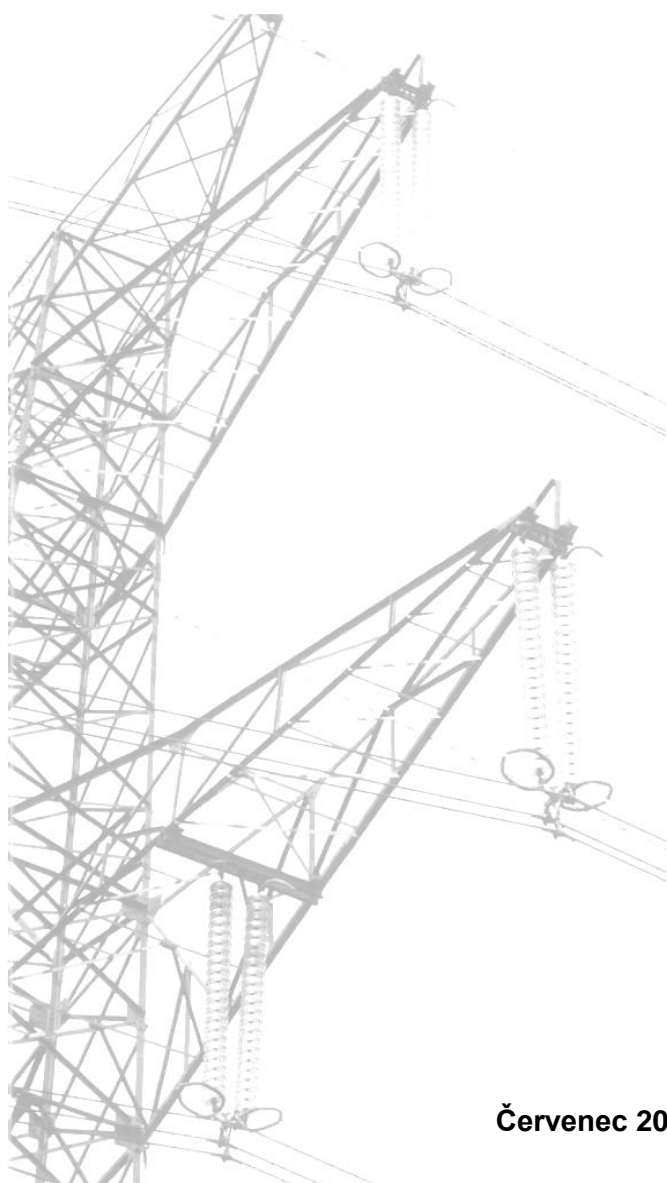




## **Příloha č. 5**

### **Posouzení vlivu neionizujícího záření**

Jan Světlík, DiS., ČEPS Invest, a.s.



**Červenec 2018**



Posouzení vlivu neionizujícího záření:

- Dvojité vedení 400 kV tvaru Dunaj (V456/803)
- Dvojité vedení 400 kV tvaru Dunaj (V456/803) v souběhu s dvojitým vedením 110 kV tvaru Soudek – 3,5 m

## Posouzení vlivu neionizujícího záření

### Dvojitě vedení 400 kV tvaru Dunaj (V456/803)

### EIA Nové vedení 2x400 kV KLT – odbočka z V403/803

Dokument slouží pro zpracování dokumentace potřebné při procesu EIA, přičemž pomocí výpočtů odborně posuzuje projektovanou výšku spodních fázových vodičů nad zemí vůči hygienickým požadavkům podle NV č. 291/2015 Sb. tak, aby byly splněny platné právní předpisy a technické normy.

Vypracoval:  
Jan Světlík, DiS.



Schválil:  
Dr. Ing. Vladimír Skoumal



22.1.2018

**Obsah:**

<b>I. Vliv elektromagnetického pole s frekvencí 50 Hz na člověka.....</b>	<b>- 3 -</b>
I.1. Nízkofrekvenční elektrická pole .....	- 3 -
I.2. Nízkofrekvenční magnetická pole.....	- 3 -
I.3. Modifikovaná intenzita elektrického pole .....	- 3 -
<b>II. Požadavky předpisů .....</b>	<b>- 4 -</b>
II.1. Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. ....	- 4 -
II.2. Metodický návod Ministerstva zdravotnictví.....	- 4 -
II.3. Technické normy .....	- 6 -
II.4. Návaznost předpisů.....	- 7 -
<b>III. Výpočty a výsledky.....</b>	<b>- 8 -</b>
III.1. Vstupní parametry vedení .....	- 8 -
III.2. Vyhodnocení minimální projektované výšky fázových vodičů.....	- 9 -
III.3. Určení pásma vlivu dle ČSN 33 2040 .....	- 11 -
<b>IV. Závěr.....</b>	<b>- 11 -</b>

## I. Vliv elektromagnetického pole s frekvencí 50 Hz na člověka

Vysokonapěťová energetická vedení kolem sebe vytvářejí elektrická a magnetická pole. Vzhledem k nízké frekvenci nesou kvanta těchto polí nízkou energii, která je nedostatečná pro rozbití chemické molekulární vazby. Taková pole jsou označována jako neionizující záření.

### I.1. Nízkofrekvenční elektrická pole

Tato pole působí na lidské tělo stejně jako na každou jinou látku, v jejíž struktuře se nacházejí nabité částice. Při působení těchto polí na lidské tělo se přemísťují elektrické náboje. Důsledkem toho je elektrický proud, který teče tělem do země.

### I.2. Nízkofrekvenční magnetická pole

Tato pole indukují v lidském těle cirkulující proudy, jejichž intenzita závisí na intenzitě vnějšího magnetického pole.

### I.3. Modifikovaná intenzita elektrického pole

Pro posouzení vlivu na zdraví je v NV č. 291/2015 Sb. zavedena veličina **modifikovaná intenzita elektrického pole  $E_{mod}$** , která komplexně postihuje vliv elektrického i magnetického nízkofrekvenčního pole. Nepřekročení nejvyšších přípustných hodnot modifikované intenzity elektrického pole zaručuje, že osoby, které jsou vystaveny neionizujícímu záření, jsou chráněny proti všem známým zdraví škodlivým účinkům zdroje elektromagnetického pole (energetického vedení).

## II. Požadavky předpisů

### II.1. Nařízení vlády č. 291/2015 Sb.

Od 18. 11. 2015 je v účinnosti nařízení vlády č. 291/2015 Sb. [1] zrušující nařízení vlády č. 1/2008 Sb. a stanovující nejvyšší přípustné hodnoty a referenční hodnoty pro účinky způsobené elektrickou stimulací tkáně polem ve frekvenčním pásmu od 0 Hz do 10 MHz. Nejvyšší přípustná hodnota je dána **modifikovanou intenzitou elektrického pole  $E_{\text{mod}}$**  indukovaného v tkáni. Pro frekvenci 50 Hz vyplývají tyto nejvyšší přípustné hodnoty:

	$E_{\text{mod}} \text{ (V.m}^{-1}\text{)}$
pro zaměstnance	1
pro fyzické osoby v komunálním prostředí	0,2

Tab. 1 Nejvyšší přípustné hodnoty modifikované intenzity elektrického pole

Dodržení nejvyšších přípustných hodnot modifikované intenzity elektrického pole indukovaného v těle se zjišťuje výpočtem nebo měřením.

