



EGU – HV Laboratory a.s.

Podnikatelská 267

190 11 Praha 9 - Běchovice

**Výpočet elektromagnetického pole vybraných
stožárů vedení 110 kV Česká Lípa -
Varnsdorf s ohledem na hygienické limity podle
Nařízení vlády č. 291/2015 Sb.**

Objednatel:

OMEXOM GA Energo s.r.o.
Na Střilně 1929/8
323 00 Plzeň

Zhotovitel:

EGU-HV Laboratory a.s.
Podnikatelská 267
190 11 Praha 9 - Běchovice

Vypracoval:

Ing. Martin Švancar

Ředitel EGU-HV Laboratory a.s.:

Ing. Jan Lachman, Ph.D.

Číslo zakázky zhotovitele:

70272C/18

Počet výtisků:

2+1

Počet stran:

17

září 2018

1. Úvod

Cílem výpočtu je posouzení vedení 110 kV Česká Lípa - Varnsdorf z hlediska požadavků Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. B

- 1) sdružené vedení na stožáru SOUDEK 1x110 kV a 1x35 kV
- 2) nosný stožár SOUDEK 2 x 110 kV
- 3) nosný stožár stromek 1x110 kV
- 4) kotevní stožár SOUDEK 3x 110 kV
- 5) sdružené vedení 1x110 kV a 1x35 kV
- 6) kabel v zemi – trojúhelníková formace
- 7) kabel v zemi – rovinná formace
- 8) podchod komunikace překopem - trojúhelníková formace
- 9) podchod komunikace překopem – rovinná formace

Metodou posouzení je výpočet parametrů elektromagnetického pole 50 Hz (intenzita elektrického pole E (kV/m) a magnetické indukce B (μ T) a na základě těchto veličin se provádí výpočet modifikované intenzity elektrického pole E_{mod} indukované v tkáni výšce 1,8 m nad zemí, tj. ve výšce přechodu z krku do hrudi u vyšší postavy. Výpočet je proveden v souladu s metodikou Ministerstva zdravotnictví z července 2017.

Veškeré výpočty elektromagnetického pole jsou provedeny programem OVERHEAD pro minimální výšku vodičů vedení 110 kV 6 m . Hodnoty modifikované intenzity elektrického pole indukované v tkáni byly stanoveny ve výšce 1,8 m nad zemí.

2 Vstupní údaje

Vedení 110 kV

Jmenovité napětí: 110 kV

Maximální proud: 518 A (maximální stálá zatížitelnost jednoho vodiče)

Průměr fázového vodiče: 21,8 mm

Průřez fázového vodiče-celkový: 282,5 mm²

DC odpor: 0,1188 Ω /km

Průměr ZL: 19,5 mm

Průřez ZL: 226,9 mm²

DC odpor ZL: 0,156 Ω /km

Průměr KZL: 15,8 mm

Průřez KZL: 132,73 mm²

DC odpor KZL: 0,335 Ω /km

Jmenovité napětí: 35 kV

Maximální proud: 382 A (maximální stálá zatížitelnost jednoho vodiče)

Průměr fázového vodiče: 16,96 mm

Průřez fázového vodiče-celkový: 168,11 mm²

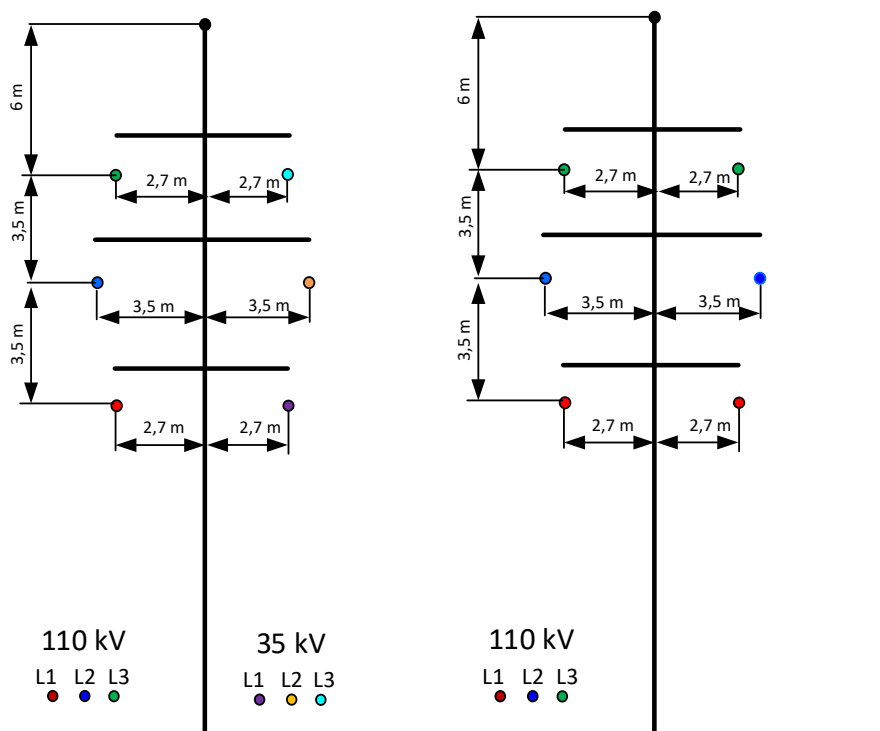
DC odpor: 0,2014 Ω /km

Kabel 110 kV

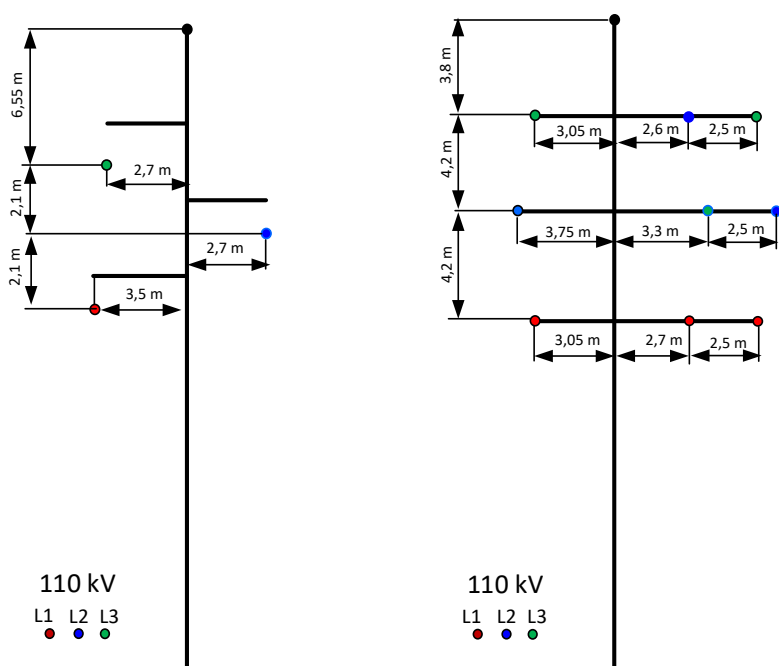
Průměr žíly: 29,3 mm

Průřez – cross section: 630 mm²

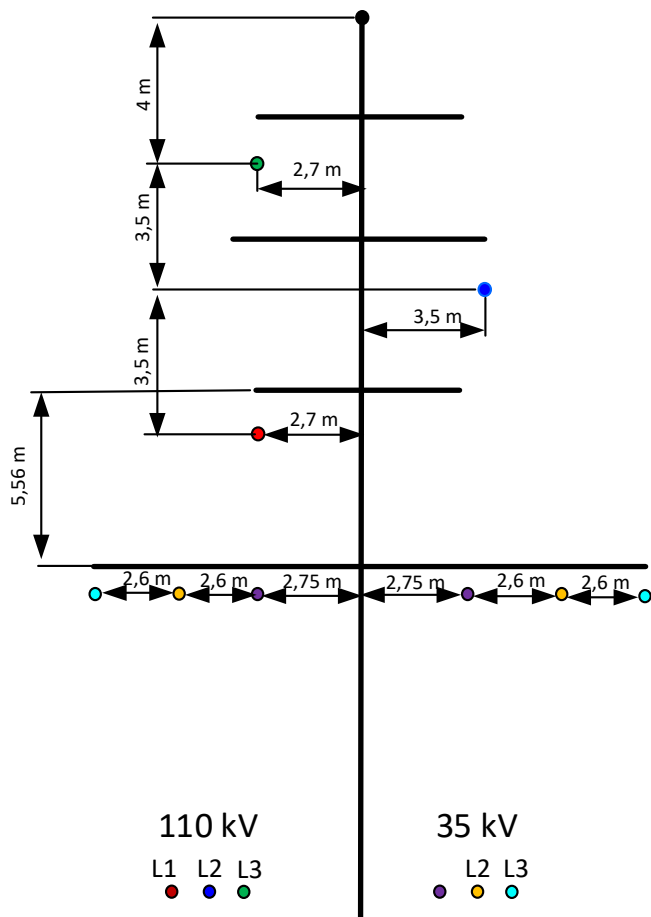
DC odpor: 0,0469 Ω /km



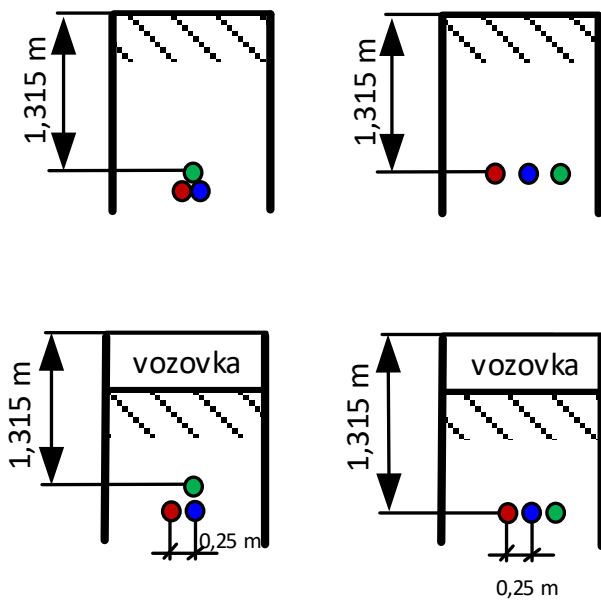
Obrázek 1, Náčrt uspořádání SOUDEK – nosný (110 kV + 35 kV, 2 x 110 kV)



