 kV BEZ a pre Rz 400 kV Varín. U obidvoch spomínaných rozvodní boli výpočty realizované pre klasické prevedenie rozvodne ako aj pre vyhotovenie s použitím zapuzdrených modulov.



Obr. 4.3 Porovnanie výpočtov E pre Rz 110 kV BEZ Bratislava, po inštalovaní kompaktných zapuzdrených modulov PASS M0 DCB



Obr. 4.4 Porovnanie vypočítaných hodnôt E pre Rz 400 kV Varín, po výmene časti prístrojov a pripojníc na kompaktné (zapuzdrené) prístroje TOSHIBA

Výsledky výpočtov preukázali, že maximálna hodnota intenzity elektrického poľa vypočítaná pre prípad použitia kompaktných zapuzdrených modulov v Rz 110 kV BEZ Bratislava, klesla cca o 2 kV.m^{-1} (približne o 30 %).

V prípade Rz 400 kV Varín sa vypočítané maximum intenzity elektrického poľa EMAX zmenšilo z pôvodných 17.86 kV.m^{-1} na hodnotu 14.22 kV.m^{-1} a presunulo sa do priestoru

zachovanej pomocnej prípojnice W5. Miesto nového maxima E sa nachádza v poli vývodu V405, vedľa podpernej stoličky zvodiča prepätia smerom k odpojovaču Q5, pod fázou L1. Vypočítaná hodnota intenzity elektrického poľa na tom istom mieste rozvodne v prípade klasického vyhotovenia bola $14,93 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$. V celom priestore Rz 400 kV Varín, kde došlo k výmene pôvodných zariadení na zapuzdrené, vypočítaná hodnota intenzity elektrického poľa neprekračuje akčnú hodnotu pre frekvenciu 50 Hz.

Z týchto výsledkov vyplýva, že kovový kompaktný modul úplne odtieni elektrické pole a magnetické pole zoslabí úmerne činiteľu magnetického tienenia neferomagnetického kovového materiálu. Feromagnetické zapuzdrenie, pri ktorom by sa dosiahlo výraznejšie zníženie B sa v kompaktných moduloch nepoužíva z dôvodu vysokých hysterézných strát vírivými prúdmi. Hliníkové puzdro kompaktného modulu môže magnetickú indukciu zoslabiť vplyvom reaktívneho magnetického poľa. Výhoda rozvodne s kompaktnými modulmi spočíva nielen v zmenšení celkovej zastavanej plochy, ale aj v znížení intenzity elektrického poľa čiastočne aj magnetickej indukcie.

5 Prínos práce pre prax

Hoci nariadenie vlády č. 329/2006 Z. z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu je v platnosti už niekoľko rokov, stále nie je problematike ochrany pracovníkov elektrických rozvodní v SR venovaná dostatočná pozornosť. Prevádzkovatelia vykonávajú posúdenie rizík v súvislosti s expozíciou elektromagnetickým poľom, vo väčšine prípadov sa však hodnotenie rizík uskutočňuje na základe neakreditovaných meraní, ktoré sú realizované v niekoľkých vybraných miestach. Miesta merania sú vybrané náhodne, prípadne ich určí prevádzkovateľ. Takéto merania však neposkytujú dostatok informácií o maximálnych úrovniach intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie, ani o ich priestorovom rozložení, na základe ktorého by bolo možné identifikovať priestory, kde sú prekročené definované akčné hodnoty. V zmysle nariadenia vlády č. 329/2006 Z. z., je práve určenie pracovísk alebo pracovných miest, v ktorých sú prekročené akčné hodnoty expozície, jedným z cieľov posúdenia rizík. Tieto miesta by sa mali vymedziť a označiť, pričom by sa mal zároveň obmedziť prístup do týchto priestorov. V priestoroch elektrických staníc, ktoré predstavujú zložitý celok jednotlivých elektrických prístrojov a vodičov, pričom všetky časti pod napätím sú zdrojom elektromagnetického poľa, je vymedzenie miest komplikované. Realizácia niekoľkých meraní na ploche rozvodne neposkytuje dostatočne množstvo dát na takéto vymedzenie. Aj merania realizované sieťovou metódou, ktoré sa uskutočňujú v stovkách meracích miest, poskytujú len hrubé vymedzenie týchto priestorov. Jediným vhodným postupom, ktorý dáva dostatočne podrobný prehľad o rozložení elektromagnetického poľa v priestore elektrickej rozvodne je matematické modelovanie. Výsledky dizertačnej práce preukázali, že výpočty elektromagnetických polí umožňujú skúmať ich rozloženie s dostatočnou presnosťou. Zároveň výsledky preukázali, že konfigurácia a technické riešenie