Referenční hodnoty jsou dány **intenzitou elektrického pole  $E^{\text{limit}}$**  a **magnetickou indukcí  $B^{\text{limit}}$** . Budeme-li pro příklad uvažovat referenční hodnoty intenzity elektrického pole  $E^{\text{limit}}$  a magnetické indukce  $B^{\text{limit}}$  vždy pro jednu z nich (druhá je nulová z důvodu vyloučení ovlivnění fyzikálních veličin), jsou pro frekvenci 50 Hz uvažovány tyto referenční hodnoty:

	$E^{\text{limit}} \text{ (V.m}^{-1}\text{)}$	$B^{\text{limit}} \text{ (}\mu\text{T)}$
pro zaměstnance	10 000	1 000
pro fyzické osoby v komunálním prostředí	2 000	200

Tab. 2 Referenční hodnoty intenzity elektrického pole a magnetické indukce

Nepřekročení referenční hodnoty zaručuje, že nejsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty. V případě, že z porovnání vypočtených nebo měřených hodnot příslušných veličin vyplýne, že referenční hodnoty jsou překračovány, musí být výpočtem nebo měřením prokázáno, že nedojde k překračování nejvyšších přípustných hodnot modifikované intenzity elektrického pole  $E_{\text{mod}}$  indukovaného v tkáni.

### II.2. Metodický návod Ministerstva zdravotnictví

Metodický návod [2] podrobně rozvádí postup posouzení expozice a postup výpočtu modifikované intenzity elektrického pole. Návod byl vydán Ministerstvem zdravotnictví v roce 2017.

Modifikovaná intenzita elektrického pole je určena indukovanou intenzitou elektrického pole  $E$ , která projde filtrem s frekvenční odezvou

$$G(f) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,05} \cdot \frac{\left(1 + j \frac{f}{f_1}\right)}{\left(1 + j \frac{f}{f_0}\right) \left(1 + j \frac{f}{f_2}\right)}, \quad (1)$$

v případě expozice hlavy nebo

$$G(f) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,8} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_2}}, \quad (2)$$

v případě expozice těla s výjimkou hlavy, kde  $f_0 = 25$  Hz;  $f_1 = 400$  Hz;  $f_2 = 3000$  Hz. Filtr (1) je nastaven tak, aby chránil exponovanou osobu před excitací nervů v oku a středním uchu a používá se pouze při expozici těchto orgánů. V ostatních případech se použije filtr (2).

Pro určení modifikované intenzity elektrického pole  $E_{\text{mod}}$  je nejprve třeba určit vlastní intenzitu elektrického pole  $E$  indukovanou v tkáni vnějším elektromagnetickým polem. Ta se stanovuje výpočtem. V případě expozice magnetickému poli s magnetickou indukcí  $B^{\text{ext}}$  je intenzita elektrického pole vyjádřena vztahem

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

kde  $dB^{\text{ext}}/dt$  je časová změna magnetické indukce a  $K_B$  je koeficient zohledňující pozici v těle, kde intenzitu elektrického pole  $E$  hledáme.

Analogicky lze vyjádřit intenzitu elektrického pole  $E$  i v případě indukce vnějším elektrickým polem  $E^{\text{ext}}$  vztahem

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

kde  $\epsilon_0 \approx 8,9 \cdot 10^{-12}$  F.m<sup>-1</sup> je permitivita vakua,  $\sigma \approx 0,2$  S.m<sup>-1</sup> je průměrná elektrická vodivost tkáně  $dE^{\text{ext}}/dt$  je časová změna vnější intenzity elektrického pole a  $K_E$  je koeficient zohledňující pozici v těle, kde intenzitu elektrického pole  $E$  hledáme.

Koeficienty  $K_E$  a  $K_B$  jsou stanoveny pro hygienicky nejhorší situaci, kdy je tělo vystaveno homogennímu magnetickému poli kolmému k hrudi a homogennímu elektrickému poli ve směru od hlavy k nohám takto:

	$K_E$ (-)	$K_B$ (m)
v hlavě	66	0,05
v krku	100	0,12
v hrudi	70	0,13

Tab. 3 Hodnoty koeficientů pro výpočet intenzity elektrického pole

Při souběžné expozici elektrickému a magnetickému poli se expozice s magnetickou indukcí  $B^{\text{ext}}$  a indukcí vnějším elektrickým polem  $E^{\text{ext}}$  sečtou v absolutních hodnotách, čímž je vystižen hygienicky nejméně příznivý případ.

Pro účely hodnocení expozice podle nařízení vlády č. 291/2015 Sb. se exponovanou osobou míní osoba o maximální výšce 1,8 m. Pro uvážení hygienicky nejhoršího případu se dále předpokládá, že chodidla osoby jsou vodivě spojena se zemí, tedy bosé nohy na vlhkém terénu.

Modifikovaná intenzita elektrického pole  $E_{\text{mod}}$  je pak určena indukovanou intenzitou elektrického pole  $E$ , která projde filtrem s frekvenční odezvou. Pro  $f=50$  Hz je hodnota filtru v případě expozice hlavy rovna 6,4.

$$E_{\text{mod}} = 6,4 \cdot E \quad [V \cdot m^{-1}]$$

### II.3. Technické normy

#### ČSN 33 2040 z ledna 1993

Tato platná norma definuje pásmo vlivu elektrického pole od zařízení elektrizační soustavy jako prostor v okolí zařízení, kde intenzita elektrického pole ve výši 1,8 m nad zemí je vyšší než 1 kV/m. Obdobně norma definuje pásmo vlivu magnetického pole od zařízení elektrizační soustavy jako prostor v okolí zařízení, kde magnetická indukce je vyšší než 0,1 mT.

V pásmech vlivu elektroenergetických zařízení veřejně přístupných nesmí intenzita elektrického pole ve výši 1,8 m nad zemí překročit hodnotu 10 kV/m. V pásmu vlivu elektroenergetických zařízení v prostorách přístupných osobám nesmí magnetická indukce převýšit hodnotu 0,5 mT.

#### Soubor norem ČSN EN 50341

Tento soubor technických norem se odkazuje na nařízení vlády (viz kapitola II.1 tohoto posouzení).

#### PNE 33 3300 z listopadu 2016

Tato platná norma definuje nejkratší vzdálenosti vodičů od země ve volné krajině. Dle tabulky 5.9 je nejkratší vzdálenost k zemi ve volné krajině s normálním terénním profilem a na volně přístupných místech 8 m (pro vedení napěťové hladiny 400 kV).

Norma se odkazuje na platné nařízení vlády udávající tzv. indukovanou proudovou hustotu v mA/m<sup>2</sup> pro místa přístupná veřejnosti a pro prostory nepřístupné veřejnosti. Pro dodržení požadovaných hodnot hygienických limitů je potřeba větší výška vodičů nad terénem, než postačuje podle této normy. Vztahuje se i na všechny ostatní případy styku vedení s objekty, kde může dojít k pobytu osob pod nebo blízko vedení.



#### II.4. Návaznost předpisů

Zákon č. 258/2000 Sb., v platném znění zapracovává práva a povinnosti osob v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví. Nařizuje provádět taková technická a organizační opatření, aby expozice fyzických osob v rozsahu upraveném prováděcím právním předpisem nepřekračovaly nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření.

Pro provozovatele PS ze zákona vyplývá povinnost dodržení ustanovení uvedených v nařízení vlády č. 291/2015 Sb. Toto nařízení zapracovává a upravuje hygienické limity neionizujícího záření ( $E_{mod}$ ), metody a způsob jejich zjišťování a hodnocení.

Technické normy (ČSN, PNE apod.) obecně podrobněji upravují technické požadavky a činnosti v návaznosti na předpisy vyšší právní síly (zákony, nařízení vlády apod.). V případech, kde zákon či nařízení vlády podrobně řeší oblast paralelně řešenou technickou normou, je nezbytné upřednostnit znění předpisu s vyšší právní silou.