Obrázek 2, Náčrt uspořádání STROMEK – nosný (1x110 kV) a SOUDEK kotevní (3 x 110 kV)



Obrázek 3, Náčrt nosný (1x110 kV) a 2x35 kV)



Obrázek 4, Náčrt uložení kabelu (1x110 kV)

3 Požadavky Nařízení vlády č. 291/2015 Sb

V Nařízení vlády č. 291/2015 Sb jsou stanoveny nejvyšší přípustné hodnoty modifikované intenzity elektrického pole E_{mod} v lidské tkáni, tabulka 1 tyto hodnoty uvádí pro zaměstnance a fyzické osoby v komunálním (nepracovním) prostředí.

Tabulka 1

Modifikovaná intenzita elektrického E_{mod} - nejvyšší přípustné hodnoty podle NV 291/2015 Sb.			
Zaměstnanci		Fyzické osoby v komunálním prostředí	
frekvence [Hz]	E_{mod} [V.m ⁻¹]	frekvence [Hz]	E_{mod} [V.m ⁻¹]
0 - 10 ⁷	1	0 - 10 ⁷	0,2

Podle Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. je nutné jako rozhodující posuzovat expozici v oblasti hlavy. Pro uvážení hygienicky nejhoršího případu se dále předpokládá, že chodidla osoby jsou vodivě spojena se zemí (bosé nohy na vlhké zemi).

Pro určení modifikované intenzity elektrického pole E_{mod} je nejprve třeba určit vlastní intenzitu elektrického pole E indukovanou v tkáni vnějším elektromagnetickým polem. Vnější elektromagnetické pole je vyjádřeno veličinami B^{ext} , E^{ext} .

(1)

$$E = K_B \frac{dB^{ext}}{dt}$$

(2)

$$E = \frac{\epsilon_0}{\sigma} K_E \frac{dE^{ext}}{dt}$$

Uvažuje hygienicky nejhorší situaci, kdy je tělo vystaveno homogennímu magnetickému poli kolmému k hrudi a homogennímu elektrickému poli ve směru od hlavy k nohám.

$K_B = 0,05$ m $K_E = 66$ (expozice hlavy), je zvoleno, protože se při výběru filtru uvažuje expozice očí a středního ucha.

Ačkoli jsou jak intenzita elektrického pole, tak magnetická indukce vektorové veličiny, jsou v rovnicích vyjádřeny skalárně. Vektorová orientace může být v obecném případě velmi složitá a závisí na konkrétním rozložení budícího elektrického a magnetického pole. **Situaci lze zjednodušit uvážením hygienicky nejnepříznivějšího případu kdy se při souběžné expozici elektrickému a magnetickému poli se expozice sečtou.**

Modifikovaná intenzita elektrického pole E_{mod} je pak určena indukovanou intenzitou elektrického pole E , která projde filtrem s frekvenční odezvou pro 50 Hz $G(50) = 6,4$.

V případě sinusového signálu se hodnocení expozice vypočte následujícím způsobem. Výchozí veličinou magnetické složky pole je efektivní hodnota magnetické indukce B^{ext} . Amplituda magnetické indukce je pak $B_a = \sqrt{2} \cdot B_{eff}$ a její časová derivace, potřebná pro dosazení do vztahu (3), má tvar $dB_a / dt = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot B_a$, kde f je frekvence. Elektrická intenzita indukovaná tímto magnetickým polem dle (3) bude $E_l = 2\sqrt{2} \cdot K_B \cdot \pi \cdot f \cdot B^{ext}$. (**$K_B = 0,05$ m**)

Podobně výchozí veličinou elektrické složky pole je efektivní hodnota intenzity elektrického pole E^{ext} . Elektrická intenzita indukovaná tímto polem je $E_2 = (\varepsilon_0/\rho) 2\sqrt{2} \cdot K_E \cdot \pi \cdot f \cdot E^{\text{ext}}$ ($K_E = 66$)

$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ (permitivita vakua)
 $\sigma = 0,20 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ (vodivost tkáně)

$$E = E_1 + E_2 = 2\sqrt{2} \pi 50 (K_B \cdot B^{\text{ext}} + (\varepsilon_0/\rho) \cdot K_E \cdot E^{\text{ext}}) \quad (4)$$

Výsledná intenzita elektrického pole se modifikuje filtrem.

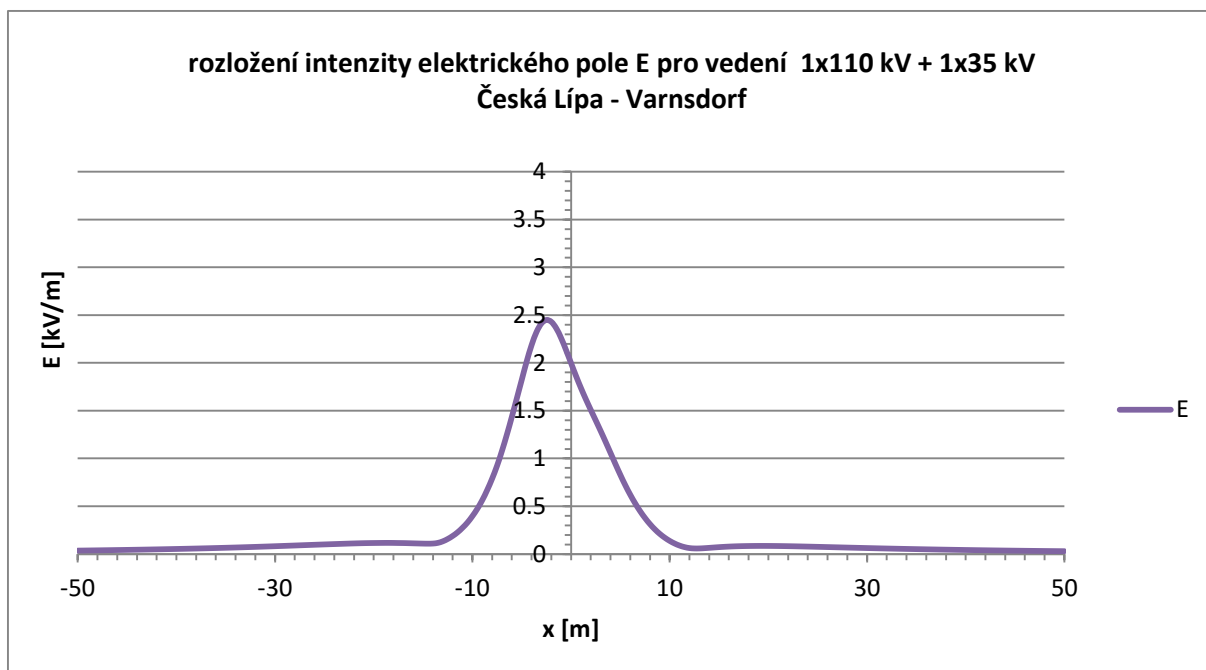
$$E_{\text{mod}} = 6,4 \cdot E \quad (5)$$