elektrických rozvodní výrazne ovplyvňuje veľkosť elektromagnetického poľa. Jednotlivé rozvodne, najmä na napäťovej úrovni 220 kV a 400 kV je preto potrebné posudzovať samostatne.

V súčasnej praxi sa požiadavky nariadenia vlády č. 329/2006 Z.z. na označenie priestorov, v ktorých sú prekročené akčné hodnoty expozície, vo väčšine prípadov zabezpečujú tabuľkami umiestnenými na vstupe do priestoru elektrickej rozvodne. Na obrázku (Obr. 5.1) je príklad bezpečnostného označenia v elektrickej rozvodni. Bližšie vymedzenie týchto priestorov sa nevykonáva. Je úplne bežné, že chodníky a prístupové cesty prechádzajú priestormi, v ktorých dosahované úrovne intenzity elektrického poľa prekračujú stanovenú akčnú hodnotu. V zmysle spomínaného nariadenia vlády, by však expozícia elektromagnetickému poľu a najmä súvisiace riziká mali byť znižované na najnižšiu možnú úroveň. Z uvedeného vyplýva, že všetky chodníky a prístupové cesty by mali byť vedené priestormi, kde sú hodnoty elektrických a magnetických nižšie ako akčné hodnoty definované nariadením vlády. Často krát sú však tieto prístupové cesty vyvýšené nad úroveň okolitého terénu, v dôsledku čoho sú pracovníci vystavení vyšším hodnotám elektromagnetických polí než v ich okolí (Obr. 5.2).



Obr. 5.1 Bezpečnostné označenie v elektrickej rozvodni



Obr. 5.2 Príklad vyvýšeného chodníka v elektrickej rozvodni

Výsledky výpočtov elektromagnetických polí sú teda využiteľné aj na návrh vhodného trasovania chodníkov a prístupových komunikácií, tak aby neprechádzali exponovanými časťami elektrickej rozvodne, v ktorých sú prekračované akčné hodnoty expozície definované nariadením vlády SR č. 329/2006 Z. z. Návrh vhodných trás je možné urobiť nielen pri existujúcich elektrických rozvodniach ale aj v rámci projektovej prípravy nových rozvodní. Osobitný význam majú znalosti o dosahovaných úrovniach elektrických a magnetických polí na chodníkoch a prístupových komunikáciách v prípade rôznych návštev elektrických rozvodní. Nie je možné vylúčiť, že osoby vstupujúce do priestorov elektrickej rozvodne budú musieť byť vedené po trasách, ktoré musia vyhovovať prísnejším požiadavkám na ochranu osôb v súvislosti s expozíciou elektromagnetickému poľu.

Podrobná znalosť rozloženia elektromagnetických polí je využiteľná aj v rámci školení pracovníkov pohybujúcich sa v priestore elektrických rozvodní (môže ísť aj o pracovníkov externých dodávateľov). Informovanie pracovníkov o miestach, v ktorých sú prekračované akčné hodnoty, môže byť jedným z opatrení, ktorým sa dosiahne zníženie rizík spojených s expozíciou elektromagnetickým poľom.

