

# Vyšetření elektrického pole svazkových vodičů

Iveta Petrášová

Katedra teoretické elektrotechniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

ipetraso@kte.zcu.cz

## The examination of electric field of bundle of conductors

**Abstract** – The paper is focused on the examination of the electric field of the bundle of conductors to investigate values of electric field intensity on the surface of the conductor. Solution was implemented for single wire bundle consisting of four wires using Fredholm integral equations and finite element method.

**Keywords** – bundled conductors; Fredholm integral equation; finite element method; electric field; corona.

### I. ÚVOD

Svazkové vodiče jsou využívány zejména v přenosových soustavách, a to hlavně kvůli možnosti ovlivnit rozložení plošné hustoty na povrchu vodiče, v důsledku toho snížit hodnotu kritické elektrické intenzity. Pokud by tato hodnota byla překročena, může na vedení dojít ke vzniku nežádoucího jevu – koróny, která na vedení způsobuje nežádoucí ztráty. Tato práce je zaměřena právě na vyšetření elektrického pole v okolí svazkových vodičů.

### II. FREDHOLMOVA ROVNICE

Pro vyčíslení intenzity elektrického pole na povrchu vodiče je nutno nejprve vyřešit plošnou hustotu náboje. Pro zjednodušení předpokládejme dvojrozměrné planární elektrické pole. Vydeme z rovnice pro elektrický potenciál, který indukuje každý vodič o jednotkové délce, náboji  $\tau$  a poloměru  $r$ .

Pro numerické řešení následně zapíšeme rovnici (1) pro každý z úseků  $\delta_{ki}$  ( $k=1, \dots, n$ ,  $i=1, \dots, N_{ki}$ ). Tímto způsobem jsme nyní získali soustavu algebraických rovnic.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{N_i} \sigma_k \ln \frac{1}{r_{ki} - r_{kl}} \Delta l_{ki} + 2\sigma_k \int_0^{\Delta l_i/2} \ln \frac{dr_k}{|r_k|} = 2\pi\epsilon_0\varphi \quad (1)$$

$$A\sigma = 2\pi\epsilon_0\varphi \quad (2)$$

Kde :  $A(m, n) = [apq]$ ,  $p, q = 1 \dots m$

$$p \neq q: a_{pq} = \Delta l_p \ln \frac{1}{r_p - r_q} \quad (3)$$

$$p = q: a_{pq} = \frac{\Delta l_p}{2} \left(1 - \ln \frac{\Delta l_p}{2}\right) \quad (4)$$

$\sigma(m, l)$  = sloupcový vektor hledaných hustot na diskretizovaném povrchu vodiče

$\varphi(m, l) = \text{sloupcový vektor potenciálu jednotlivých vodičů}$

Uvedená metoda umožňuje respektovat elektrostatické působení všech vodičů soustav, tedy všechny svazkové vodiče všech fází, případně vliv země.

### III. OKRAJOVÁ ÚLOHA ELEKTROSTATIKY

Rovnici pro potenciál lze vyjádřit ve tvaru Poissonovy rovnice, která bude platit pro body uvnitř suboblastí, tedy pro regulární body prostoru.

$$\Delta\varphi_i = -\frac{\rho_i}{\varepsilon_i} \quad (5)$$

Pozn.: často bývá  $\rho_i = 0$ , potom pracujeme s Laplaceovou rovnicí. ( $i = 1, \dots, n$ )