4 Výsledky výpočtů pro vedení 110 kV a 35 kV

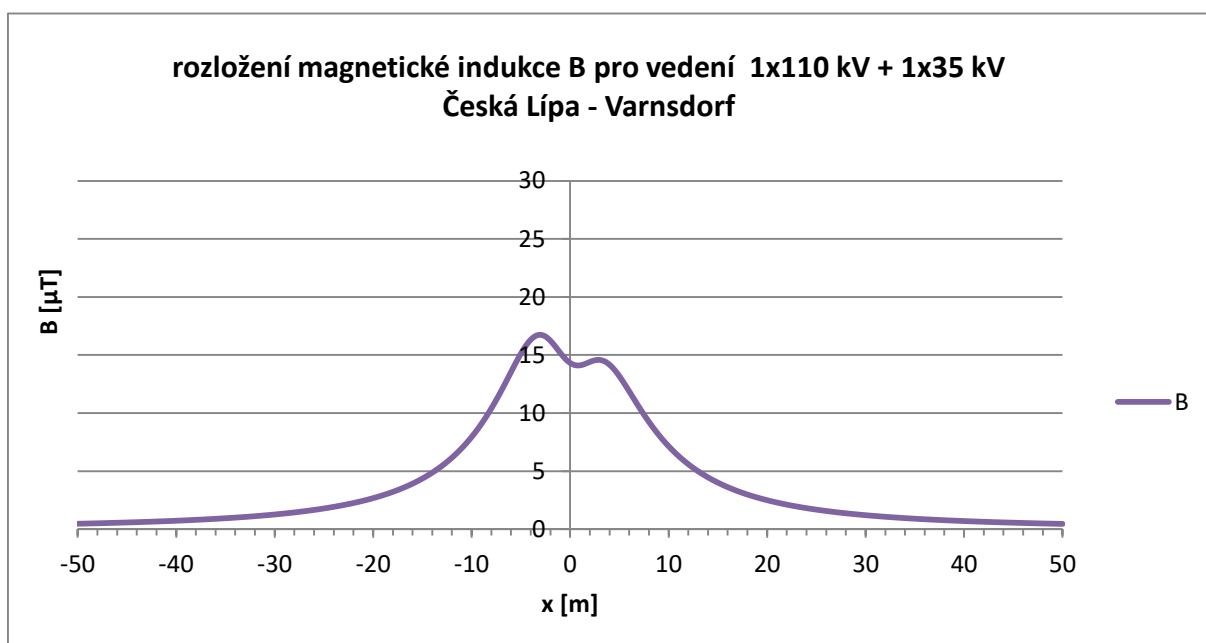
Podle normy ČSN EN 50341-1 musí být minimální výška spodních fázových vodičů vedení 110 kV nad zemí 6 m (za nejnepríznivějších podmínek). Programem OVERHEAD pro tuto výšku vodičů je provedeny výpočet modifikované intenzity elektrického pole E_{mod} v lidském těle. Výpočet je proveden ve výšce 1,8 m nad zemí, tj. ve výšce hlavy. **Z hlediska posouzení limitů vlivu elektromagnetického pole na lidský organismus je rozhodující veličina E_{mod} , která nesmí překročit hodnotu 0,2 V/m.** Kromě E_{mod} pro posouzení limitních hodnot elektromagnetického pole se ještě pro přehled uvádějí výsledky výpočtu rozložení intenzity elektrického pole a magnetické indukce. Při výpočtu se **uvažuje rozložení nejméně příznivého sledu fází z hlediska elmag. pole podle obrázků 2 – 4**.

4.1 Výpočty elektrického pole pro vedení 1x110 kV a 1x35 kV

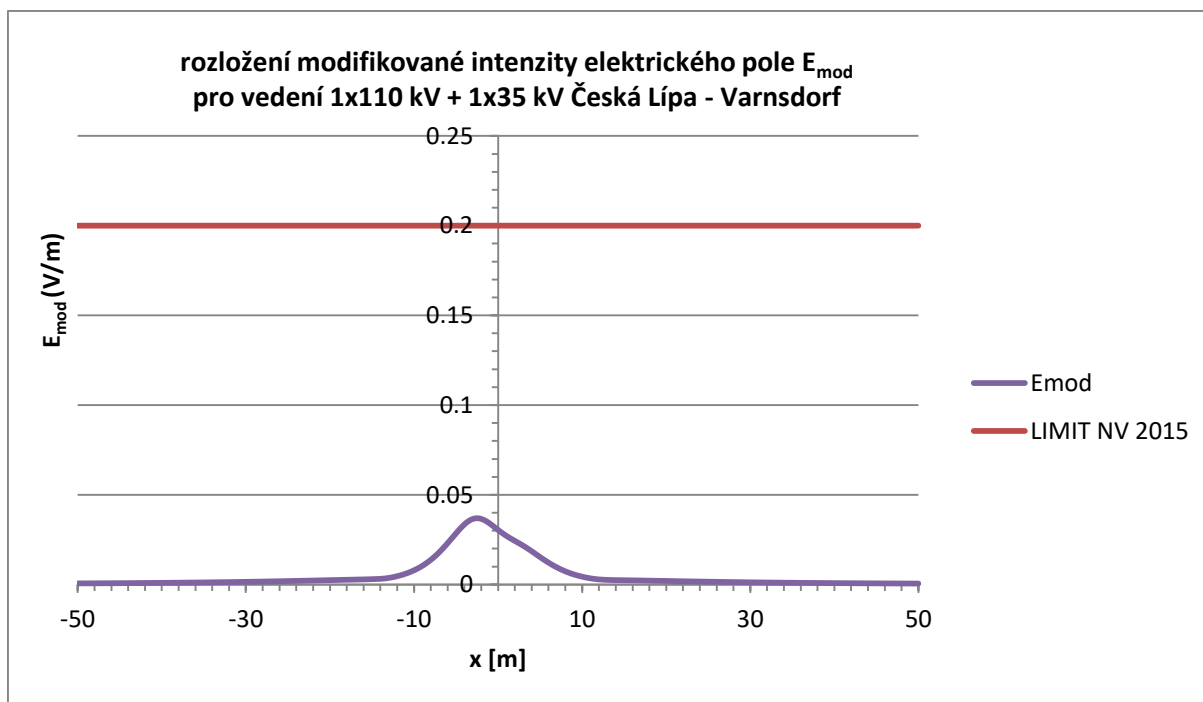
Na obrázku 7 je zobrazeno rozložení modifikované indukované intenzity elektrického pole E_{mod} v závislosti na vzdálenosti x (m) od průmětu střední fáze při výšce spodních fázových vodičů 6 m nad zemí. **Z hlediska průběhu intenzity el. pole pro vzdálenost živých částí vedení 6 m od terénu tedy lze konstatovat, že nejvyšší přípustná hodnota modifikované intenzity elektrického pole bude při dodržení vzdálenosti s rezervou splněna, viz obrázek 7 (maximální hodnota $E_{\text{mod}} = 0,04 \text{ V/m}$).**



Obrázek 5 – závislost intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV + 1x35 kV



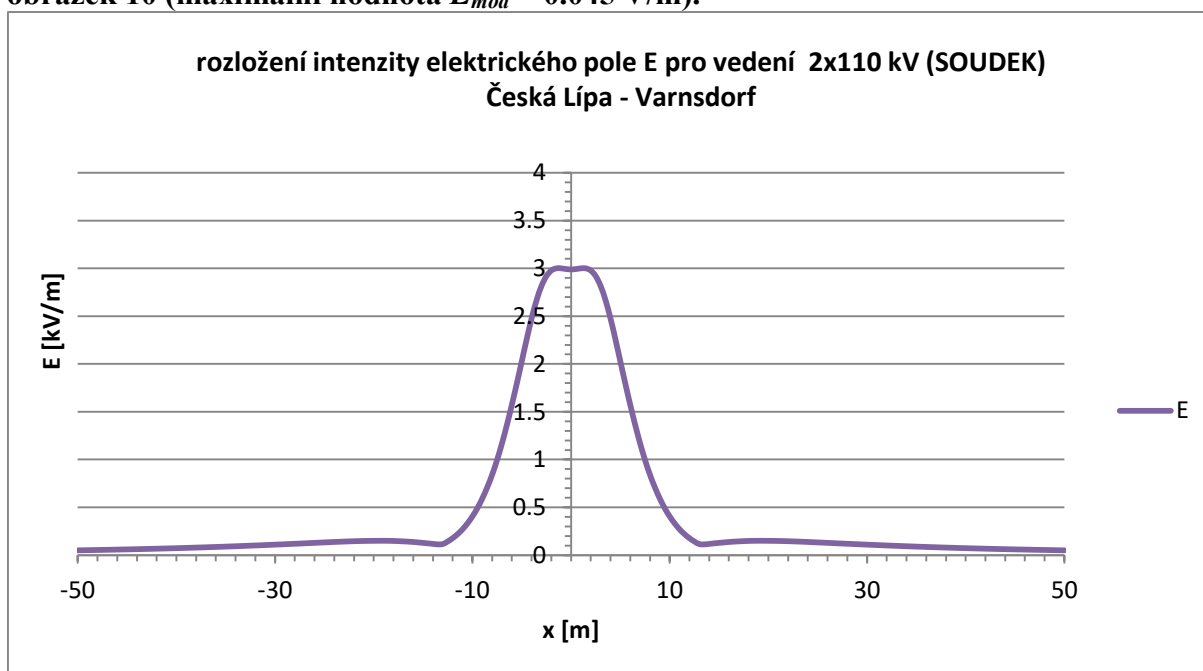
Obrázek 6 – závislost magnetické indukce na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV + 1x35 kV, proud ve vedení 110 kV se uvažuje 518 A, proud ve vedení 1x35 kV je 382 A