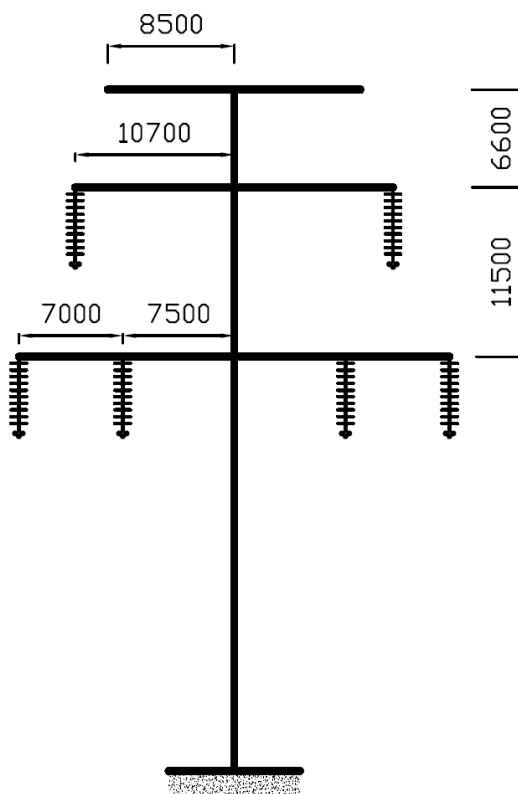
### III. Výpočty a výsledky

#### III.1. Vstupní parametry vedení

##### Dvojité vedení tvaru Dunaj

(posuzované vedení V456/803 v celé trase mimo úsek lomový bod R10 – R15 a R19 – R20)

<b>Napěťová soustava:</b>	3-f s přímo uzemněným nulovým bodem – TT, 50 Hz
<b>Jmenovité provozní napětí:</b>	400 kV
<b>Jmenovitý proud ve fázi:</b>	2500 A
<b>Konstrukce fázových vodičů:</b>	svazek tří lanových vodičů AlFe o průměru 30,6 mm uspořádaných do rovnostranného trojúhelníku, krok svazku 400 mm
<b>Konstrukce zemnicího lana:</b>	zemnicí lano AlFe o průměru 19,5 mm
<b>Uspořádání hlavy stožáru:</b>	stožáry ocelové, příhradové, pro dvojnásobné vedení 400 kV tvaru „Dunaj“ (viz obrázek č. 1)
<b>Označení vedení:</b>	V456/803



Obr. 1 Uspořádání hlavy stožáru tvaru Dunaj

<b>Šířka ochranného pásma:</b>	<b>20 m</b> od průmětu krajní fáze <b>400 kV</b> (podle zákona č. 458/2000 Sb., energetický zákon v platném znění).
<b>Šíře koridoru:</b>	69,4 m v běžné trase.
<b>Projektovaná minimální výška fázových vodičů nad normálním terénním profilem:</b>	<b>12,5 m</b>

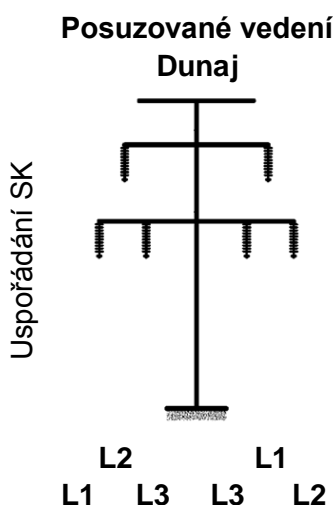
### III.2. Vyhodnocení minimální projektované výšky fázových vodičů

Výpočty byly provedeny pomocí aplikace v programu MS EXCEL založené na výpočtech elektrických a magnetických polí pomocí kapacitních koeficientů a Maxwellových rovnic. Přesnost výstupů této aplikace byla ověřena srovnáním s výsledky měření a rovněž s výstupy jiných respektovaných výpočetních aplikací.

Hodnoty modifikované intenzity elektrického pole byly vypočítány ve výšce nad zemí odpovídající osobě o maximální výšce 1,8 m.

Ve výpočtu intenzity elektrického pole indukovaného v tkáni je zvolen přísnější filtr ( $G = 6,4$ ) pro oči a střední ucho. Proto je ve výsledcích výpočtu uveden případ pro expozici hlavy.

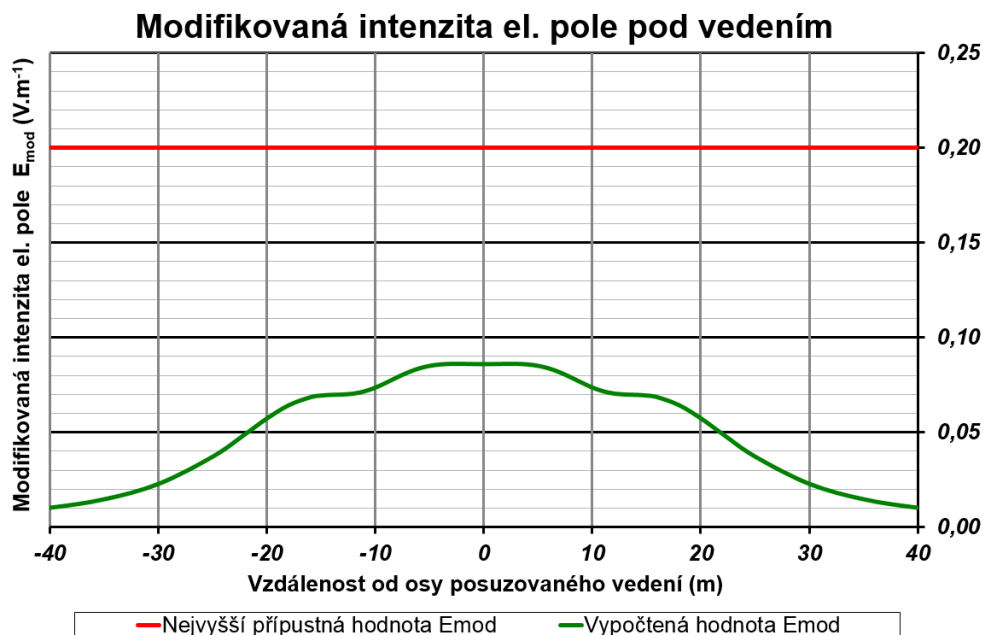
Dále bylo zkoumáno, jaký vliv má vzájemné uspořádání fázových vodičů. Nejvyšší hodnoty modifikované intenzity elektrického pole byly prokázány u následujícího uspořádání:



Uvažování daného uspořádání fázových vodičů při výpočtu zajišťuje, že při minimální projektované výšce fázových vodičů nad normálním terénním profilem bude vliv elektromagnetického pole při jakémkoliv jiném sledu fází menší anebo stejný. Proto je dále uvažováno s uvedeným uspořádáním.