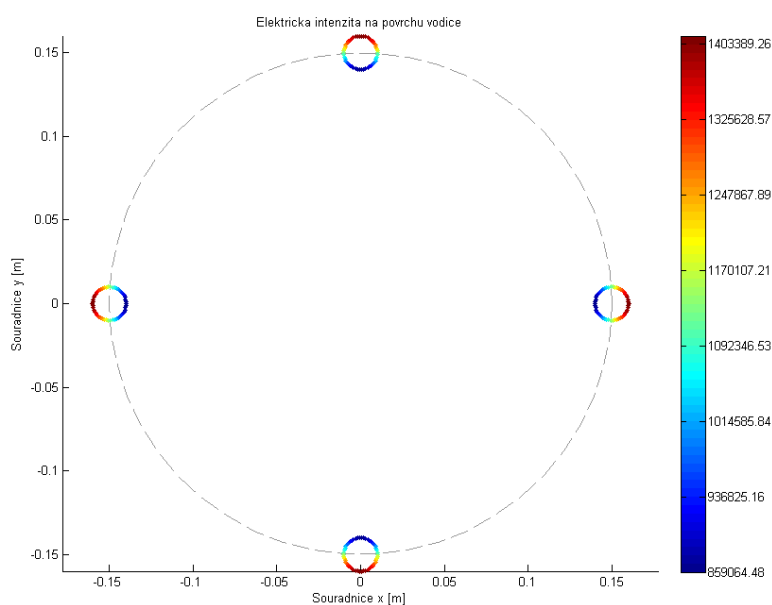
### IV. ILUSTRATIVNÍ PŘÍKLAD

Uvažujme svazkový vodič o čtyřech dílčích vodičích ve svazku. Poloměr vodiče je  $r = 1$  cm, střední poloměr svazku  $R = 0,15$  cm ( $R = 100$  cm) a napětí 100 kV.

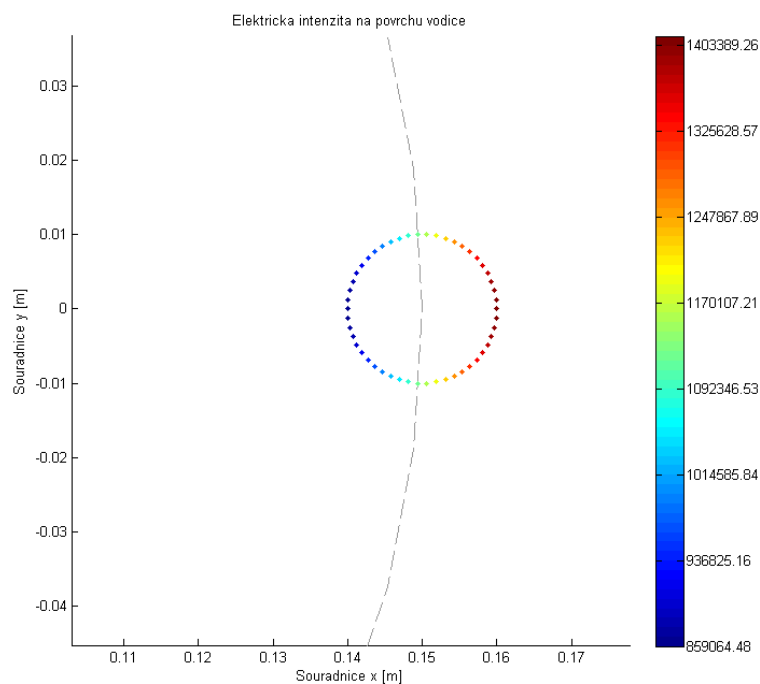
#### A. Fredholmova rovnice

Na obrázku II. je vidět rozložení elektrického pole na povrchu vodiče. Intenzita pole se pohybuje v rozmezí od 8,59 kV/cm do 14,03 kV/cm. Řešení Fredholmovy rovnice bylo provedeno v programu Matlab7.1.

Problém byl řešen i v případě velké vzdálenosti mezi vodiči na důkaz, že elektrická intenzita bude symetricky rozložena na povrchu, a dále pro jediný ekvivalentní vodič. V prvním případě bylo nutno nadefinovat vstupní hodnoty uvedené výše. Povrch jednotlivých vodičů byl diskretizován, zvolená hodnota  $N_k = 50$ .



Obrázek I. Vizualizace svazku



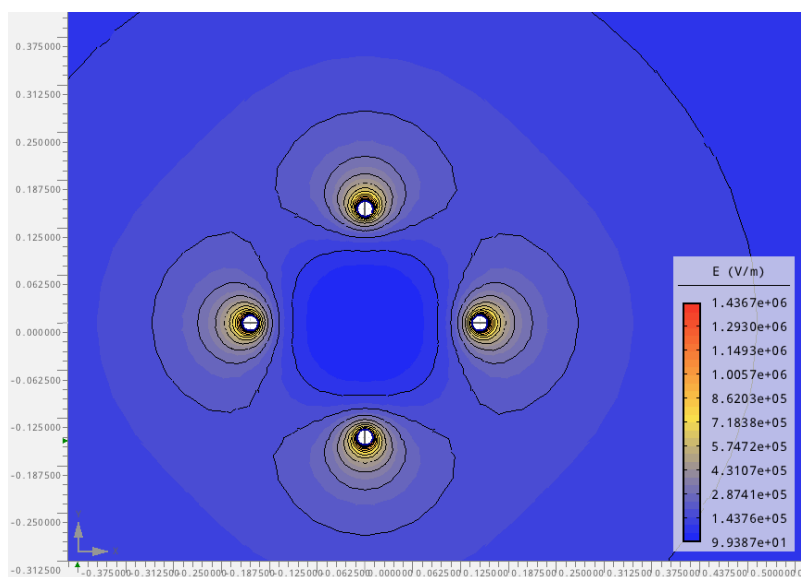
**Obrázek II. Elektrická intenzita – pravý vodič svazku**