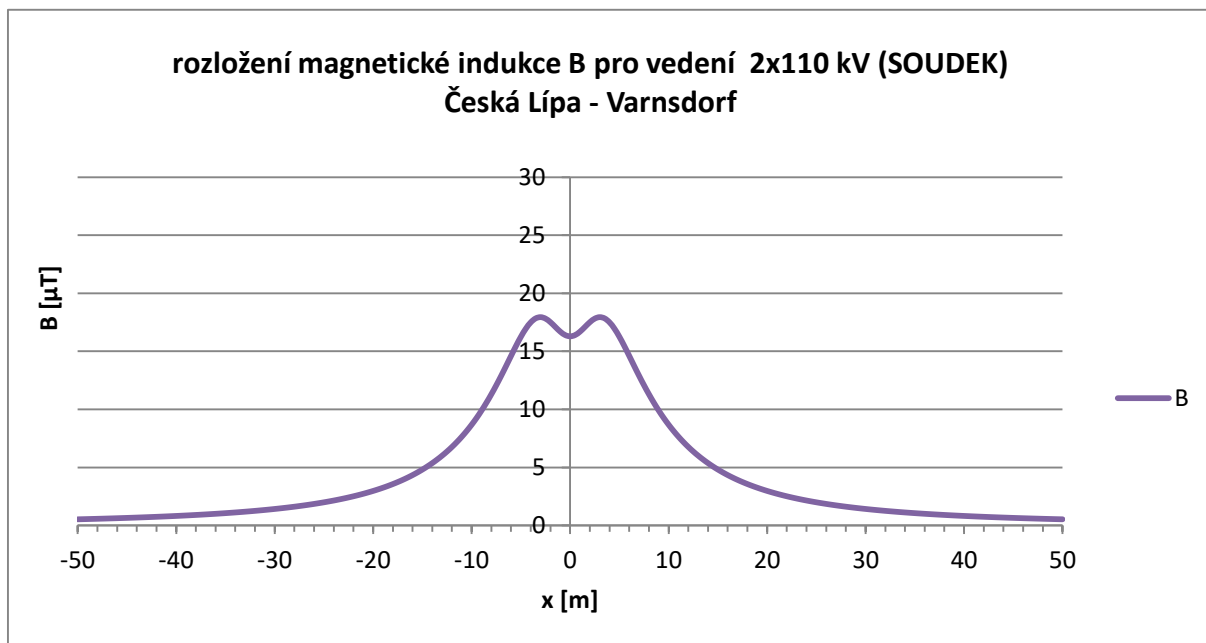
Obrázek 7 – závislost modifikované intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV + 1x35 kV při minimální výšce vodičů 6 m

4.2 Výpočty elektrického pole pro vedení 2x110 kV

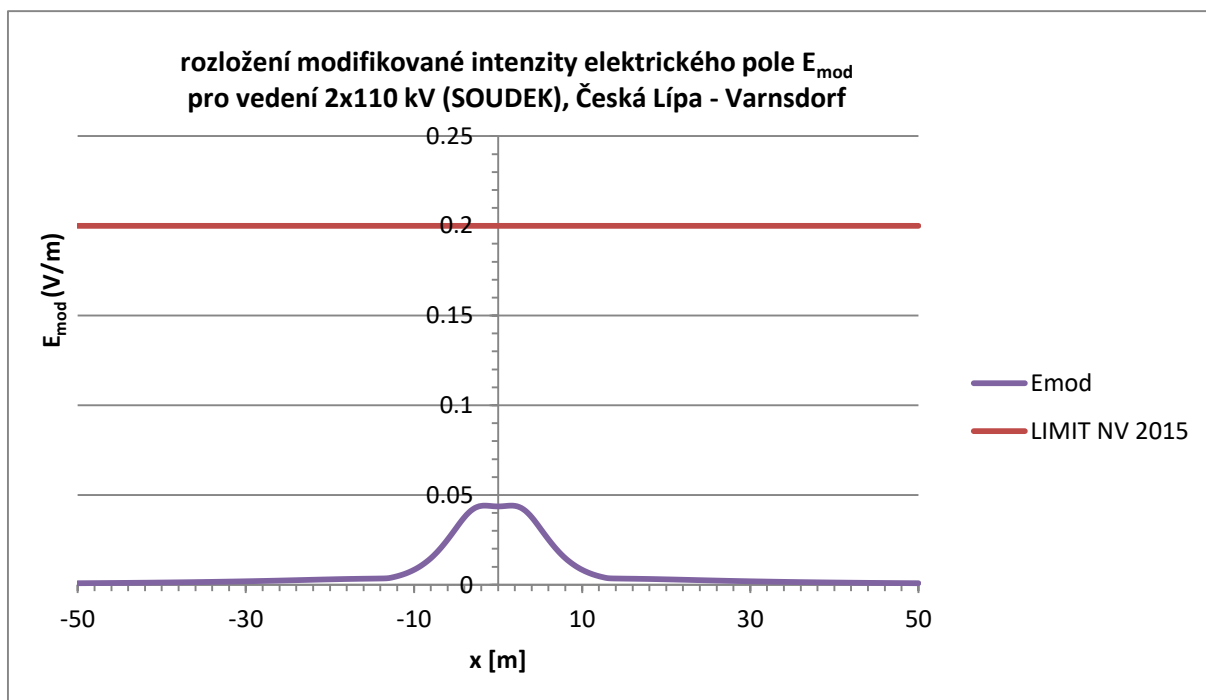
Na obrázku 10 je zobrazeno rozložení modifikované indukované intenzity elektrického pole E_{mod} v závislosti na vzdálenosti x (m) od průmětu střední fáze při výšce spodních fázových vodičů 6 m nad zemí. **Z hlediska průběhu intenzity el. pole pro vzdálenost živých částí vedení 6 m od terénu tedy lze konstatovat, že nejvyšší přípustná hodnota modifikované intenzity elektrického pole bude při dodržení vzdálenosti s rezervou splněna, viz obrázek 10 (maximální hodnota $E_{mod} = 0.045$ V/m).**



Obrázek 8 – závislost intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 2x110 kV



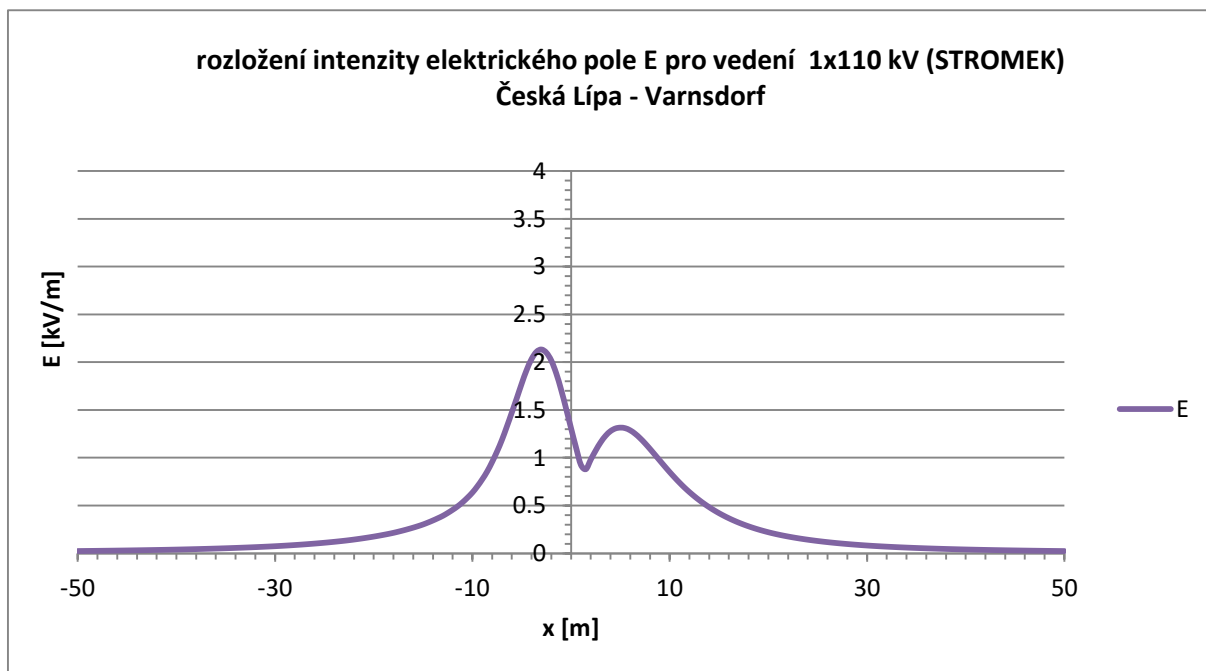
Obrázek 9 – závislost magnetické indukce na vzdálenosti od osy vedení 2x110 kV , proud vedením 110 kV se uvažuje 2x518 A



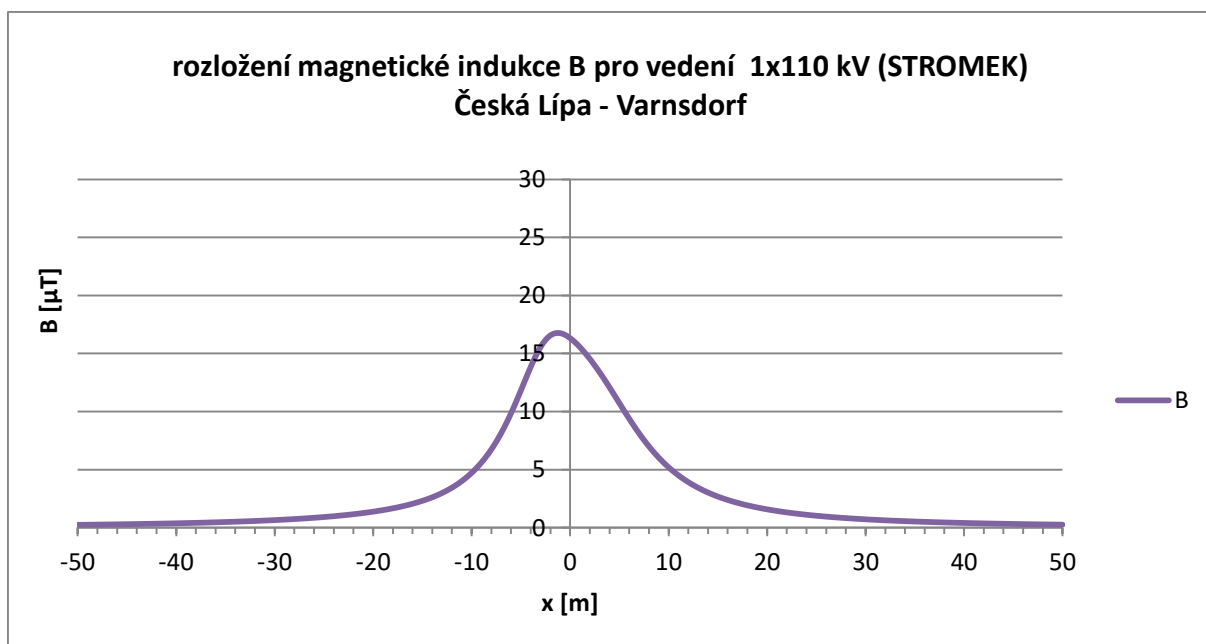
Obrázek 10 – závislost modifikované intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 2x110 kV při minimální výšce vodičů 6 m

4.3 Výpočty elektrického pole pro vedení 1x110 kV (STROMEK)

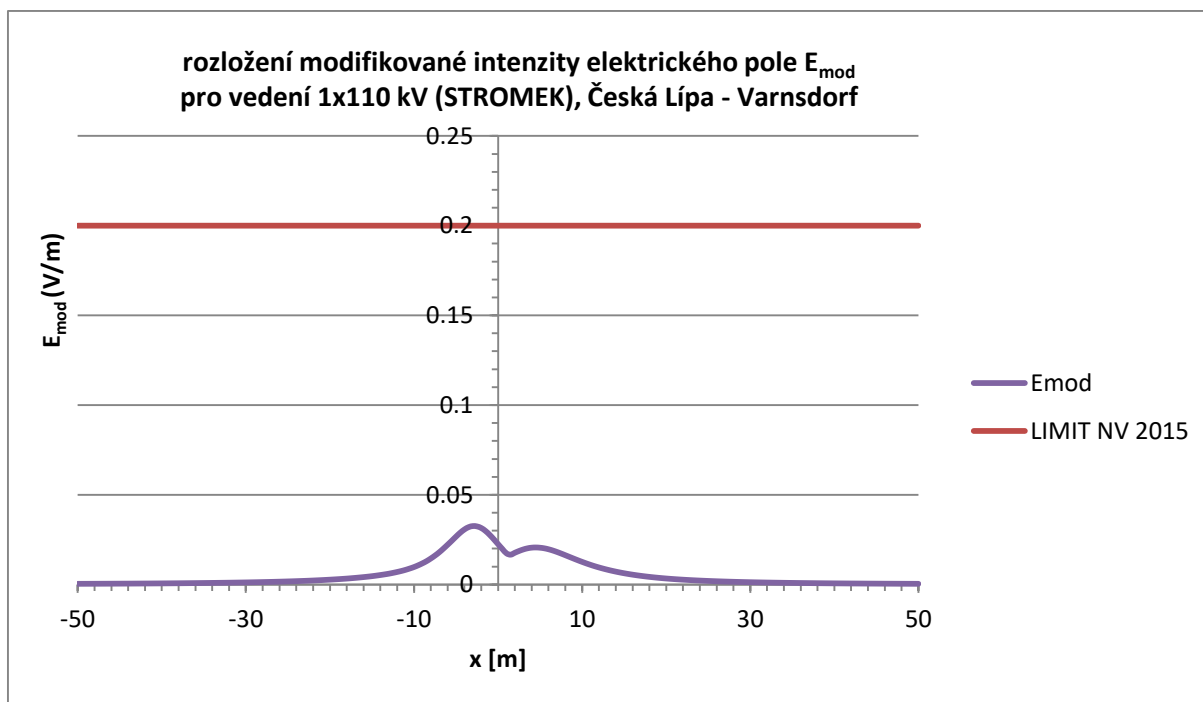
Na obrázku 13 je zobrazeno rozložení modifikované indukované intenzity elektrického pole E_{mod} v závislosti na vzdálenosti x (m) od průmětu střední fáze při výšce spodních fázových vodičů 6 m nad zemí. **Z hlediska průběhu intenzity el. pole pro vzdálenost živých částí vedení 6 m od terénu tedy lze konstatovat, že nejvyšší přípustná hodnota modifikované intenzity elektrického pole bude při dodržení vzdálenosti s rezervou splněna, viz obrázek 13 (maximální hodnota $E_{mod} = 0.032$ V/m).**



Obrázek 11 – závislost intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV



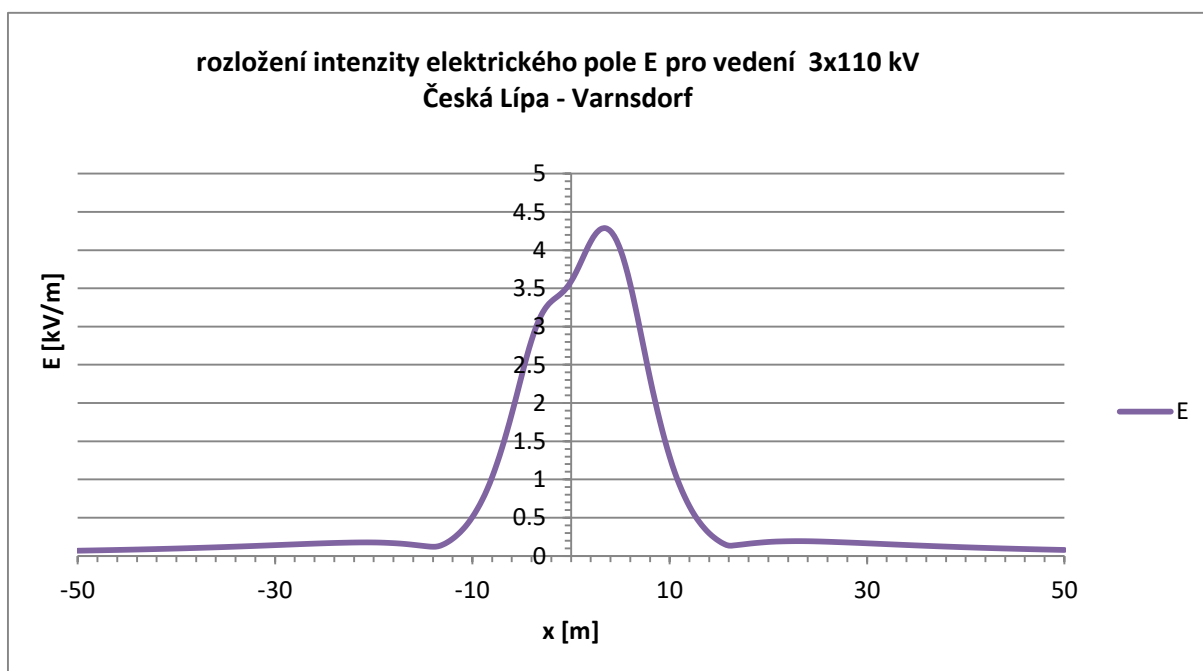
Obrázek 12 – závislost magnetické indukce na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV , proud vedením 110 kV se uvažuje 1x518 A



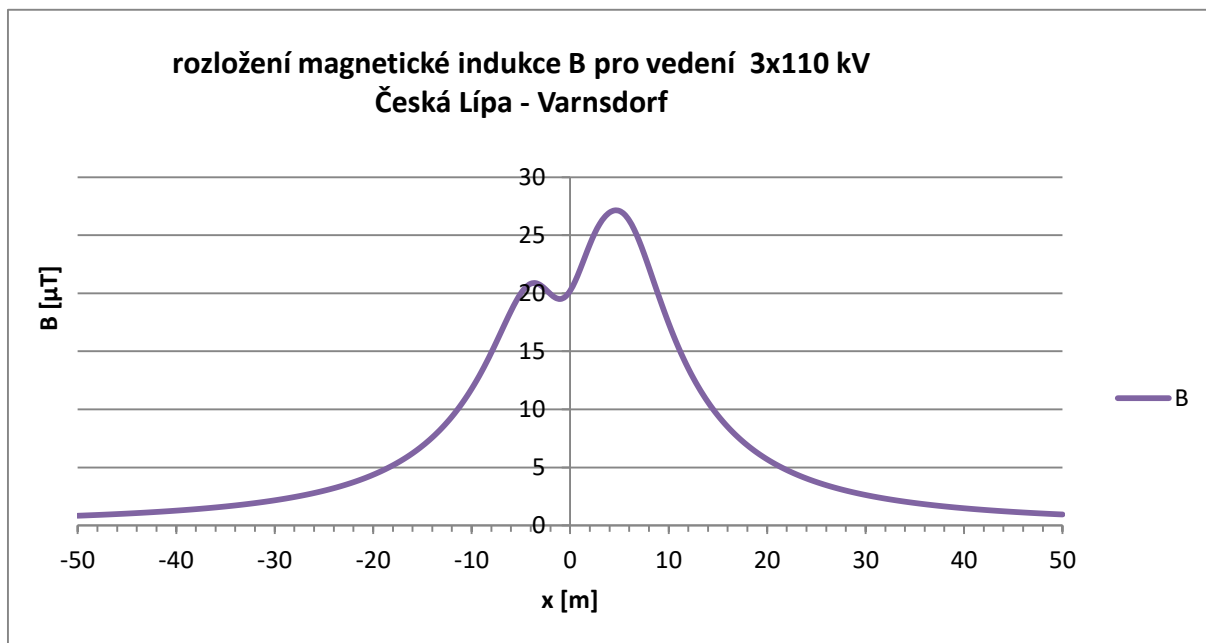
Obrázek 13 – závislost modifikované intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV + 1x35 kV při minimální výšce vodičů 6 m