Výsledky dosiahnuté v rámci dizertačnej práce sú využiteľné aj v prípadoch, kedy bude potrebné znížiť dosahované úrovne elektromagnetických polí. V práci sú navrhnuté niektoré opatrenia na zníženie expozície, vrátane vyčíslenia miery jej zníženia v prípade ich realizácie. Vzhľadom na zložitosť a rôznorodosť elektrických rozvodní, nie je možné stanoviť mieru zníženia úrovni elektromagnetického poľa pri realizácii niektorého opatrenia všeobecne. Účinnok navrhovaných opatrení preto musí byť posudzovaný samostatne pre každú elektrickú rozvodňu.

Záver

Dizertačná práca bola v súlade s definovanými cieľmi zameraná na návrh spôsobu vytvorenia modelov na simuláciu elektrických a magnetických polí vybraných typov elektrických staníc používaných v ES SR, určenie dosahovaných úrovní elektrického a magnetického poľa v priestoroch vybraných elektrických staníc (Rz 400 kV Podunajské Biskupice, Rz 400 kV Varín, Rz 220 kV Senica, Rz 110 kV Pionierska) a to nielen pri bežných prevádzkových stavoch ale aj pri maximálnych projektovaných stavoch, pri ktorých sa uvažovalo s maximálnym dovoleným napätím a zaťažením jednotlivých polí maximálnym dovoleným prúdom. Na základe realizovaných výpočtov intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie boli lokalizované miesta v elektrických staniaciach, v ktorých sú dosahované najvyššie úrovne expozície elektromagnetickému poľu.

Na základe analýzy vypočítaných výsledkov je možné formulovať nasledovné, všeobecné poznatky:

1. V žiadnej z hodnotených rozvodní nebola prekročená limitná hodnota indukovanej prúdovej hustoty v ľudskom tele $J = 10 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$, pre frekvenciu 50 Hz, definovanej NV SR č. 329/2006 Z.z., a to ani pri maximálnych prevádzkových stavoch. Najvyššia hodnota prúdovej hustoty bola vypočítaná v Rz 400 kV Varín ($4,81 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$).
2. Výsledky výpočtov jednoznačne potvrdili, že rozhodujúci vplyv na výslednú veľkosť indukovanej prúdovej hustoty v ľudskom tele má intenzita elektrického poľa. Vplyv magnetickej indukcie je vzhľadom na jej relatívne malé hodnoty spravidla nižší. Napriek tomu nie je miesto výskytu maximálnej indukovanej prúdovej hustoty vždy úplne totožné s miestom výskytu maximálnej hodnoty intenzity elektrického poľa.
3. V žiadnej zo skúmaných vonkajších rozvodní VVN, ZVN nebola prekročená akčná hodnota magnetickej indukcie $B = 500 \text{ }\mu\text{T}$, ktorá je pre frekvenciu 50 Hz stanovená NV SR č. 329/2006 Z.z. Najvyššia hodnota bola vypočítaná v Rz 400 kV Varín ($209,76 \text{ }\mu\text{T}$).
4. Výraznejšie prekročenie akčnej hodnoty intenzity elektrického poľa bolo zaznamenané v priestoroch 400 kV vonkajších rozvodní. Maximálne vypočítané hodnoty sa v rozvodniach 400 kV pohybovali v rozsahu od $15,37 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ do $19,70 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$. V priestoroch 220 kV rozvodne boli hodnoty intenzity elektrického poľa nižšie. Akčná hodnota v 220 kV rozvodni bola prekročená len sporadicky. Maximálne hodnoty vypočítané pre Rz 220 kV Senica boli v rozsahu od $10,29 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ do $11,05 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$.
5. V priestoroch vybranej 110 kV rozvodne nebola prekročená akčná hodnota intenzity elektrického poľa pre frekvenciu 50 Hz. Vypočítané maximálne hodnoty E sa v rozvodni Pionierska Bratislava pohybovali okolo $5,13 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$.
6. Príčinou vysokých vypočítaných hodnôt intenzity elektrického poľa v prípade 400 kV rozvodní je výška prevádzkového napätia a ich konštrukčné usporiadanie, najmä častí silových prístrojov a iných objektov rozvodne na nulovom potenciáli. Zníženie intenzity elektrického poľa v priestoroch vonkajších rozvodní sa dá dosiahnuť najmä výmenou