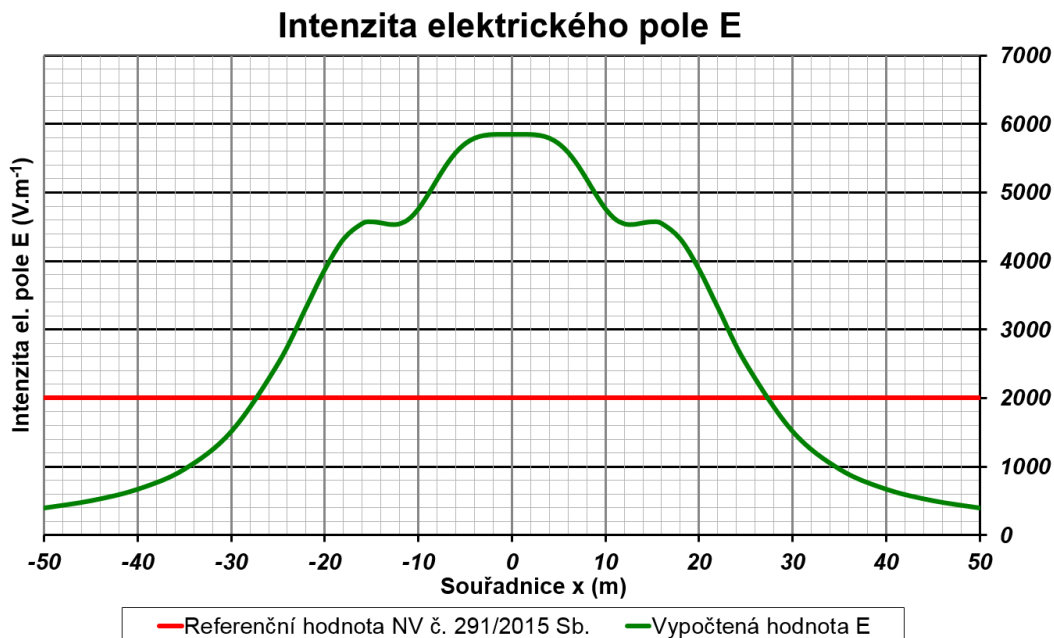
**Minimální projektovaná výška spodních fázových vodičů** nad normálním terénním profilem hodnoty **12,5 m** pro dvojitě vedení V456/803 tvaru Dunaj **vyhovuje** hygienickému limitu modifikované intenzity elektrického pole  $E_{mod}$  stanovené dle NV č. 291/2015 Sb. a metodického návodu. Minimální projektovaná výška spodních fázových vodičů je zvolena s ohledem na umožnění zemědělských a jiných aktivit a zajištění požadavků na bezpečnost osob, zvířat a objektů pod vedením a jeho těsné blízkosti (v prostoru ochranného pásma vedení).

Průběh modifikované intenzity elektrického pole pod **posuzovaným vedením V456/803** v závislosti na vzdálenosti od osy vedení je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2 Modifikovaná intenzita elektrického pole v závislosti na vzdálenosti od osy posuzovaného vedení V456/803

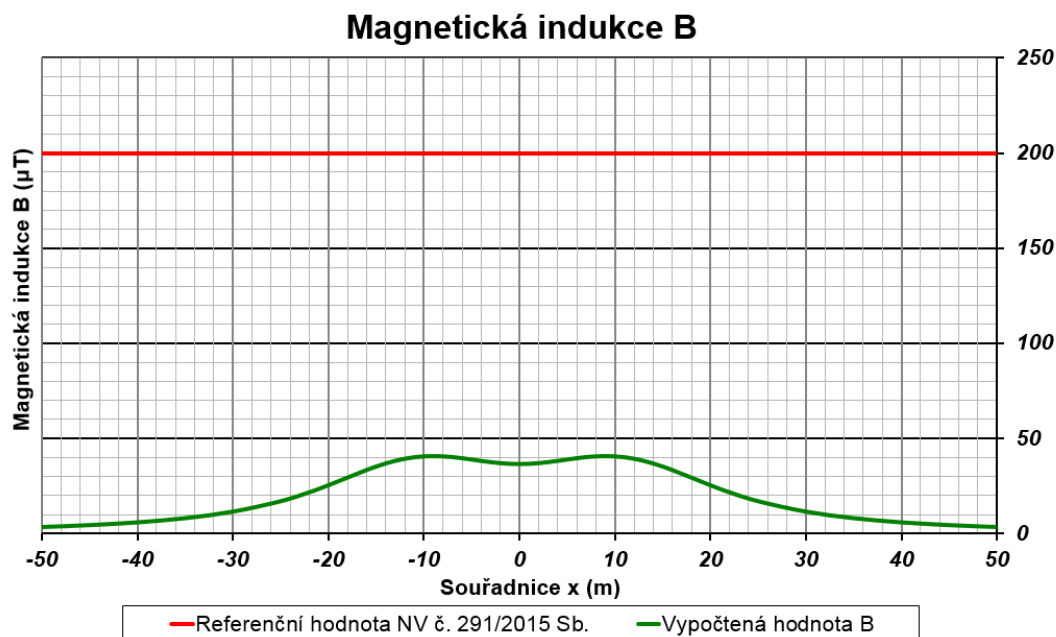
Průběh intenzity elektrického pole pod **posuzovaným vedením V456/803** v závislosti na vzdálenosti od osy vedení je znázorněn na obr. 3.



Obr. 3 Intenzita elektrického pole v závislosti na vzdálenosti od osy posuzovaného vedení V456/803

Průběh intenzity elektrického pole zobrazen na obr. 3 překračuje referenční hodnotu  $E^{\text{limit}}$  dle NV č. 291/2015 Sb. Z tohoto důvodu je výpočtem dle NV č. 291/2015 Sb. prokázáno a na obr. 2 zobrazeno, že nedojde k překročení nejvyšší přípustné hodnoty modifikované intenzity elektrického pole  $E_{\text{mod}}$ .

Průběh magnetické indukce pod **posuzovaným vedením V456/803** v závislosti na vzdálenosti od osy vedení je znázorněn na obr. 4.



Obr. 4 Magnetická indukce v závislosti na vzdálenosti od osy posuzovaného vedení V456/803

Průběh magnetické indukce zobrazen na obr. 4 nepřekračuje referenční hodnotu  $B^{\text{limit}}$  dle NV č. 291/2015 Sb.

### III.3. Určení pásma vlivu dle ČSN 33 2040

Pro minimální projektovanou výšku fázových vodičů nad normálním terénním profilem byla pro posuzované vedení V456/803 určena širší pásma vlivu elektrického a magnetického pole. Pásmo vlivu elektrického pole působí do vzdálenosti 34 m na obě strany od osy posuzovaného vedení. Pro stanovené pásmo vlivu nepřekračuje intenzita elektrického pole v žádném bodě ve výšce 1,8 m nad zemí hodnotu  $10 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Vliv magnetického pole nedosahuje v žádném bodě ve výšce 1,8 m nad zemí ani limitní hodnoty  $100 \text{ }\mu\text{T}$  (tj.  $0,1 \text{ mT}$ ), kterou je pásmo vlivu magnetického pole vymezeno.

## IV. Závěr

**Dodržením projektované minimální výšky spodních fázových vodičů 12,5 m nad zemí bude zaručeno, že osoby, které se nacházejí v blízkosti posuzovaného energetického vedení, jsou bezpečně chráněny proti všem známým zdraví škodlivým účinkům zdroje elektromagnetického pole v souladu s nařízením vlády č. 291/2015 Sb. a platnými technickými normami ČSN 33 2040 a PNE 33 3300.**

**Literatura:**

- [1] Nařízení vlády č. 291/2015 Sb., v platném znění
- [2] Metodický návod k postupu podle § 35 a 36 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů, a nařízení vlády č. 291/2015 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením ze dne 11. 7.2017, č.j.: MZDR 509/2017-19/OVZ (vyšlo ve Věstníku ministerstva zdravotnictví ČR částka 8/2017, dne 28. července 2017)
- [3] Dědek, L.: Teorie elektromagnetického pole, VUT Brno, 1990, Brno.
- [4] ČSN 33 2040 – Ochrana před účinky elektromagnetického pole 50 Hz v pásmu vlivu zařízení elektrizační soustavy, leden 1993.
- [5] ČSN EN 50341-3 ZMĚNA Z2 Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV – Část 3: Soubor Národních normativních aspektů
- [6] ČSN EN 50341-1 ed. 2 Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV – Část 1: Obecné požadavky – Společné specifikace
- [7] PNE 33 3300 Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV

## Posouzení vlivu neionizujícího záření

**Dvojité vedení 400 kV tvaru Dunaj (V456/803)  
v souběhu s dvojitým vedením 110 kV tvaru  
Soudek - 3,5 m**

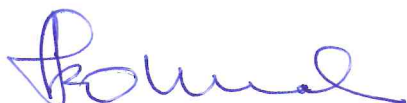
**EIA Nové vedení 2x400 kV KLT – odbočka z V403/803**

Dokument slouží pro zpracování dokumentace potřebné při procesu EIA, přičemž pomocí výpočtů odborně posuzuje projektovanou výšku spodních fázových vodičů nad zemí vůči hygienickým požadavkům podle NV č. 291/2015 Sb. tak, aby byly splněny platné právní předpisy a technické normy.