4.4 Výpočty elektrického pole pro vedení 3x110 kV (SOUDEK - kotevní)

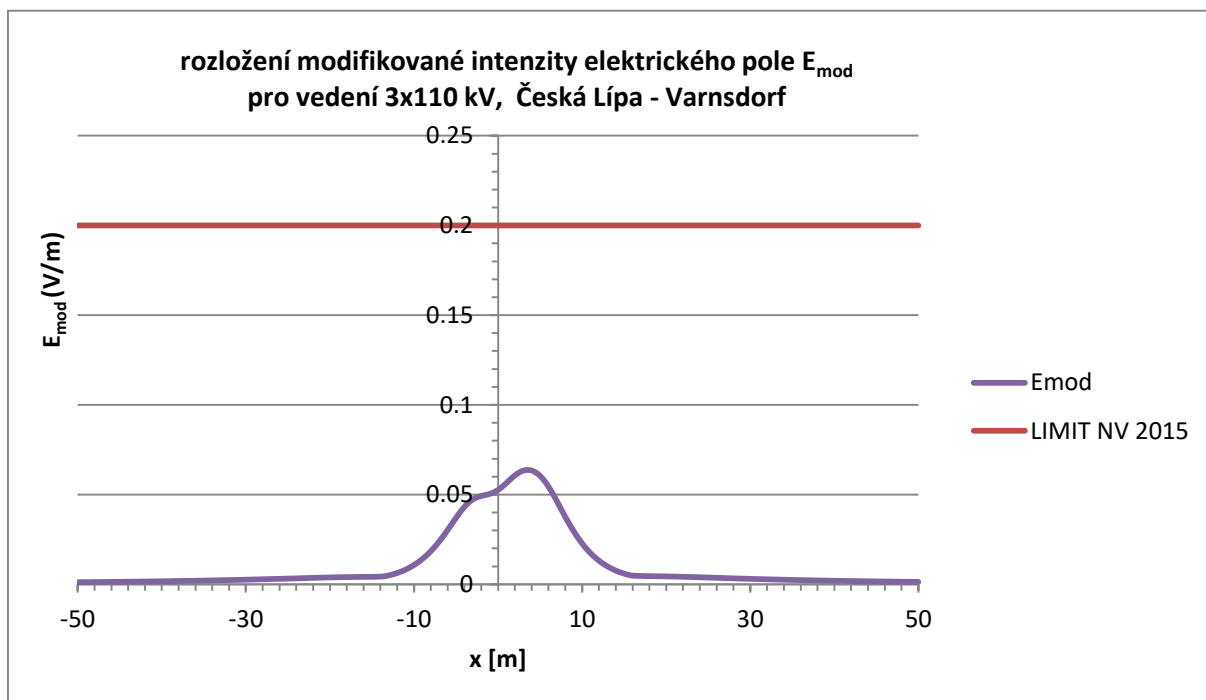
Na obrázku 16 je zobrazeno rozložení modifikované indukované intenzity elektrického pole E_{mod} v závislosti na vzdálenosti x (m) od průmětu střední fáze při výšce spodních fázových vodičů 6 m nad zemí. **Z hlediska průběhu intenzity el. pole pro vzdálenost živých částí vedení 6 m od terénu tedy lze konstatovat, že nejvyšší přípustná hodnota modifikované intenzity elektrického pole bude při dodržení vzdálenosti s rezervou splněna, viz obrázek 16 (maximální hodnota $E_{\text{mod}} = 0.064$ V/m).**



Obrázek 14 – závislost intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV



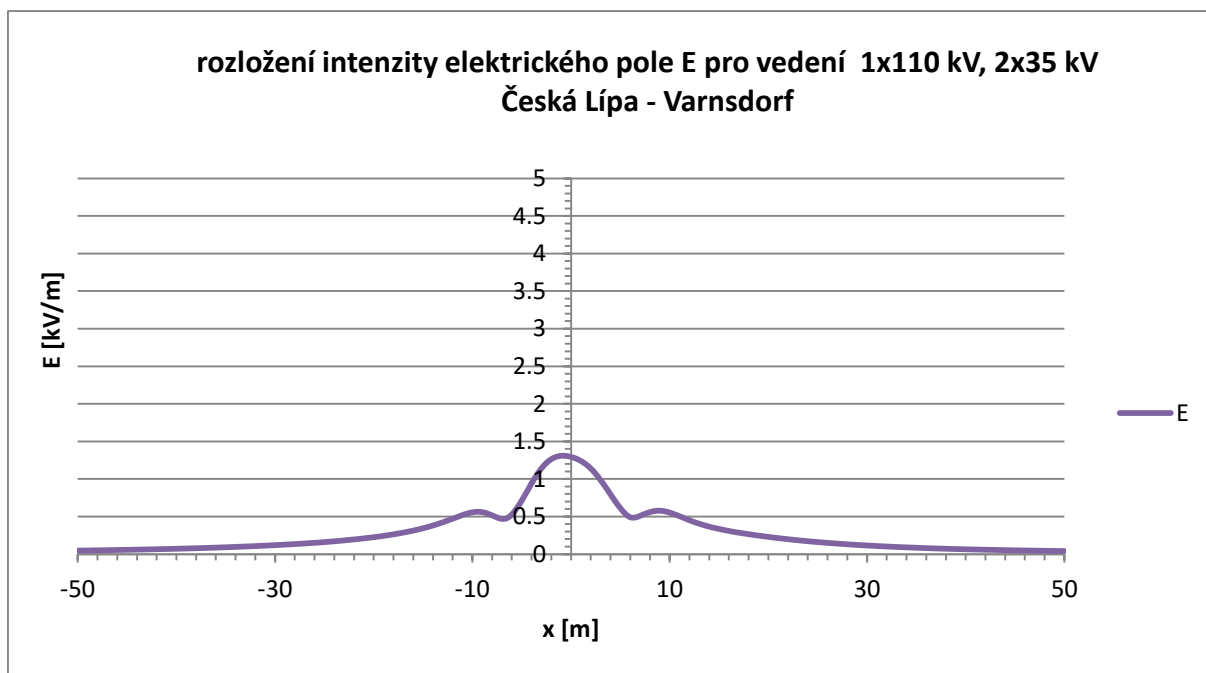
Obrázek 15 – závislost magnetické indukce na vzdálenosti od osy vedení 3x110 kV , proud vedením 110 kV se uvažuje 3x518 A



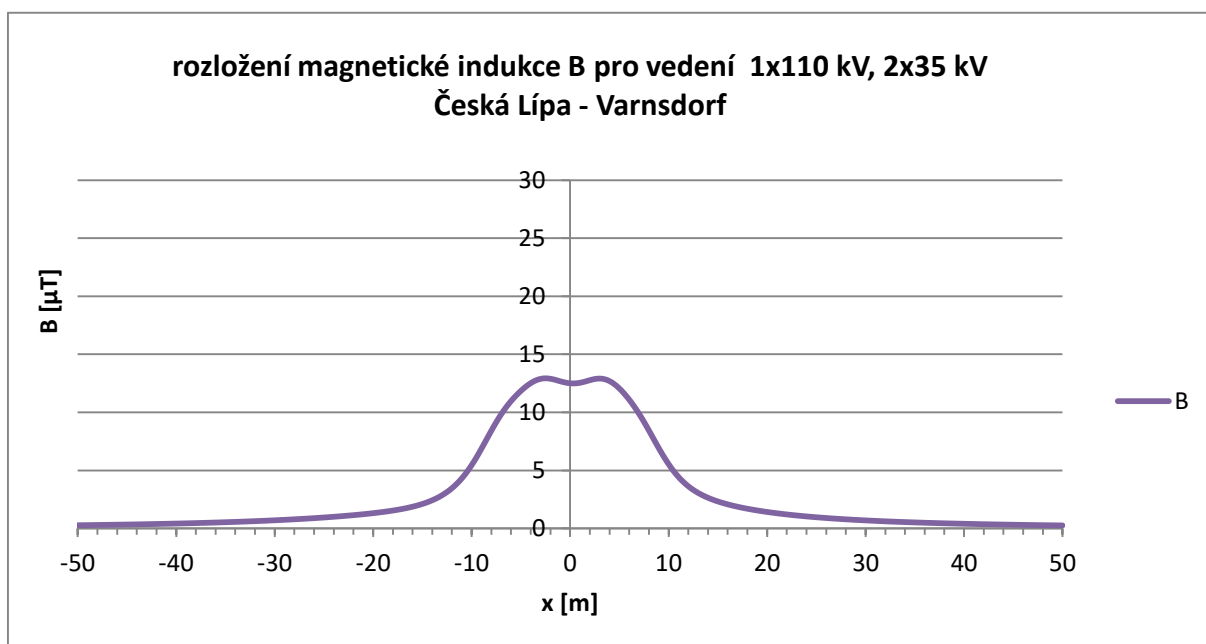
Obrázek 16 – závislost modifikované intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 3x110 kV při minimální výšce vodičů 6 m

4.5 Výpočty elektrického pole pro vedení 110 kV + 2x35 kV

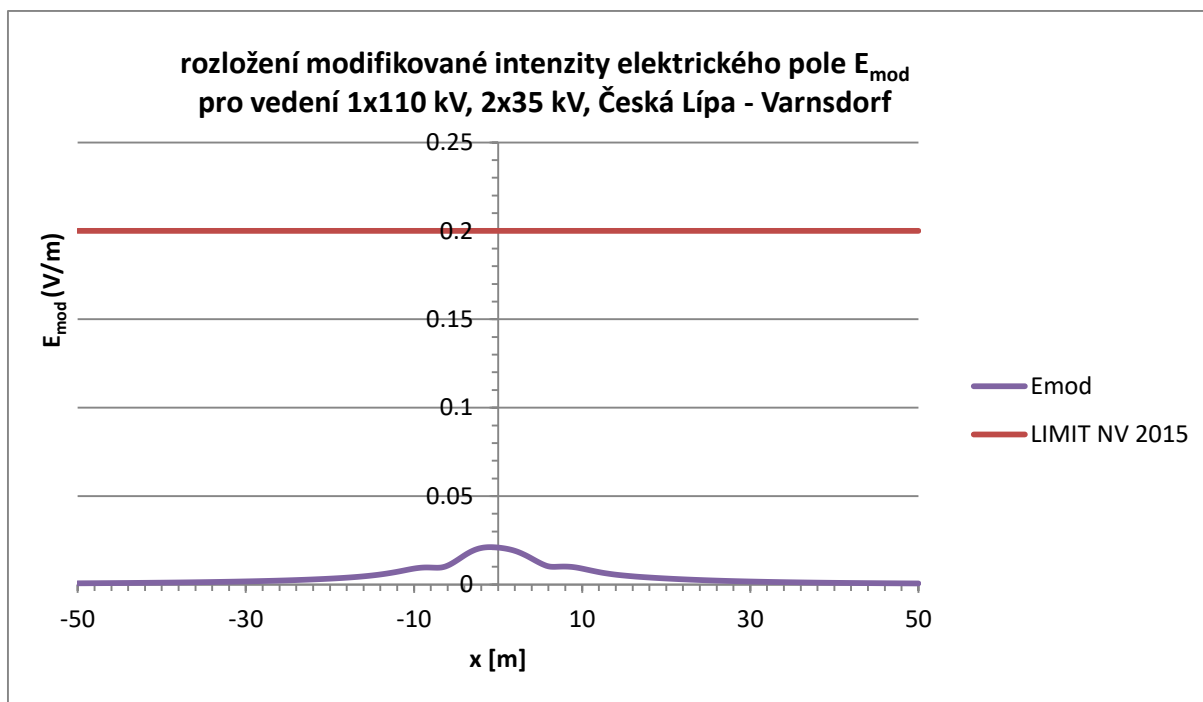
Na obrázku 19 je zobrazeno rozložení modifikované indukované intenzity elektrického pole E_{mod} v závislosti na vzdálenosti x (m) od průmětu střední fáze při výšce spodních fázových vodičů 6 m nad zemí. **Z hlediska průběhu intenzity el. pole pro vzdálenost živých částí vedení 6 m od terénu tedy lze konstatovat, že nejvyšší přípustná hodnota modifikované intenzity elektrického pole bude při dodržení vzdálenosti s rezervou splněna, viz obrázek 19 (maximální hodnota $E_{mod} = 0.02$ V/m).**



Obrázek 17 – závislost intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV a 2x35 kV



Obrázek 18 – závislost magnetické indukce na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV a 2x35 kV, proud vedením 110 kV se uvažuje 518 A a vedeními 35 kV 2x382 A



Obrázek 19 – závislost modifikované intenzity elektrického pole na vzdálenosti od osy vedení 1x110 kV a 2x35 kV při minimální výšce vodičů 6 m

5 Výsledky výpočtů pro kabely 110 kV

Budeme-li uvažovat referenční hodnoty intenzity elektrického pole $E = 0$ kV/m. (Vzhledem ke stínění kabelů vodivým pláštěm je zajištěna minimální expozice elektrickým polem) jsou referenční hodnoty magnetické indukce B :

Pro zaměstnance:

magnetická indukce 50 Hz B : 1000 μT .

Pro fyzické osoby v komunálním prostředí:

magnetická indukce 50 Hz B : 200 μT .

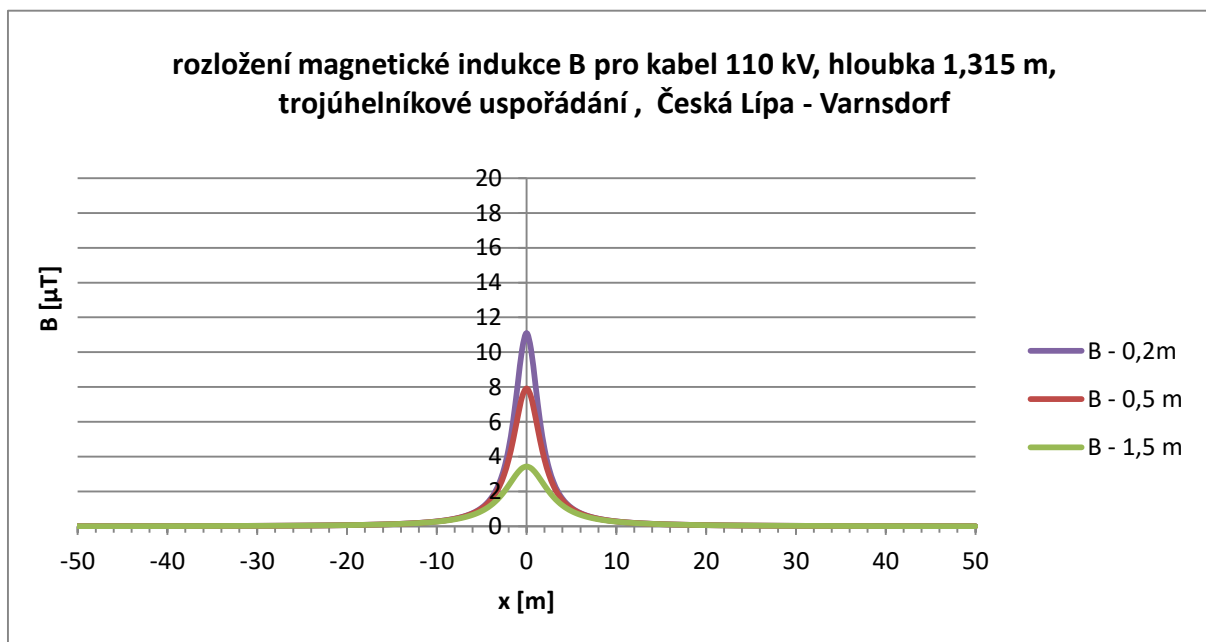
Protože stínění (plášť) kabelu účinně ruší vyzařování elektrického pole, pro ověření limitů v prostoru nad podzemním kolektorem stačí **prokázat, že expozice magnetickým polem nepřesahuje referenční hodnotu $B = 200 \mu\text{T}$.**

Výpočty se provádějí pro tyto výšky nad povrchem země 0,2 m, 0,5 m a 1,5 m.

Souběžné optické kabely v plastových trubkách nemají na rozložení magnetického pole vliv.

5.1 Varianta kabel v zemi – trojúhelníková formace

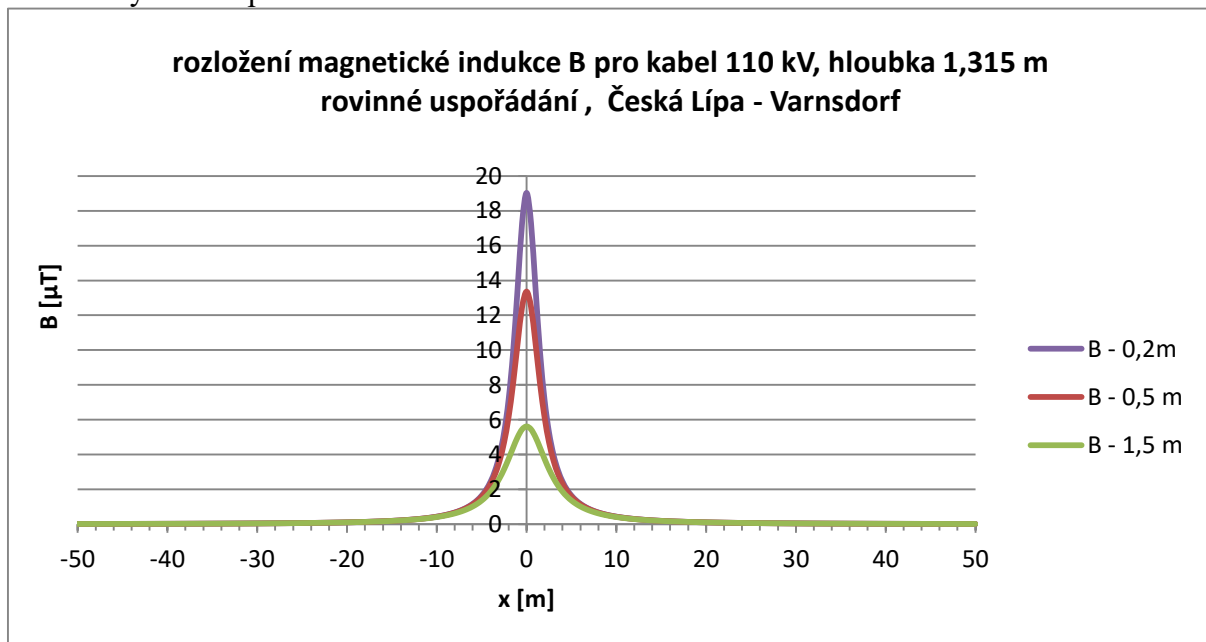
Z obrázku 20 je zřejmé, že referenční hodnota magnetické indukce $200\ \mu\text{T}$ není překročena v žádné výšce nad povrchem země.



Obrázek 20 – závislost magnetické indukce ve výšce 0,2 m, 0,5 m a 1,5 m nad zemí na vzdálenosti od osy kabelů 110 kV trojúhelníkové formace, proud kabelem se uvažuje 518 A

5.2 Varianta kabel v zemi – rovinná formace

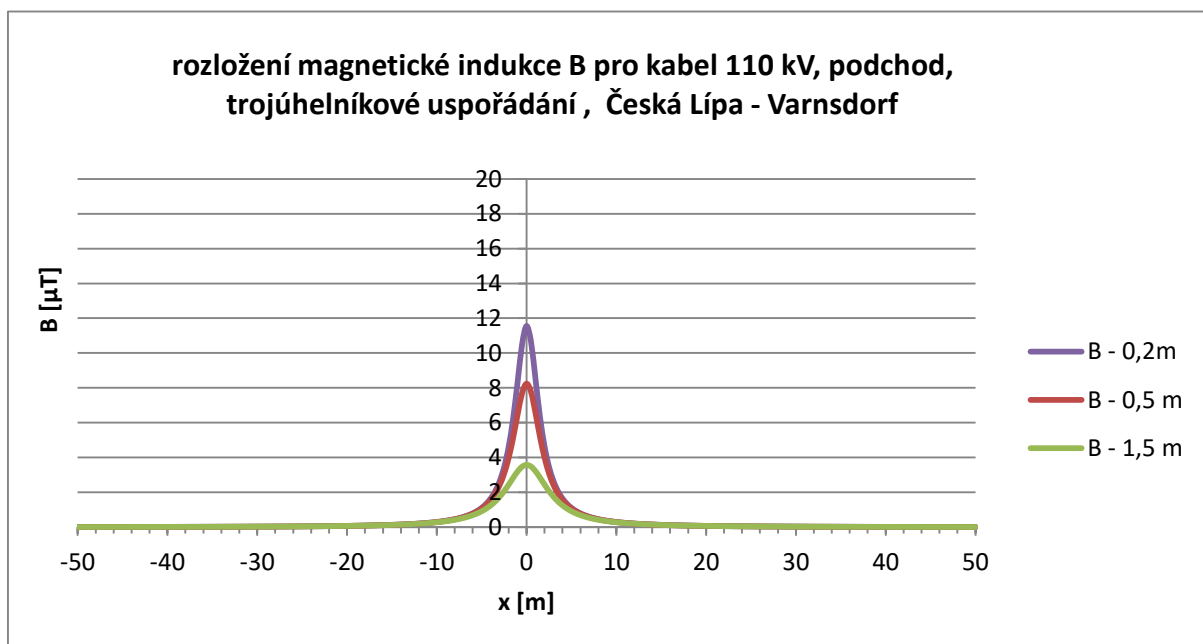
Z obrázku 21 je zřejmé, že referenční hodnota magnetické indukce $200\ \mu\text{T}$ není překročena v žádné výšce nad povrchem země.



Obrázek 21 – závislost magnetické indukce ve výšce 0,2 m, 0,5 m a 1,5 m nad zemí na vzdálenosti od osy kabelů 110 kV rovinná formace, proud kabelem se uvažuje 518 A

5.3 Varianta kabel v podchodu pod vozovkou – trojúhelníková formace

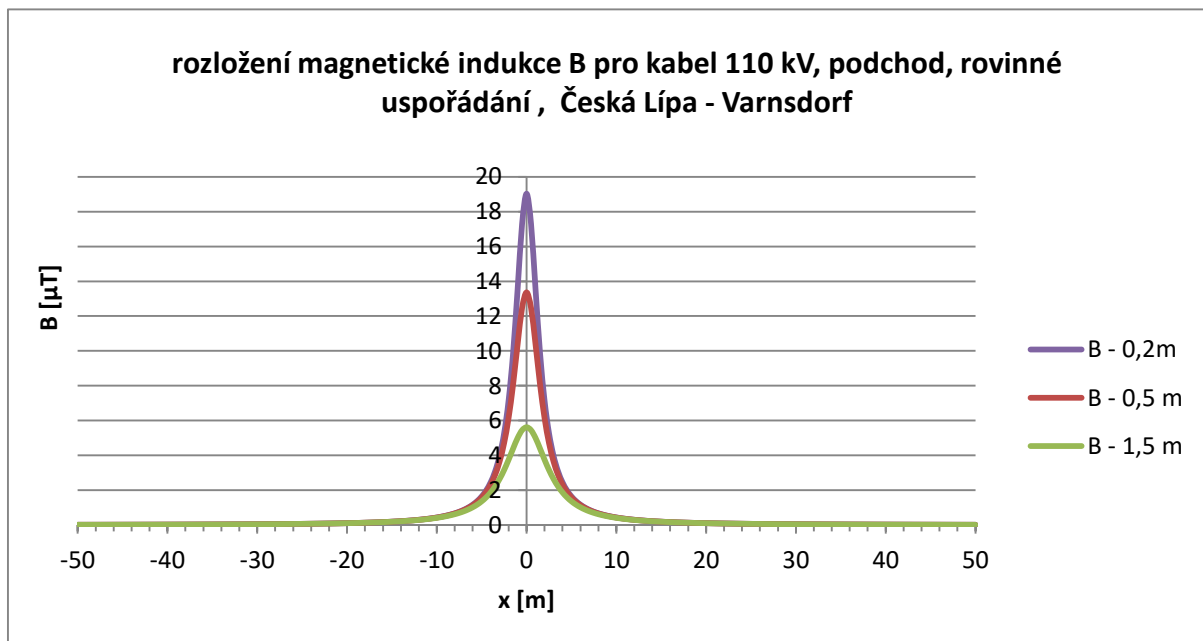
Z obrázku 22 je zřejmé, že referenční hodnota magnetické indukce $200\ \mu\text{T}$ není překročena v žádné výšce nad povrchem země.



Obrázek 22 – závislost magnetické indukce ve výšce 0,2 m, 0,5 m a 1,5 m nad zemí na vzdálenosti od osy kabelů 110 kV, podchod pod vozovkou trojúhelníkové formace, proud kabelem se uvažuje 518 A

5.4 Varianta kabel v podchodu – rovinná formace

Z obrázku 23 je zřejmé, že referenční hodnota magnetické indukce $200\ \mu\text{T}$ není překročena v žádné výšce nad povrchem země.



Obrázek 23 – závislost magnetické indukce ve výšce 0,2 m, 0,5 m a 1,5 m nad zemí na vzdálenosti od osy kabelů 110 kV, podchod - rovinná formace, proud kabelem je 518 A

6 Závěr

1. Byly provedeny výpočty intenzity elektrického pole E , magnetické indukce B a modifikované intenzity elektrického pole E_{mod} za účelem posouzení vedení 110 kV (Česká Lípa - Varnsdorf) s ohledem na hygienické požadavky Nařízení vlády č.291/2015 Sb. **Lze konstatovat, že nejvyšší přípustná hodnota modifikované intenzity elektrického pole $E_{mod} = 0,2$ V/m daná Nařízením vlády 291/2015 Sb nebyla překročena pro žádnou z uvažovaných variant.** Počítalo se s nejméně příznivým sledem fázových vodičů z hlediska velikosti elektromagnetického pole.

2. Bylo provedeno posouzení úseků kabelového vedení 110 kV (Česká Lípa - Varnsdorf) s ohledem na hygienické požadavky Nařízení vlády č.291/2015 Sb.

Pro posouzení limitů vzhledem k vodivému plášti kabelů je podstatná pouze magnetická složka elektromagnetického pole, protože elektrické pole je pláštěm kabelu odstíněno. Uvažovala se nejhorší možná varianta, kdy nedojde k odstínění magnetického pole pláštěm oboustranně uzemněného kabelu. Maximální vypočtená hodnota magnetické indukce je $B = 19 \mu\text{T}$ a tudíž **nebyla překročena referenční hodnota magnetického pole $200 \mu\text{T}$ ve smyslu Nařízení vlády 291/2015 Sb. pro žádnou variantu uložení kabelu pod zemí.**

7. Literatura

(1) Nařízení vlády č.291/2015 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením

(2) Věstník Ministerstva zdravotnictví – Částka 8/2017