### B. Okrajová úloha elektrostatiky

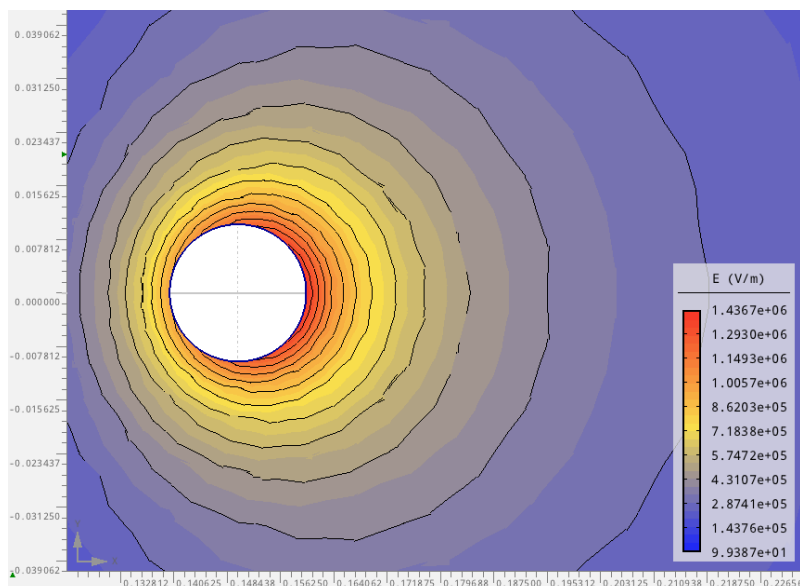
Na obrázku IV. je vidět rozložení elektrického pole na povrchu vodiče. Intenzita pole se pohybuje v rozmezí od 8,62 kV/cm do 14,36 kV/cm.

Řešení svazkových vodičů jako okrajové úlohy elektrostatiky bylo provedeno v programu AGROS2D. K řešení problému bylo potřeba nadefinovat okrajové podmínky:

- Neumannova okrajová podmínka
- Vliv země
- Dirichletova okrajová podmínka – potenciál  $\varphi = 100$  kV



**Obrázek III. Vizualizace svazku**



**Obrázek IV. Elektrická intenzita – pravý vodič svazku**

## V. ZÁVĚR

Pomocí Fredholmovy rovnice a metody MKP byla porovnána velikost elektrické intenzity svazkových vodičů, za účelem minimalizování rizika vzniku koróny. Jedním z dalších cílů bylo zjistit, jak se bude elektrická intenzita měnit v závislosti na vzdálenosti jednotlivých vodičů svazku a tyto hodnoty porovnat s jediným ekvivalentním vodičem.

**TABULKA I. SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ HODNOT ELEKTRICKÉ INTENZITY**

Řešení	Svazkový vodič n=4	Vodiče daleko od sebe	Jediný ekvivalentní vodič
Fredholmova rovnice	1) $E_{n \max} = 14,03 \text{ kV/cm}$ 2) $E_{n \min} = 8,59 \text{ kV/cm}$	$E_n = 11,34 \text{ kV/cm}$	$E_{n1} = 22,70 \text{ kV/cm}$
$E_n/E_{n1}$	1) 0,618 2) 0,378	0,500	-
MKP	1) $E_{n \max} = 14,36 \text{ kV/cm}$ 2) $E_{n \min} = 8,62 \text{ kV/cm}$	$E_n = 11,65 \text{ kV/cm}$	$E_{n1} = 22,85 \text{ kV/cm}$
$E_n/E_{n1}$	1) 0,628 2) 0,377	0,509	-

## PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu SGS-2015-035.

## LITERATURA

- [1] MAYER, Daniel. Elektrodynamika v energetice. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 278 s. ISBN 80-730-0164-0.