Vypracoval:  
Jan Světlík, DiS.



Schválil:  
Dr. Ing. Vladimír Skoumal



22.1.2018

**Obsah:**

<b>I. Vliv elektromagnetického pole s frekvencí 50 Hz na člověka.....</b>	<b>- 3 -</b>
I.1. Nízkofrekvenční elektrická pole .....	- 3 -
I.2. Nízkofrekvenční magnetická pole.....	- 3 -
I.3. Modifikovaná intenzita elektrického pole .....	- 3 -
<b>II. Požadavky předpisů .....</b>	<b>- 4 -</b>
II.1. Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. ....	- 4 -
II.2. Metodický návod Ministerstva zdravotnictví.....	- 4 -
II.3. Technické normy .....	- 6 -
II.4. Návaznost předpisů.....	- 7 -
<b>III. Výpočty a výsledky.....</b>	<b>- 8 -</b>
III.1. Vstupní parametry vedení .....	- 8 -
III.2. Vyhodnocení minimální projektované výšky fázových vodičů.....	- 9 -
III.3. Určení pásma vlivu dle ČSN 33 2040 .....	- 12 -
<b>IV. Závěr.....</b>	<b>- 12 -</b>



## I. Vliv elektromagnetického pole s frekvencí 50 Hz na člověka

Vysokonapěťová energetická vedení kolem sebe vytvářejí elektrická a magnetická pole. Vzhledem k nízké frekvenci nesou kvanta těchto polí nízkou energii, která je nedostatečná pro rozbití chemické molekulární vazby. Taková pole jsou označována jako neionizující záření.

### I.1. Nízkofrekvenční elektrická pole

Tato pole působí na lidské tělo stejně jako na každou jinou látku, v jejíž struktuře se nacházejí nabitě částice. Při působení těchto polí na lidské tělo se přemísťují elektrické náboje. Důsledkem toho je elektrický proud, který teče tělem do země.

### I.2. Nízkofrekvenční magnetická pole

Tato pole indukují v lidském těle cirkulující proudy, jejichž intenzita závisí na intenzitě vnějšího magnetického pole.

### I.3. Modifikovaná intenzita elektrického pole

Pro posouzení vlivu na zdraví je v NV č. 291/2015 Sb. zavedena veličina **modifikovaná intenzita elektrického pole  $E_{mod}$** , která komplexně postihuje vliv elektrického i magnetického nízkofrekvenčního pole. Nepřekročení nejvyšších přípustných hodnot modifikované intenzity elektrického pole zaručuje, že osoby, které jsou vystaveny neionizujícímu záření, jsou chráněny proti všem známým zdraví škodlivým účinkům zdroje elektromagnetického pole (energetického vedení).

## II. Požadavky předpisů

### II.1. Nařízení vlády č. 291/2015 Sb.

Od 18. 11. 2015 je v účinnosti nařízení vlády č. 291/2015 Sb. [1] zrušující nařízení vlády č. 1/2008 Sb. a stanovující nejvyšší přípustné hodnoty a referenční hodnoty pro účinky způsobené elektrickou stimulací tkáně polem ve frekvenčním pásmu od 0 Hz do 10 MHz. Nejvyšší přípustná hodnota je dána **modifikovanou intenzitou elektrického pole  $E_{\text{mod}}$**  indukovaného v tkáni. Pro frekvenci 50 Hz vyplývají tyto nejvyšší přípustné hodnoty:

	$E_{\text{mod}} \text{ (V.m}^{-1}\text{)}$
pro zaměstnance	1
pro fyzické osoby v komunálním prostředí	0,2

Tab. 1 Nejvyšší přípustné hodnoty modifikované intenzity elektrického pole

Dodržení nejvyšších přípustných hodnot modifikované intenzity elektrického pole indukovaného v těle se zjišťuje výpočtem nebo měřením.

Referenční hodnoty jsou dány **intenzitou elektrického pole  $E^{\text{limit}}$**  a **magnetickou indukcí  $B^{\text{limit}}$** . Budeme-li pro příklad uvažovat referenční hodnoty intenzity elektrického pole  $E^{\text{limit}}$  a magnetické indukce  $B^{\text{limit}}$  vždy pro jednu z nich (druhá je nulová z důvodu vyloučení ovlivnění fyzikálních veličin), jsou pro frekvenci 50 Hz uvažovány tyto referenční hodnoty:

	$E^{\text{limit}} \text{ (V.m}^{-1}\text{)}$	$B^{\text{limit}} \text{ (}\mu\text{T)}$
pro zaměstnance	10 000	1 000
pro fyzické osoby v komunálním prostředí	2 000	200

Tab. 2 Referenční hodnoty intenzity elektrického pole a magnetické indukce

Nepřekročení referenční hodnoty zaručuje, že nejsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty. V případě, že z porovnání vypočtených nebo měřených hodnot příslušných veličin vyplývá, že referenční hodnoty jsou překračovány, musí být výpočtem nebo měřením prokázáno, že nedojde k překračování nejvyšších přípustných hodnot modifikované intenzity elektrického pole  $E_{\text{mod}}$  indukovaného v tkáni.

### II.2. Metodický návod Ministerstva zdravotnictví

Metodický návod [2] podrobně rozvádí postup posouzení expozice a postup výpočtu modifikované intenzity elektrického pole. Návod byl vydán Ministerstvem zdravotnictví v roce 2017.

Modifikovaná intenzita elektrického pole je určena indukovanou intenzitou elektrického pole  $E$ , která projde filtrem s frekvenční odezvou

$$G(f) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,05} \cdot \frac{\left(1 + j \frac{f}{f_1}\right)}{\left(1 + j \frac{f}{f_0}\right) \left(1 + j \frac{f}{f_2}\right)}, \quad (1)$$

v případě expozice hlavy nebo

$$G(f) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,8} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_2}}, \quad (2)$$

v případě expozice těla s výjimkou hlavy, kde  $f_0 = 25$  Hz;  $f_1 = 400$  Hz;  $f_2 = 3000$  Hz. Filtr (1) je nastaven tak, aby chránil exponovanou osobu před excitací nervů v oku a středním uchu a používá se pouze při expozici těchto orgánů. V ostatních případech se použije filtr (2).

Pro určení modifikované intenzity elektrického pole  $E_{\text{mod}}$  je nejprve třeba určit vlastní intenzitu elektrického pole  $E$  indukovanou v tkáni vnějším elektromagnetickým polem. Ta se stanovuje výpočtem. V případě expozice magnetickému poli s magnetickou indukcí  $B^{\text{ext}}$  je intenzita elektrického pole vyjádřena vztahem

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

kde  $dB^{\text{ext}}/dt$  je časová změna magnetické indukce a  $K_B$  je koeficient zohledňující pozici v těle, kde intenzitu elektrického pole  $E$  hledáme.

Analogicky lze vyjádřit intenzitu elektrického pole  $E$  i v případě indukce vnějším elektrickým polem  $E^{\text{ext}}$  vztahem

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

kde  $\epsilon_0 \approx 8,9 \cdot 10^{-12}$  F.m<sup>-1</sup> je permitivita vakua,  $\sigma \approx 0,2$  S.m<sup>-1</sup> je průměrná elektrická vodivost tkáně  $dE^{\text{ext}}/dt$  je časová změna vnější intenzity elektrického pole a  $K_E$  je koeficient zohledňující pozici v těle, kde intenzitu elektrického pole  $E$  hledáme.