zariadení za iné, ktoré emitujú slabšie elektromagnetické pole (najúčinnšie je použitie zapuzdrených kompaktných modulov). Ale aj stavebnými a priestorovými zmenami umiestnenia rozhodujúcich zariadení v rozvodniach, alebo vybudovaním dodatočného tienenia.

7. Dôležitým poznatkom z hľadiska priestorového usporiadania rozvodne (pri jej projektovaní a najmä výkonu prác v blízkosti napätia počas revízií, výmeny silových prístrojov, alebo rekonštrukcie), je určenie miery vzájomného ovplyvňovania susedných polí typickej radovej rozvodne. Pole vonkajšej rozvodne prevádzkované s maximálnou dovolenou kladnou odchýlkou od menovitého napätia, ovplyvní vlastnou intenzitou elektrického poľa priestor susedných polí, alebo priestor za rozvodňou veľkosťou E menšou ako $2,0 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$: vo vzdialenosti cca 15 m od okraja poľa v prípade 400 kV rozvodní, alebo vo vzdialenosti cca 10 m od okraja poľa v prípade 220 kV rozvodní, alebo vo vzdialenosti cca 3 m od okraja poľa v prípade 110 kV rozvodní.
8. V radových rozvodniach s dvomi systémami hlavných prípojnic W1 a W2 (kde systém W1 je situovaný k okraju rozvodne a systém W2 je situovaný vedľa W1 smerom dovnútra rozvodne) sú hodnoty intenzity elektrického poľa väčšie pri zapojení, keď sú vývody zaústené na prípojnicu W2. V prípade radových rozvodní s dvoma systémami hlavných prípojnic sa preto odporúča, aby bolo zapojenie rozvodne nakonfigurované na prípojnicu W1 (pokiaľ tomu nebránia iné prevádzkové požiadavky).
9. Magnetická indukcia poľa radovej rozvodne VVN, ZVN, prevádzkovaného s maximálnym dovoleným prúdom, siaha do priestoru susedného nezaťaženého poľa vývodu, alebo do priestoru mimo poľa rozvodne magnetickou indukciou menšou ako $10 \text{ }\mu\text{T}$: vo vzdialenosti cca 10 m od okraja poľa u 400 kV rozvodní, do vzdialenosti cca 5 m od okraja poľa u 220 kV rozvodní a do vzdialenosti cca 3 m od okraja poľa u 110 kV rozvodní.
10. Kritické miesta z pohľadu veľkosti expozície elektromagnetickému poľu, sú v bezprostrednom okolí silových prístrojov, pod ich prepojeniami a najmä pod vertikálnymi zvodmi z prípojnic k silovým prístrojom, ktoré sú pod prevádzkovým napätím a priestorovo sú najbližšie ku skúmanej hladine 1,8 m nad zemou.

Súčasťou dizertačnej práce je aj návrh opatrení zameraných na zníženie dôsledkov súvisiacich s expozíciou osôb elektromagnetickému poľu v priestoroch elektrických staníc VVN a ZVN. Preskúmané boli nasledovné opatrenia:

1. Zväčšenie výšky živých častí rozvodne VVN, ZVN od zeme.
Po zvýšení všetkých silových prístrojov a prípojnic v Rz 400 kV o 1.0 m bolo dosiahnuté zníženie maximálnej hodnoty intenzity elektrického poľa od 24,41 % po 29,95 %. V prípade Rz 220 kV Senica, bolo dosiahnuté zníženie intenzity elektrického poľa z $11,05 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ na $8,48 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$, t.j. o 23,26 %. Po zvýšení štyroch výkonových vypínačov v rozvodni v 110 kV Rz BEZ Bratislava o 0,5 m, klesla intenzita elektrického poľa o 41,41 %. V tejto súvislosti je potrebné upozorniť na negatívny vplyv betónových chodníkov križujúcich polia

rozvodní VVN, ZVN, vedených v blízkosti prístrojov a výkonových vypínačov. Betónové chodníky majú uľahčiť prístup obsluhy. Avšak z dôvodu ich vyvýšenia nad terénom (aj o 30 až 40 cm) sú pracovníci vystavení silnejšiemu elektromagnetickému poľu.

2. Pasívne tienenie živých častí rozvodne VVN, ZVN v okolí odpojovačov, pridaním oceľového tieniaceho rámu na vrch ich podpernej stoličky.

Týmto opatrením sa lokálne znížia hodnoty intenzity elektrického poľa. V Rz 400 kV Podunajské Biskupice bolo zistené v najexponovanejšom mieste zníženie E v dôsledku použitia tieniacich rámov o cca 8%, pri Rz 400 kV Varín až cca 16 %. Použitie tieniaceho kovového rámu z U-profilu je teda jednoduché a technicky dosť účinné riešenie z hľadiska lokálneho zníženia intenzity elektrického poľa v blízkosti odpojovačov klasickej konštrukcie.

3. Pasívne tienenie živých častí rozvodne VVN, ZVN, so silovými prístrojmi integrovanými v kompaktných moduloch.

Výsledky realizovaných výpočtov preukázali, že použitie kompaktných modulov v Rz 400 kV Varín, prispelo k zníženiu intenzity elektrického poľa v tejto rozvodni. V okolí kompaktných modulov sa jedná o výrazné zníženie hodnoty E.

Podľa súčasných poznatkov je možné konštatovať, že navrhované opatrenia ma zníženie úrovni elektromagnetických polí siet'ovej frekvencie v SR a ani v zahraničí neboli skúmané v takomto rozsahu (vplyv opatrení na zníženie hodnôt E a B pri maximálnych prevádzkových stavoch). Niektoré opatrenia ako napr. použitie kompaktných modulov sa bežne v praxi bežne realizujú. Dôvodom však nie je znižovanie veľkosti elektromagnetických polí ale úspora miesta, zvýšenie spoľahlivosti, prípadne iné dôvody. Vplyv takéhoto riešenia z pohľadu ochrany osôb v doterajšej praxi nebol v SR skúmaný. Opatrenia ako pasívne tienenie dodatočne pridaným oceľovým rámom je možné označiť za jedinečné (neboli zaznamenané publikácie, ktoré by posudzovali vplyv takéhoto opatrenia).

V súčasnosti stále prebieha výskum zameraný na dlhodobé účinky elektromagnetických polí. V prípade, ak by tento výskum priniesol nové poznatky o nepriaznivých účinkoch elektromagnetických polí pri dlhodobej expozícii, s veľkou pravdepodobnosťou dôjde k úprave existujúcich právnych predpisov a k sprísňovaniu požiadaviek na ochranu zamestnancov. Z tohto dôvodu je návrh opatrení na znižovanie dosahovaných úrovní elektromagnetických polí aktuálny, s veľkým významom pre budúci návrh a projektovanie elektrických staníc.

Na záver je možné konštatovať, že výpočty E a B realizované pomocou matematického modelovania sú jediným spôsobom, akým sa dajú vyhodnotiť maximálne prevádzkové režimy vonkajších rozvodní prenosovej sústavy. Na základe výsledkov je potom možné prijať technické a organizačné opatrenia na zvýšenie bezpečnosť obsluhy vonkajších rozvodní VVN a ZVN.

Použitá literatúra

- [1] Nariadenie vlády SR č. 329/2006 Z.z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu
- [2] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 534/2007 Z.z. o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí
- [3] User Manual k výpočtovému programu EFC-400 Magnetic and Electric Field Calculation
- [4] Skurčák, E; Bojda, P.; Parametre 220 kV a 400 kV vedení z pohľadu vyhlášky Ministerstva zdravotníctva SR č. 534/2007 Z.z.; výskumná správa VUJE č. V01-1210/07/2009, 2009
- [5] Bojda, P.; Skurčák, E.; Lago, J.; Savčák, M.: Faktory ovplyvňujúce výsledky merania NF-polí v okolí energetických zariadení vn, vvn a zvn, príspevok ELOSYS 2010.
- [6] Lago, J. a kol.; Výskum elektrických a magnetických polí vonkajších rozvodní elektrických staníc ES SR v ustálených prevádzkových režimoch; výskumná správa VUJE č. V01-1210/1/2009
- [7] Lago, J.; Salbot, M.; Výskum vplyvu okrajových podmienok na elektromagnetické vyžarovacie charakteristiky vonkajších vedení vvn a zvn elektrizačnej sústavy SR pomocou matematického modelovania, výskumná správa VUJE č. 1210/4/2005
- [8] Lago, J. a kol.; Modelovanie elektrických a magnetických polí vonkajších rozvodní ES SR pri maximálnych projektovaných zaťažovacích stavoch; 9th International Conference ENERGY – ECOLOGY - ECONOMY 2010.
- [9] IEC 62271-208 Methods to quantify the steady state, low frequency EMF generated by HVswitchgear assemblies and HV/LV prefabricated substations
- [10] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 271/2004 Z.z. o ochrane zdravia pred neionizujúcim žiarením
- [11] Nariadenie vlády SR č. 325/2006 Z.z. o podrobnostiach a požiadavkách na zdroje elektromagnetického poľa a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému poľu v životnom prostredí
- [12] Smernica Európskeho parlamentu a Rady č. 2004/40/ o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách týkajúcich sa vystavenia pracovníkov rizikám vyplývajúcim z fyzikálnych činidiel (elektromagnetické polia)

- [13] STN IEC 60833 Meranie elektrických polí priemyselného kmitočtu
- [14] Lago, J.; Vojtek, M.; Verifikácia relevantnosti výsledkov matematického modelovania meraním úrovne elektromagnetického žiarenia v okolí elektroenergetických zariadení; výskumná správa VUJE č. V02-1210/2/2006
- [15] User's Manual EFC-400 - Magnetic and Electric Field Calculation
- [16] Krychtálek, Z. - Pauza, J.: Elektrické stanice. Praha: SNTL, 1989.
- [17] Janíček, F. - Beláň, A.: Prístrojové transformátory prúdu a napätia. In: Skriptum - grant programu Phare. Bratislava: FEI STU, 1997
- [18] Janíček, F. a kol.; Elektrické stanice, 2011
- [19] ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS PRODUCED BY TRANSMISSION SYSTEMS, practical guide for calculation, CIGRE 1980
- [20] Electric Power Transmission an the Environment: Fields, Noise and Interference, CIGRE 2010
- [21] MAGNETIC FIELD IN HV CABLE SYSTEMS; CIGRE 1996
- [22] Strac, L.; Kelemen, F.; Zarko, D.; Modeling and calculation of electromagnetic field in the surroundings of a large power transformer
- [23] European Council Recommendation of 12 July 1999. on the limitation on exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), 1999/519/EC
- [24] MEASURING NON-IONISING ELECTROMAGNETIC RADIATION (9 kHz – 300 GHz), European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
- [25] Salkic, H.; Softic, A.; Muharemovic, A.; Calculation and Measurement of Electromagnetic Fields; ISBN 978-953-51-0639-5
- [26] HIGH VOLTAGE OVERHEAD LINES ENVIRONMENTAL CONCERNS, PROCEDURES, IMPACTS AND MITIGATIONS, CIGRE 1999
- [27] Morillon, F.; Recrosio, N.; Quinchon, L.; Calculation of the electromagnetic field emitted by an EHV substation; CIGRE 1994
- [28] STN ENV 50166-1: Vystavenie ľudského organizmu pôsobeniu nízkofrekvenčných elektromagnetických polí s frekvenciou od 0 Hz do 10 kHz
- [29] STN IEC 62110: Úrovne elektrických a magnetických polí generovaných striedavými výkonovými systémami. Meracie postupy s ohľadom na expozíciu obyvateľstva