Koeficienty  $K_E$  a  $K_B$  jsou stanoveny pro hygienicky nejhorší situaci, kdy je tělo vystaveno homogennímu magnetickému poli kolmému k hrudi a homogennímu elektrickému poli ve směru od hlavy k nohám takto:

	$K_E$ (-)	$K_B$ (m)
v hlavě	66	0,05
v krku	100	0,12
v hrudi	70	0,13

Tab. 3 Hodnoty koeficientů pro výpočet intenzity elektrického pole

Při souběžné expozici elektrickému a magnetickému poli se expozice s magnetickou indukci  $B^{ext}$  a indukci vnějším elektrickým polem  $E^{ext}$  sečtou v absolutních hodnotách, čímž je vystižen hygienicky nejméně příznivý případ.

Pro účely hodnocení expozice podle nařízení vlády č. 291/2015 Sb. se exponovanou osobou míní osoba o maximální výšce 1,8 m. Pro uvážení hygienicky nejhoršího případu se dále předpokládá, že chodidla osoby jsou vodivě spojena se zemí, tedy bosé nohy na vlhkém terénu.

Modifikovaná intenzita elektrického pole  $E_{mod}$  je pak určena indukovanou intenzitou elektrického pole  $E$ , která projde filtrem s frekvenční odezvou. Pro  $f=50$  Hz je hodnota filtru v případě expozice hlavy rovna 6,4.

$$E_{mod} = 6,4 \cdot E \quad [V \cdot m^{-1}]$$

### II.3. Technické normy

#### ČSN 33 2040 z ledna 1993

Tato platná norma definuje pásmo vlivu elektrického pole od zařízení elektrizační soustavy jako prostor v okolí zařízení, kde intenzita elektrického pole ve výšce 1,8 m nad zemí je vyšší než 1 kV/m. Obdobně norma definuje pásmo vlivu magnetického pole od zařízení elektrizační soustavy jako prostor v okolí zařízení, kde magnetická indukce je vyšší než 0,1 mT.

V pásmech vlivu elektroenergetických zařízení veřejně přístupných nesmí intenzita elektrického pole ve výšce 1,8 m nad zemí překročit hodnotu 10 kV/m. V pásmu vlivu elektroenergetických zařízení v prostorách přístupných osobám nesmí magnetická indukce převýšit hodnotu 0,5 mT.

#### Soubor norem ČSN EN 50341

Tento soubor technických norem se odkazuje na nařízení vlády (viz kapitola II.1 tohoto posouzení).

#### PNE 33 3300 z listopadu 2016

Tato platná norma definuje nejkratší vzdálenosti vodičů od země ve volné krajině. Dle tabulky 5.9 je nejkratší vzdálenost k zemi ve volné krajině s normálním terénním profilem a na volně přístupných místech 8 m (pro vedení napěťové hladiny 400 kV).

Norma se odkazuje na platné nařízení vlády udávající tzv. indukovanou proudovou hustotu v mA/m<sup>2</sup> pro místa přístupná veřejnosti a pro prostory nepřístupné veřejnosti. Pro dodržení požadovaných hodnot hygienických limitů je potřeba větší výška vodičů nad terénem, než postačuje podle této normy. Vztahuje se i na všechny ostatní případy styku vedení s objekty, kde může dojít k pobytu osob pod nebo blízko vedení.

#### II.4. Návaznost předpisů

Zákon č. 258/2000 Sb., v platném znění zapracovává práva a povinnosti osob v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví. Nařizuje provádět taková technická a organizační opatření, aby expozice fyzických osob v rozsahu upraveném prováděcím právním předpisem nepřekračovaly nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření.

Pro provozovatele PS ze zákona vyplývá povinnost dodržení ustanovení uvedených v nařízení vlády č. 291/2015 Sb. Toto nařízení zapracovává a upravuje hygienické limity neionizujícího záření ( $E_{mod}$ ), metody a způsob jejich zjišťování a hodnocení.

Technické normy (ČSN, PNE apod.) obecně podrobněji upravují technické požadavky a činnosti v návaznosti na předpisy vyšší právní síly (zákony, nařízení vlády apod.). V případech, kde zákon či nařízení vlády podrobně řeší oblast paralelně řešenou technickou normou, je nezbytné upřednostnit znění předpisu s vyšší právní silou.

### III. Výpočty a výsledky

#### III.1. Vstupní parametry vedení

##### Dvojité vedení tvaru Dunaj

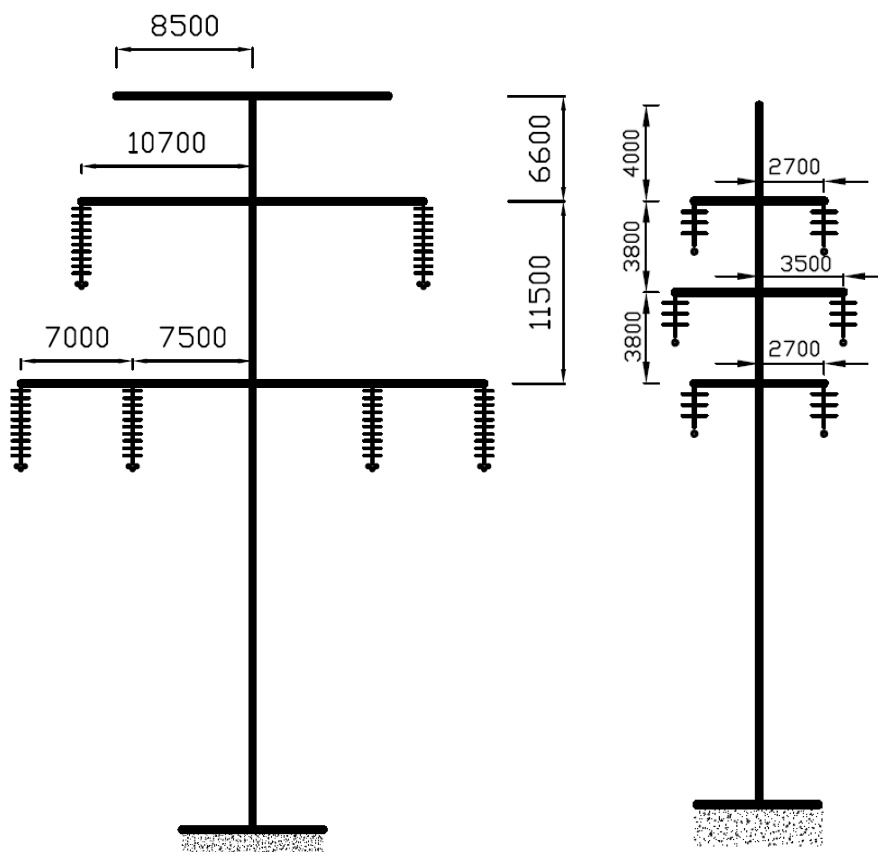
(posuzované vedení V456/803 v úseku lomový bod R10 – R15 a R19 – R20)

<b>Napěťová soustava:</b>	3-f s přímo uzemněným nulovým bodem – TT, 50 Hz
<b>Jmenovité provozní napětí:</b>	400 kV
<b>Jmenovitý proud ve fázi:</b>	2500 A
<b>Konstrukce fázových vodičů:</b>	svazek tří lanových vodičů AlFe o průměru 30,6 mm uspořádaných do rovnostranného trojúhelníku, krok svazku 400 mm
<b>Konstrukce zemnicího lana:</b>	zemnicí lano AlFe o průměru 19,5 mm
<b>Uspořádání hlavy stožáru:</b>	stožáry ocelové, příhradové, pro dvojnásobné vedení 400 kV tvaru „Dunaj“ (viz obrázek č. 1)
<b>Označení vedení:</b>	V456/803
<b>Šířka ochranného pásma:</b>	<b>20 m</b> od průmětu krajní fáze <b>400 kV</b> (podle zákona č. 458/2000 Sb., energetický zákon v platném znění).
<b>Šíře koridoru:</b>	69,4 m v běžné trase.
<b>Projektovaná minimální výška fázových vodičů nad normálním terénním profilem:</b>	<b>12,5 m</b>

##### Dvojité vedení tvaru Soudek – 3,5 m

(souběžné vedení V651/652 v majetku ČEZ Distribuce, a. s.)

<b>Napěťová soustava:</b>	3-f s přímo uzemněným nulovým bodem – TT, 50 Hz
<b>Jmenovité provozní napětí:</b>	110 kV
<b>Jmenovitý proud ve fázi:</b>	820 A
<b>Konstrukce fázových vodičů:</b>	jeden lanový vodič AlFe o průměru 29,3 mm
<b>Konstrukce zemnicího lana:</b>	zemnicí lano AlFe o průměru 19,1 mm
<b>Uspořádání hlavy stožáru:</b>	stožáry ocelové, příhradové, pro dvojité vedení 110 kV tvaru „Soudek“ (viz obrázek č. 1)
<b>Osová vzdálenost vedení:</b>	53,2 m (V456/803 – V651/652)
<b>Šířka ochranného pásma:</b>	<b>15 m</b> od průmětu krajní fáze <b>110 kV</b> (podle zákona č. 79/1957 Sb., o výrobě, rozvodu a spotřebě elektřiny ve znění platném v době výstavby vedení).
<b>Šíře koridoru:</b>	37 m v běžné trase



Obr. 1 Uspořádání hlavy stožáru tvaru Dunaj a Soudek – 3,5 m

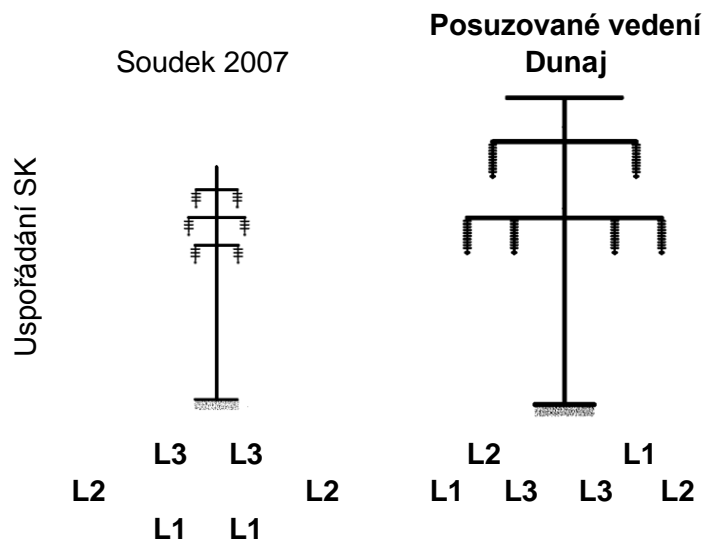
### III.2. Vyhodnocení minimální projektované výšky fázových vodičů

Výpočty byly provedeny pomocí aplikace v programu MS EXCEL založené na výpočtech elektrických a magnetických polí pomocí kapacitních koeficientů a Maxwellových rovnic. Přesnost výstupů této aplikace byla ověřena srovnáním s výsledky měření a rovněž s výstupy jiných respektovaných výpočetních aplikací.

Hodnoty modifikované intenzity elektrického pole byly vypočítány ve výšce nad zemí odpovídající osobě o maximální výšce 1,8 m.

Ve výpočtu intenzity elektrického pole indukovaného v tkáni je zvolen přísnější filtr ( $G = 6,4$ ) pro oči a střední ucho. Proto je ve výsledcích výpočtu uveden případ pro expozici hlavy.

Dále bylo zkoumáno, jaký vliv má vzájemné uspořádání fázových vodičů. Nejvyšší hodnoty modifikované intenzity elektrického pole byly prokázány u následujícího uspořádání:

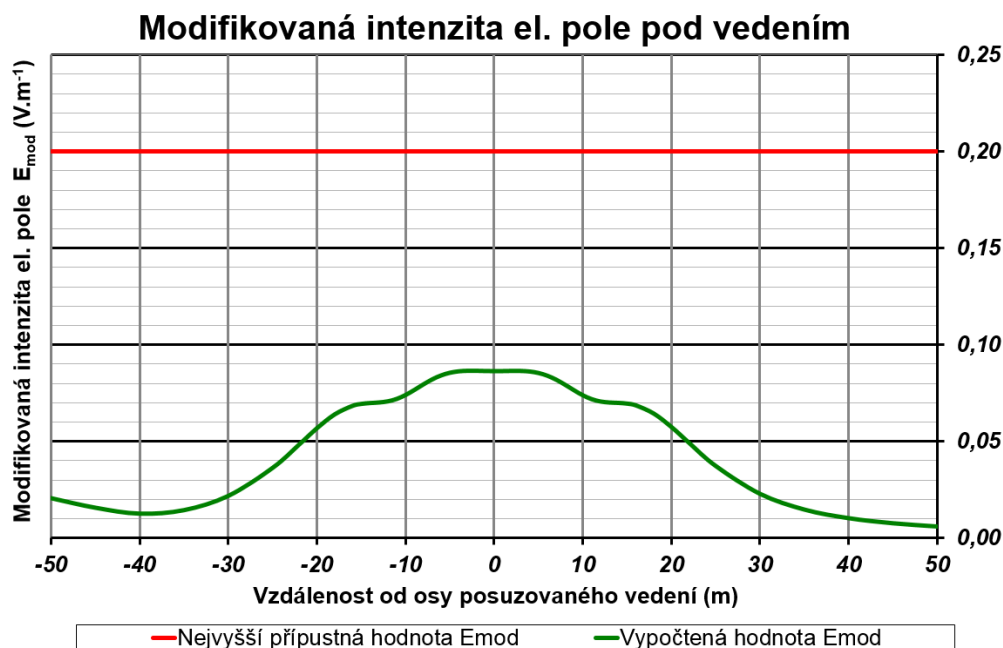


Uvažování daného uspořádání fázových vodičů při výpočtu zajišťuje, že při minimální projektované výšce fázových vodičů nad normálním terénním profilem bude vliv elektromagnetického pole při jakémkoliv jiném sledu fází menší anebo stejný. Proto je dále uvažováno s uvedeným uspořádáním.

**Minimální projektovaná výška spodních fázových vodičů** nad normálním terénním profilem hodnoty **12,5 m** pro dvojitě vedení V456/803 tvaru Dunaj **vyhovuje** hygienickému limitu modifikované intenzity elektrického pole  $E_{mod}$  stanovené dle NV č. 291/2015 Sb. a metodického návodu. Minimální projektovaná výška spodních fázových vodičů je zvolena s ohledem na umožnění zemědělských a jiných aktivit a zajištění požadavků na bezpečnost osob, zvířat a objektů pod vedením a jeho těsné blízkosti (v prostoru ochranného pásma vedení).