- [30] STN EN 50413 Základná norma na postup merania a výpočtu expozície osôb elektrickými, magnetickými a elektromagnetickými poliami (0 Hz – 300 GHz)
- [31] Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2013/35/EÚ o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách týkajúcich sa vystavenia pracovníkov rizikám vyplývajúcim z fyzikálnych činidiel (elektromagnetické polia)
- [32] Swanson, J.; Power-frequency EMF Exposure Standards applicable in Europe and elsewhere, 2013

Zoznam publikácií autora súvisiacich s problematikou dizertačnej práce

1. Lago, J.; Bojda, P.; Skurčák, L.; Savčák, M.: Survey of low-frequency electromagnetic fields in EHV and UHV substations using a mathematical modelling ;11th International Conference EEE2012 May 15-17, 2012 Tatranské Matliare :
2. Lago, J.; Savčák, M.; Bojda, P.; Skurčák, L.: Application of the mathematical modelling of EHV substation's electric and magnetic fields at limit operating conditions 2nd International Conference on Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields; PARIS, FRANCE 24 - 25 MARCH, 2011:
3. Lago, J.; Savčák, M.; Kováč, J.; Bojda, P.; Skurčák, L.; Chovanec 2. Časopis Energetika 6/2011 : Dovoľené prevádzkové režimy vonkajších rozvodní VVN a ZVN z hľadiska vplyvu ich nízkofrekvenčného elektromagnetického poľa na životné prostredie
4. Bojda, P.; Skurčák, L.; Savčák, M.; Problem of valuation exposure to electromagnetic field with frequency 50 Hz in the Slovak republic; 10th International Conference EEE2011 June 7-9, 2011 Tatranské Matliare
5. Lago, J.; Bojda, P.; Skurčák, L.; Savčák, M.: Možnosti modelovania rozloženia nízkofrekvenčných elektromagnetických polí vo VVN a ZVN rozvodniach; 6th International scientific symposium Elektroenergetika 2011 21 – 23 9. 2011, Stará Lesná
6. Lago, J.; Bojda, P.; Savčák, M.; Skurčák, L.: Využitie matematického modelovania vonkajších rozvodní vvn a zvn, pri posudzovaní úrovni nízkofrekvenčného elektrického a magnetického poľa, EE 2009, Stará Lesná, september 2009
7. Lago, J.; Bojda, P.; Savčák, M.; Kováč, J.; Skurčák, L.: Dovoľené prevádzkové režimy vonkajších rozvodní vvn a zvn z hľadiska vplyvu ich nízkofrekvenčného elektromagnetického poľa na životné prostredie, Poděbrady 2008, november 2008
8. Lago, J.; Bojda, P.; Savčák, M.; Kováč, J.; Skurčák, L.: Elektromagnetické polia vonkajších rozvodní vvn a zvn, CONTROL OF POWER SYSTEM '08, International conference, Štrbské Pleso, jún 2008
9. Lago, J.; Bojda, P.; Savčák, M.; Skurčák, L.; Kováč, J.: Increase of transmission capacity of external lines respecting ecological limits for protection of population against the effects of electromagnetic field, CIGRÉ Seddion 2008, Ref. No. B2-107, Paris, 2008
10. Lago, J.; Bojda, P.; Savčák, M.; Skurčák, L.: Zvýšenie prenosovej kapacity vonkajších vedení s rešpektovaním ekologických limitov na ochranu obyvateľstva pred účinkami elektromagnetického poľa, EE 2007, Stará Lesná, september 2007