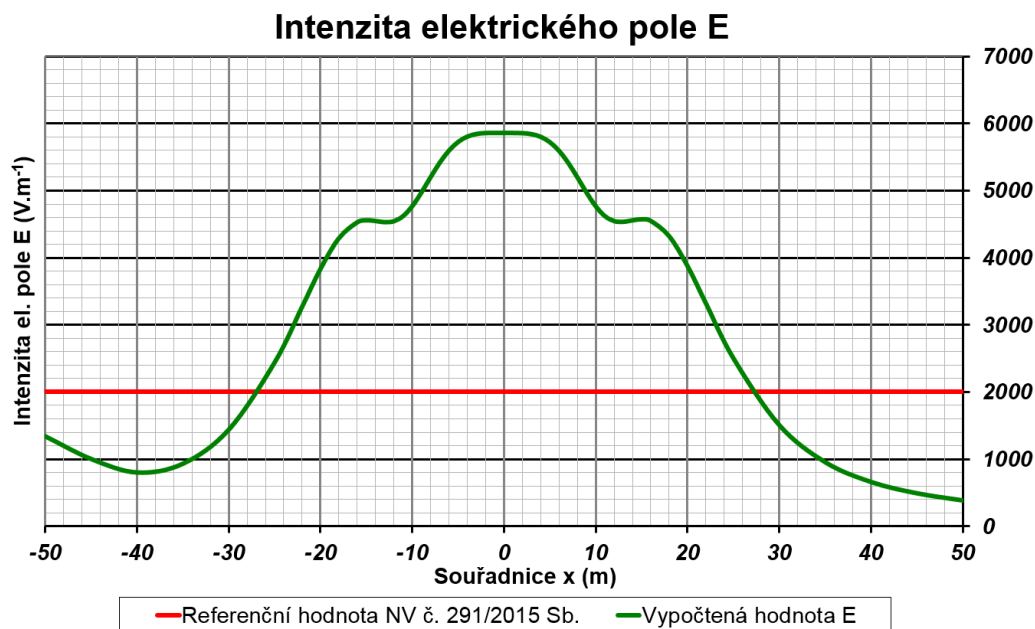


Průběh modifikované intenzity elektrického pole pod **posuzovaným vedením V456/803** v závislosti na vzdálenosti od osy vedení je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2 Modifikovaná intenzita elektrického pole v závislosti na vzdálenosti od osy posuzovaného vedení V456/803

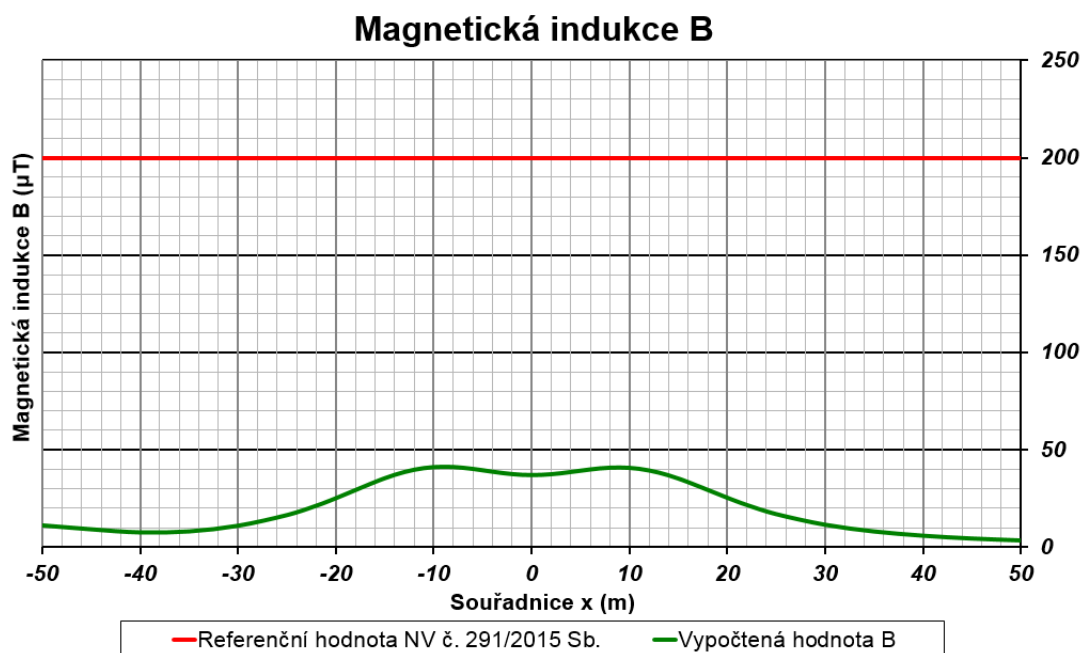
Průběh intenzity elektrického pole pod **posuzovaným vedením V456/803** v závislosti na vzdálenosti od osy vedení je znázorněn na obr. 3.



Obr. 3 Intenzita elektrického pole v závislosti na vzdálenosti od osy posuzovaného vedení V456/803

Průběh intenzity elektrického pole zobrazen na obr. 3 překračuje referenční hodnotu  $E^{limit}$  dle NV č. 291/2015 Sb. Z tohoto důvodu je výpočtem dle NV č. 291/2015 Sb. prokázáno a na obr. 2 zobrazeno, že nedojde k překročení nejvyšší přípustné hodnoty modifikované intenzity elektrického pole  $E_{mod}$ .

Průběh magnetické indukce pod **posuzovaným vedením V456/803** v závislosti na vzdálenosti od osy vedení je znázorněn na obr. 4.



Obr. 4 Magnetická indukce v závislosti na vzdálenosti od osy posuzovaného vedení V456/803

Průběh magnetické indukce zobrazen na obr. 4 nepřekračuje referenční hodnotu  $B^{\text{limit}}$  dle NV č. 291/2015 Sb.

### III.3. Určení pásma vlivu dle ČSN 33 2040

Pro minimální projektovanou výšku fázových vodičů nad normálním terénním profilem byla pro posuzované vedení V456/803 určena šíře pásma vlivu elektrického a magnetického pole. Pásmo vlivu elektrického pole působí do vzdálenosti 34 m napravo od osy posuzovaného vedení. Mezi posuzovaným a souběžným vedením se pásma vlivu prolínají. Pro stanovené pásmo vlivu nepřekračuje intenzita elektrického pole v žádném bodě ve výšce 1,8 m nad zemí hodnotu  $10 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Vliv magnetického pole nedosahuje v žádném bodě ve výšce 1,8 m nad zemí ani limitní hodnoty  $100 \text{ }\mu\text{T}$  (tj.  $0,1 \text{ mT}$ ), kterou je pásmo vlivu magnetického pole vymezeno.

## IV. Závěr

**Dodržením projektované minimální výšky spodních fázových vodičů 12,5 m nad zemí bude zaručeno, že osoby, které se nacházejí v blízkosti posuzovaného energetického vedení, jsou bezpečně chráněny proti všem známým zdravotně škodlivým účinkům zdroje elektromagnetického pole v souladu s nařízením vlády č. 291/2015 Sb. a platnými technickými normami ČSN 33 2040 a PNE 33 3300.**

**Literatura:**

- [1] Nařízení vlády č. 291/2015 Sb., v platném znění
- [2] Metodický návod k postupu podle § 35 a 36 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů, a nařízení vlády č. 291/2015 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením ze dne 11. 7.2017, č.j.: MZDR 509/2017-19/OVZ (vyšlo ve Věstníku ministerstva zdravotnictví ČR částka 8/2017, dne 28. července 2017)
- [3] Dědek, L.: Teorie elektromagnetického pole, VUT Brno, 1990, Brno.
- [4] ČSN 33 2040 – Ochrana před účinky elektromagnetického pole 50 Hz v pásmu vlivu zařízení elektrizační soustavy, leden 1993.
- [5] ČSN EN 50341-3 ZMĚNA Z2 Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV – Část 3: Soubor Národních normativních aspektů
- [6] ČSN EN 50341-1 ed. 2 Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV – Část 1: Obecné požadavky – Společné specifikace
- [7] PNE 33 3300 Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV