

## INFORMACE NRL č. 12/2002

### Magnetická pole v okolí vodičů protékanych elektrickým proudem s frekvencí 50 Hz

#### I. Úvod

V poslední době se stále častěji setkáváme s dotazy na vliv elektromagnetického pole v okolí vedení vysokého napětí (a vůbec v blízkosti vodičů protékanych nízkofrekvenčním proudem) na zdraví. (Tazatelé používají často formulace o vlivu *záření* těchto zdrojů, i když o záření samozřejmě nejde – vlnová délka patřící frekvenci 50 Hz je 6000 km; u nízkofrekvenčních zdrojů jde tedy vždy o pole blízké zóny, v kterém elektrická a magnetická pole spolu nejsou svázána vlastnostmi známými z šíření elektromagnetických vln.) Dotazy často souvisejí s obavami, zda například poruchy na obrazech televizorů a počítačových monitorů mohou souviset s elektromagnetickým polem, které je s to ohrozit i zdraví. Na rozdíl od již neplatné vyhlášky č. 408/90 Sb. stanoví nařízení vlády č. 480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, hygienické limity i pro nízkofrekvenční elektrická a magnetická pole a pro statické magnetické pole, takže k odpovědi je možné použít naši legislativu. Statické pole je pro účely uvedeného nařízení definováno jako pole neměnné nebo měnící se velmi pomalu, takže frekvence jeho změn je nižší než 1 Hz.

#### II. Hygienické hodnocení nízkofrekvenčních polí

Přípustnost expozice člověka nízkofrekvenčním elektrickým a magnetickým polím s frekvencí do 100 kHz se v citovaném dokumentu posuzuje podle hustoty elektrických proudů, které tato pole v těle člověka vyvolávají. V intervalu frekvencí od 100 kHz do 10 MHz se kromě přímého působení indukovaných proudů v tkáni těla začíná uplatňovat i ohřev tkáně, a pro posouzení přípustnosti expozice je nutné posuzovat oba vlivy současně. U elektrických a magnetických polí a záření s frekvencí vyšší než 10 MHz se při hygienickém hodnocení posuzuje již jen ohřev tkáně.

V této informaci se zabýváme polem s frekvencí energetické sítě, kdy se hodnotí jen hustota elektrických proudů vyvolaných vnějším elektrickým a magnetickým polem. Ve většině situací, kdy je příslušná osoba vystavena nízkofrekvenčnímu elektromagnetickému poli, je pro posouzení expozice člověka nízkofrekvenčnímu poli rozhodující magnetické pole. Nízkofrekvenční elektrická pole jsou v reálných situacích slabá nebo mají vysokou impedanci, takže se při indukování elektrických proudů v těle uplatňují při hygienickém hodnocení zřídka. Protože účinek indukovaných elektrických proudů na tkáň těla (jde především o působení na nervovou soustavu) je okamžitý, hodnotí se indukované proudy podle efektivních hodnot přes periodu. (Teprve v intervalu od 1 kHz výš je přípustné středování za dobu jedné sekundy.) To je podstatný rozdíl ve srovnání s hodnocením tepelného působení polí s frekvencí vyšší než 100 kHz, kdy se středování provádí za dobu šesti minut. U statického magnetického pole, kdy k indukování elektrických proudů v těle může docházet jen v důsledku pohybu těla nebo jeho částí v takovém poli, je pro hygienické hodnocení expozice zaměstnanců výjimečně použit časový průměr velikosti magnetické indukce, které je příslušná osoba vystavena během pracovní směny. Nejvyšší přípustná hustota indukovaného proudu pro hlavu a hrud' exponované osoby je pro frekvenční interval od 4 Hz do 1 kHz (tedy i pro frekvenci 50 Hz, kterou se tato informace zabývá) v citovaném nařízení vlády stanovena pro zaměstnance na  $0,01 \text{ A/m}^2$ , pro ostatní osoby (obyvatelstvo) na  $0,002 \text{ A/m}^2$ , tedy pětkrát níž. V informaci č. 3 jsou v tabulce č. 1 vypsány biologické jevy vyvolané elektrickými proudy v těle, které sloužily k stanovení nejvyšších přípustných hodnot pro hustotu elektrických proudů s různou frekvencí. Nařízení vlády stanoví pro praktická

měření referenční hodnoty pro intenzitu elektrického a magnetického pole. Nejsou-li překročeny referenční hodnoty pro intenzity polí, je tím zajištěno, že není překročena ani nejvyšší přípustná hodnota hustoty indukovaných proudů v těle exponované osoby. Protože referenční hodnoty jsou stanoveny tak, aby při jejich dodržení nemohlo dojít k překročení nejvyšší přípustné hodnoty za žádných okolností, je v konkrétních situacích zpravidla možné prokázat nepřekročení nejvyšší přípustné hodnoty i při značném překročení referenční hodnoty. Taková situace se zvláště často vyskytuje u nehomogenních polí, kdy je vyšší intenzitě pole vystavena jen malá část těla. Tuto okolnost je třeba brát v úvahu při hodnocení expozice magnetickým polím v okolí vodičů protékaných elektrickým proudem. Pro frekvenci 50 Hz je referenční hodnota magnetické indukce pro zaměstnance rovná  $5 \cdot 10^{-4}$  tesla (500 mikrottesla), pro ostatní osoby  $10^{-4}$  tesla (100 mikrottesla). To jsou hodnoty velmi nízké, opuštěná evropská přednorma ENV 50166/1995 měla pro tento případ referenční hodnotu pro zaměstnance  $2 \cdot 10^{-3}$  tesla a pro obyvatelstvo  $5 \cdot 10^{-4}$  tesla.

### **III. Vliv magnetického pole na elektrická zařízení**

Touto problematikou se podrobně zabývá elektromagnetická kompatibilita. Na rozdíl od těla člověka je u elektrických přístrojů mnohem více možností, jak může magnetické pole na přístroj působit. Hlavní vlivy jsou dva. První je stejně jako u těla člověka indukování elektrických proudů v obvodech přístroje. Většina přístrojů je však konstruována tak, že indukované proudy v nich jsou slabé a neruší, i když je střídavé magnetické pole vyvolává prakticky v každém zařízení s elektricky vodivými částmi. Druhým vlivem, který se však týká jen omezené skupiny přístrojů, je působení magnetického pole na svazek elektronů. Těmito přístroji jsou televizory, počítačové monitory s klasickou elektronkovou (vakuovou) obrazovkou, speciální přístroje jako je hmotnostní spektrograf, elektronový mikroskop a podobně. U televizorů a počítačových monitorů se působení magnetického pole projevuje rozostřením obrazu, chvěním a vlněním jeho okrajů, případně změnami barev, má-li magnetické pole statickou složku. Při četných měřeních jsme ověřili, že znatelné ovlivnění obrazu může nastat již při hodnotě magnetické indukce  $5 \mu\text{T}$  a frekvenci 50 Hz. Hodnoty magnetické indukce způsobující tyto poruchy obrazu jsou tedy hluboko pod referenční hodnotou (100 mikrottesla pro ostatní osoby při frekvenci 50 Hz a 0,056 tesla pro ostatní osoby a statické magnetické pole). Tyto hodnoty stačí však k podstatnému zhoršení podmínek pro práci s počítači a k poškození pohody bydlení při sledování televizních pořadů.

### **IV. Magnetické pole vodičů protékaných elektrickým proudem**

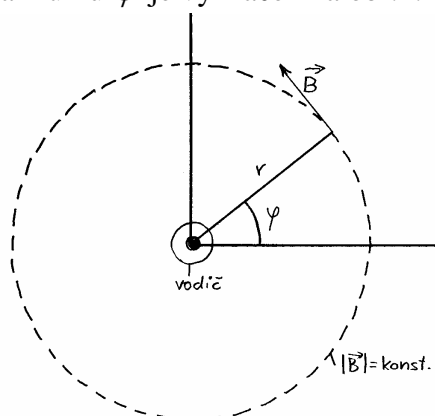
Výpočty magnetického pole (magnetické indukce v jednotkách tesla nebo mikrottesla) byly provedeny pro geometricky různě uspořádané vodiče protékané proudy s frekvencí 50 Hz majícími různou fázi. U vedení vysokého napětí jsou výpočty provedeny pro konfigurace používané v ČR. Pro velikost elektrických proudů byly zvoleny vždy nejvyšší hodnoty, na které jsou příslušná vedení dimenzována (například pro vedení používající napětí 400 kV celkový proud v jedné fázi rovný 2100 A). Pro dva a více vodičů je nutné vektory magnetické indukce od jednotlivých vodičů vektorově sečíst a pak se započtením jejich fáze určit pro každý posuzovaný bod prostoru efektivní hodnotu výsledného pole. V těchto případech již nejsou vztahy tak triviální jako pro jeden přímý vodič a v tomto textu je neuvádíme. Pro výpočty jsme sestavili poměrně univerzální počítačový program v grafickém editoru AXUM6. Výsledky výpočtů vyjádřené graficky jsou pro často se vyskytující situace uvedeny dále.

## V. Pole vytvářené proudem jednoho přímého “nekonečného” vodiče

Vně přímého, nekonečně dlouhého vodiče s kruhovým průřezem, kterým protéká elektrický proud rozložený rovnoměrně uvnitř vodiče, vychází ze základních vztahů elektrodynamiky vektor magnetické indukce ve vzdálenosti  $r$  od osy vodiče ve tvaru:

$$\vec{B} = \frac{\mu I}{2\pi r} (-\sin \varphi \cdot \vec{x}_0 + \cos \varphi \cdot \vec{y}_0),$$

kde  $\mu$  je permeabilita prostředí, které vodič obklopuje (pro vakuum a vzduch rovná  $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  henry na metr),  $I$  je proud v ampérech, který jím prochází,  $\vec{x}_0$  a  $\vec{y}_0$  jsou jednotkové vektory do směrů  $x$  a  $y$  a význam úhlu  $\varphi$  je vyznačen na obr.1.



Obr. 1: Pole vytvářené proudem jednoho přímého “nekonečného” vodiče.

Tento výpočet platí dostatečně přesně i pro konečný dostatečně dlouhý (ve srovnání se vzdáleností  $r$ , pro kterou se výpočet provádí) a aspoň přibližně rovný vodič. Pro porovnání s referenční hodnotou je však třeba určit nejdříve z vektoru magnetické indukce její velikost, a z velikosti magnetické indukce pak ještě vypočítat její efektivní hodnotu. “Izočáry” efektivních hodnot magnetické indukce v (kterékoli) rovině kolmé k vodiči jsou v tomto případě kružnice (obr. 1).

Pro ukázkou použití vztahu pro magnetickou indukci je uveden následující příklad :

Mějme vodič umístěný ve vzduchu mající poloměr 5 cm, kterým protéká stejnosměrný proud 500 A ( takový vodič je velmi podobný např. koleji, po které se pohybují tramvaje). Jaká je efektivní hodnota z velikosti magnetické indukce na jeho povrchu ?

Pro libovolný bod vzdálený  $r$  od středu vodiče a ležící vně vodiče psát

$$|\vec{B}_{ef}| = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot I}{r}$$

Pokud dosadíme výše uvedené hodnoty, dostaneme

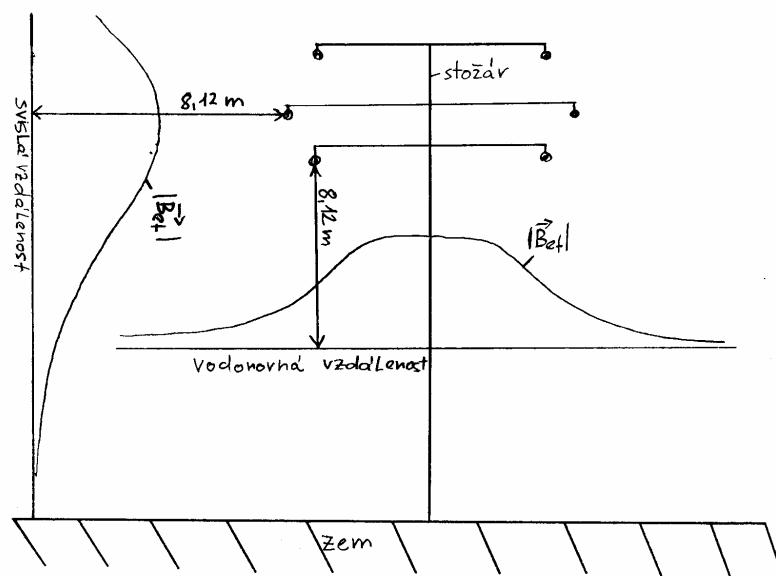
$$|\vec{B}_{ef}| = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot I}{r} = 2 \cdot 10^{-3} T = 2mT .$$

Při srovnání této hodnoty s referenční hodnotou pro statické pole 5,6 mT je vidět, že ani v těsném kontaktu s vodičem není překročena referenční hodnota.

## VI. Vedení vysokého napětí

V tomto odstavci se pojednává o magnetickém poli, které je v okolí vodičů vysokého napětí.

V poslední době jsou na toto téma poměrně časté dotazy a smyslem tohoto odstavce je ukázat, že není nutné se obávat o vlivu těchto polí na zdraví. Jelikož možných konfigurací jednotlivých vedení je velmi mnoho, není možné zde vzhledem k rozsahu uvést magnetické pole u všech. Proto jsou ukázány tři hlavní zástupci: nejběžnější dálkové vedení 110 kV, potom také poměrně běžné vedení 220 kV a poslední řídkce se vyskytující vedení s nejvyšším proudovým zatížením 400 kV. Vedení jiných používaných typů mají magnetická pole nižší a proto je možné jejich účinky shora omezit těmito zástupci. Je také třeba poznamenat, že výpočty byly prováděny pro maximální možná proudová zatížení daných vodičů a že tedy hodnoty pole za reálných podmínek budou mnohem menší. Jelikož magnetické pole je podél vodiče neměnné, ukazují všechny obrázky pouze 2D řezy rovinou kolmou na vodiče. U každého vedení je uveden základní obrázek rozložení pole v blízkém okolí vodičů. Následně jsou pak ještě uvedeny průběhy magnetické indukce v nejbližších místech, ve kterých je povolena stavba, to je v 8 m od nejbližšího vodiče pro vedení 110 a 220 kV a 12 m pro vedení 400 kV. Polohy jednotlivých řezů jsou ukázány na obr. 2.



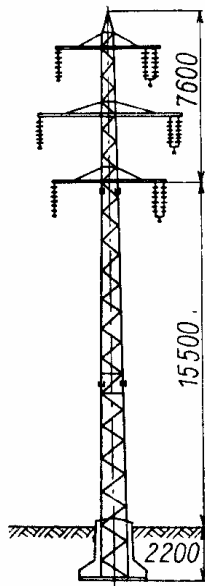
Obr. 1: Polohy řezů rozložení pole v okolí vedení vysokého napětí.

Jelikož se výška drátů nad zemí mění mezi dvěma stožáry, bylo magnetické pole vypočteno pro vodiče jdoucí ve výšce uvedené na příslušném náčrtku stožáru. Pro případ, kdy jsou vodiče níže je třeba si na obrázku zobrazujícím rozložení pole v okolí vodičů představit svislou vzdálenost o danou hodnotu níže. Hodnoty magnetického pole však zůstanou zachovány. Ty jsou totiž platné pro libovolnou vzdálenost vodičů od země. U obrázků ukazujících průběh magnetického pole ve vzdálenosti 8 a 12 m od nejbližšího vodiče takové posuny nejsou třeba, neboť tyto řezy nejsou fixovány na vzdálenost od země.

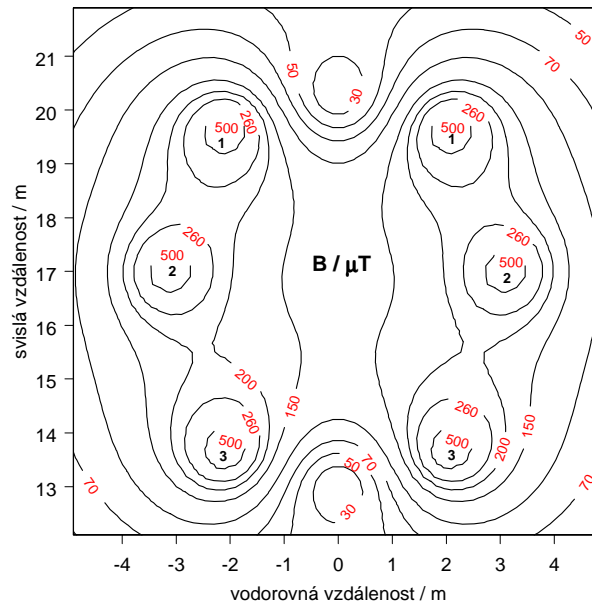
### Vedení 110 kV:

Na obr. 3 vlevo je uveden velmi běžný zástupce stožárů tohoto vedení i s příslušnými kótami. U tohoto typu vedení je maximální možný proud v jednom vodiči 1240 A. Stožár nese dvě

soustavy třífázových vedení. Na následujících obrázcích jsou pak znázorněny jednotlivé vodiče jedné soustavy čísly 1,2,3. Rozložení magnetického pole v okolí vodičů je zobrazeno na obr. 4.

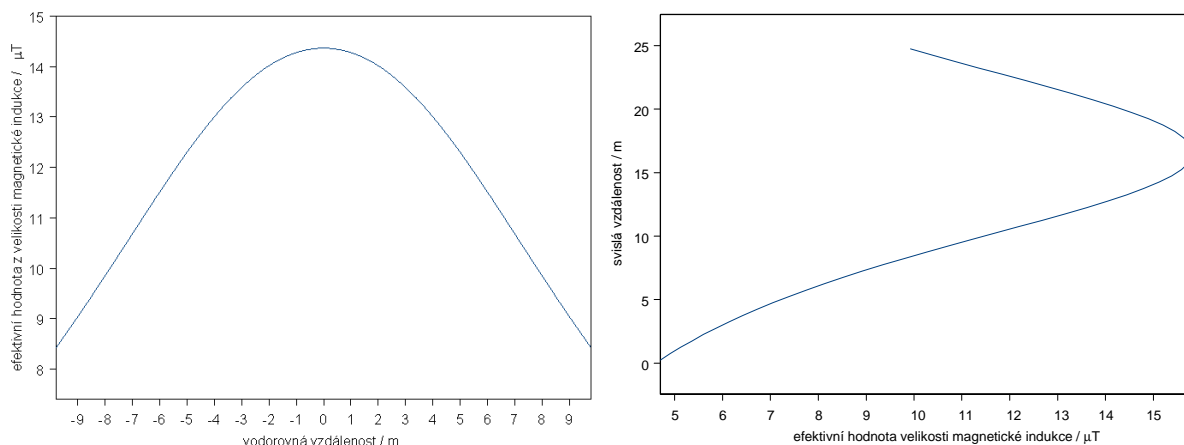


Obr. 3: Zástupce stožárů vedení 110 kV.



Obr. 4 Prostorové rozložení efektivní hodnoty velikosti magnetické indukce v okolí vodičů 110 kV, proud v jednom vodiči = 1240 A

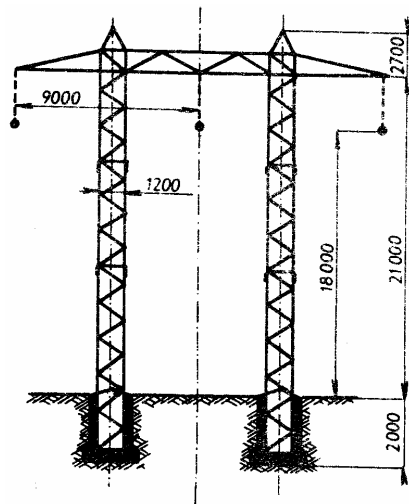
Na obr. 5 je pak uveden průběh efektivní hodnoty magnetické indukce ve vzdálenostech 8 m od nejbližšího vodiče, a to jak v rovině rovnoběžné se zemí, tak v rovině kolmé na zem. Z obr. 4 je vidět, že již ve čtverci asi 4x4 m kolem vodičů není překročena referenční hodnota pro obyvatelstvo. To tedy znamená, že i maximální přípustná hodnota je zde s rezervou splněna. V místech možné zástavby je pak hodnota ještě nižší a dosahuje maximálně 16  $\mu\text{T}$ , což je asi 20 % z referenční hodnoty.



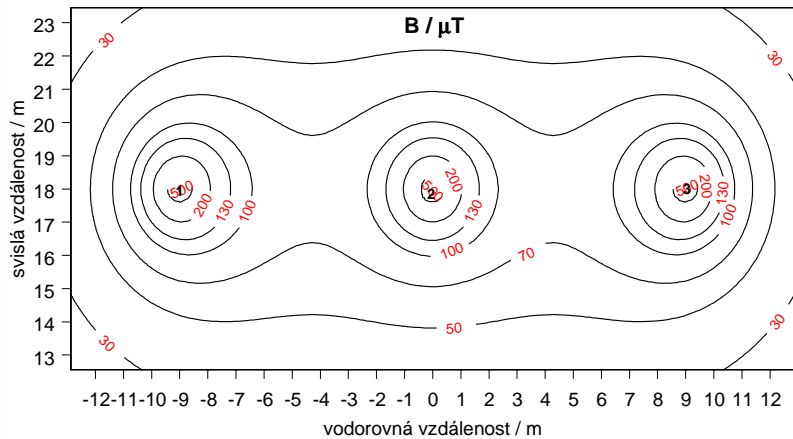
Obr. 6: Magnetická indukce v rovině rovnoběžné (vlevo) a kolmé (vpravo) vůči zemi ve vzdálenosti 8m od nejbližšího vodiče.

## Vedení 220 kV:

Náčrtek typického stožáru nesoucího toto vedení je na obr. 6. Maximální zatížení jednoho vodiče je 700 A. Na tomto vedení většinou bývají opět dvě skupiny trojfázových vedení umístěny tak, že jsou vždy vodiče stejné fáze upevněny na stejném rameni. Takovou dvojici vodičů lze ekvivalentně nahradit pouze jedním vodičem s dvojnásobným proudem tedy 1400 A. Na obrázcích zobrazujících magnetické pole jsou tyto dvojice opět označeny čísly 1,2,3.

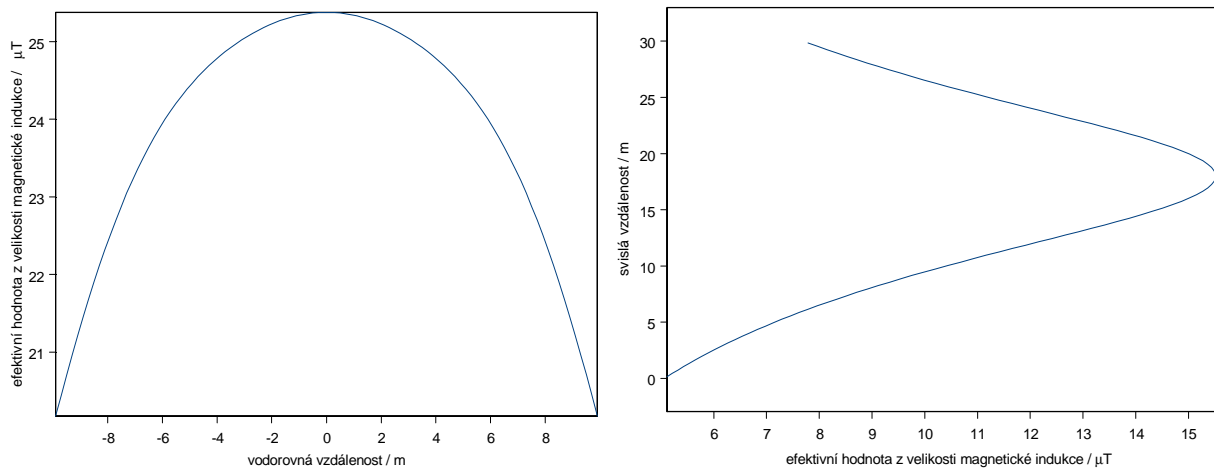


Obr. 6: Zástupce stožárů vedení 220 kV.



Obr. 7: Prostorové rozložení efektivní hodnoty velikosti magnetické indukce v okolí vodičů 220 kV, proud v jedné fázi = 1400 A

Stejně jako u předchozího vedení je na obr. 7 zobrazeno rozložení magnetického pole v okolí vodičů a na dvou dalších, tedy na obr. 8 jsou pak průběhy pole v minimální vzdálenosti povolené k zástavbě.



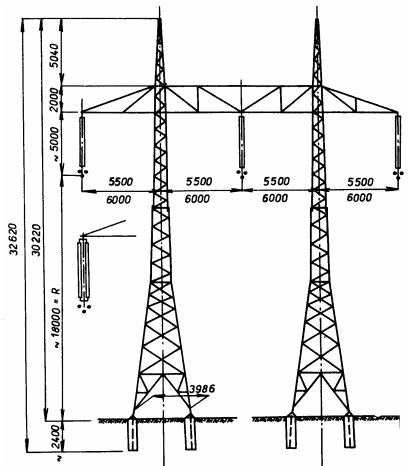
Obr. 8: Magnetická indukce v rovině rovnoběžné (vlevo) a kolmé (vpravo) vůči zemi ve vzdálenosti 8 m od nejbližšího vodiče.

Z obrázků je patrné, že v kruhu o poloměru asi 2 m kolem každé skupiny vodičů není překročena referenční hodnota. V místech zástavby pak může maximální hodnota

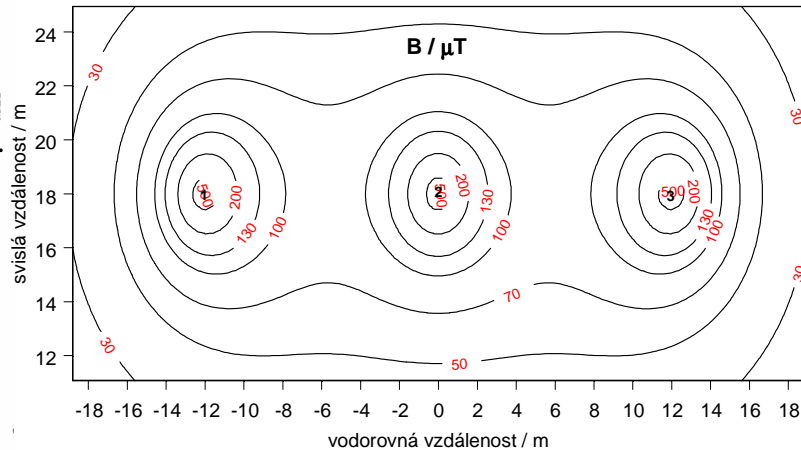
magnetického pole činit v tomto případě  $25 \mu\text{T}$ , což je tedy čtvrtina příslušné referenční hodnoty. I u tohoto typu vedení je tedy v místě zástavby bezpečně splněna příslušná norma.

### Vedení 400 kV:

Typický stožár tohoto vedení je na obr. 9.

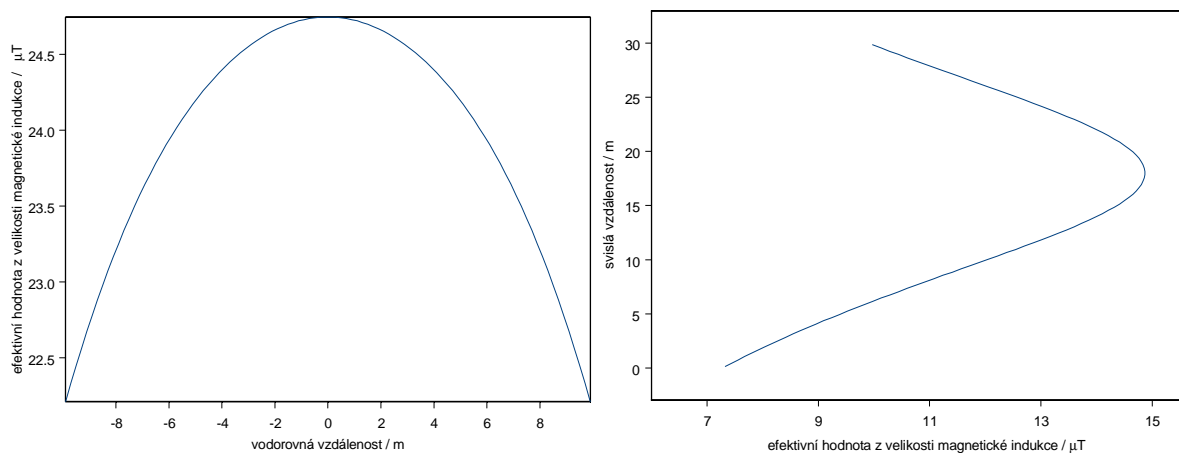


Obr. 9: Zástupce stožárů vedení 220 kV.



Obr. 10: Prostorové rozložení efektivní hodnoty velikosti magnetické indukce v okolí vodičů 400 kV, proud v jedné fázi = 2100 A

Toto vedení je používáno poměrně zřídka. Z obrázku je patrné, že tento typ stožáru nese tři trojfázové soustavy a jak je vidět, jsou vždy 3 vodiče jedné fáze zavěšeny na stejném rameni. Jelikož vodiči mohou protékat maximální proudy 700 A, lze tuto trojici nahradit jedním vodičem s trojnásobným proudem čili s proudem 2100 A. Magnetické pole v okolí tohoto stožáru bude tedy ze všech předchozích typů největší. Rozložení magnetického pole v okolí vodičů je vyneseno na obr. 10. Na obr. 11 jsou pak průběhy pole v minimální vzdálenosti, ve které je povolena stavba. V případě 400 kV vedení je to už 12 m od nejbližšího vodiče.



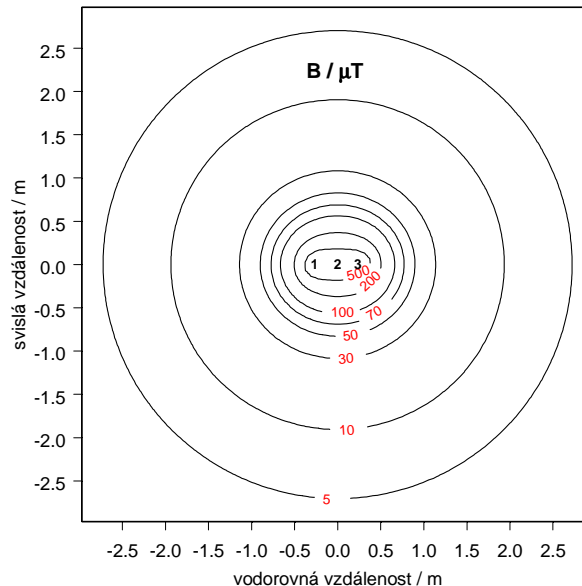
Obr. 11: Magnetická indukce v rovině rovnoběžné (vlevo) a kolmé (vpravo) vůči zemi ve vzdálenosti 12 m od nejbližšího vodiče.

Z grafů magnetického pole je vidět, že referenční hodnota pro obyvatelstvo není překročena již ve vzdálenosti 3 m od libovolného vodiče. V místě zástavby je maximální hodnota magnetického pole  $25 \mu\text{T}$ , což je čtvrtina z referenční hodnoty. Jak již bylo řečeno,

magnetické pole od tohoto vedení je největší ze všech typů používaných u nás. Jak je vidět z vypočtených hodnot, není však ani u něj překročena byť jen referenční hodnota, natož pak hodnota maximální přípustná. Dále uvedeme jednoduchý příklad na použití výše uvedených grafů. Vezměme situaci, kdy by vodiče vedení 400 kV byly prověšeny tak, že uprostřed mezi stožáry budou ve výšce 8 m nad zemí. Stojící člověk bude mít tedy hlavu ve vzdálenosti asi 6 m od nejbližšího vodiče. Na obrázku č. 12 tedy musíme od polohy odpovídající zavěšení vodičů na stožáru (18 m) odečíst svislou vzdálenost 6 m. Na pomyslné vodorovné přímce, která by procházela touto hodnotou, pak můžeme odečíst maximální velikost magnetické indukce, která je v tomto případě asi 50  $\mu\text{T}$ . Tedy ani v tomto případě vedení s nejvyšším používaným proudem a značným prověsem není překročena referenční hodnota a tím méně i nejvyšší přípustná hodnota.

## VII. Trojfázová vedení uvnitř budov

V tomto odstavci bude ukázáno pole od tří vodičů trojfázové soustavy, ležících v jedné rovině a vzdálených od sebe asi 20 cm. Takové vedení se často používá jako hlavní napájení větších, např. administrativních budov. Vedení jsou dimenzována na proudy kolem 600 A. Z této hodnoty je zřejmé, že se nejedná o vedení, které by napájelo rodinný dům či byt. Taková vedení nejsou problematická ani tak z hlediska vlivu na organismus, jako spíše z hlediska vlivu na počítačové monitory či televizory, které v těchto administrativních budovách často jsou. Jak bylo již výše uvedeno, klasické elektronkové obrazovky jsou citlivé na magnetické pole od hodnoty 5  $\mu\text{T}$  při frekvenci 50 Hz (tato frekvence také připadá jako jediná možná k napájení budovy). Rozložení magnetického pole v okolí takové soustavy vodičů je na obr. 12, ve kterém jsou čísla 1,2,3 označeny jednotlivé vodiče.



Obr. 12: Prostorové rozložení efektivní hodnoty velikosti magnetické indukce v okolí vodičů trojfázové soustavy uvnitř budov

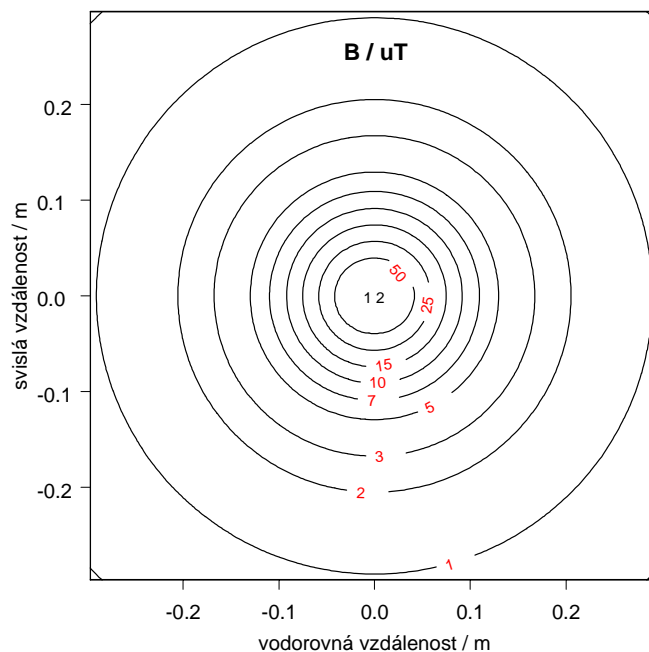
Z obrázku je patrné, že ještě v kruhu o poloměru asi 2,5 m je pole dostatečně silné na to, aby obrazovku ovlivnilo. To tedy znamená, že vede-li takové vedení např. ve stropě, je schopné rušit obrazovky prakticky v celé místnosti pod a nad ním. Na tomto místě je ještě jednou dobré připomenout, že referenční hodnota pro obyvatelstvo je v případě tohoto vedení splněna již v kruhu o poloměru 0,5 m od vedení. Na tuto vzdálenost není většinou díky tloušťce zdiva



možné se přiblížit. A i kdyby náhodou bylo možné se dostat blíže, tak ze zkušeností s měřením pole u takových vodičů plyne, že maximální přípustná hodnota nebývá překročena ani v těsné blízkosti takového vodiče, což souvisí se silnou nehomogenitou takového pole.

### VIII. Vedení v bytě

Jako zástupce klasických vedení, které se nacházejí v rodinných domech či bytech, je zde uveden dvoudrátový vodič přenášející 1 fázi, takový, že po jedné žíle vedení jde proud do bytu a druhou se vrací zpět. Tento vodič je často označován jako bifilární. Rozložení magnetického pole v okolí tohoto vodiče je na obr. 13, na kterém jsou vodiče označeny čísly 1,2. Při tomto výpočtu byl uvažován proud procházející vodičem o velikosti 30 A, což bývá většinou maximální hodnota pojistek v domech či bytech. Z obrázku lze vyzorovat, že z hlediska vlivu magnetického pole na organismus nemá takovýto vodič praktický žádný význam, neboť referenční hodnota je u něj splněna již při vzdálenosti jednotek centimetrů od vodiče a jak bylo řečeno v bodě 8, ani v těsné blízkosti takových vodičů není překročena maximální přípustná hodnota. Z hlediska vlivu magnetického pole je tento vodič zajímavý opět pro působení na obrazovky televizorů a počítačových monitorů. Bude-li totiž monitor či televizor vzdálen blíže než asi 10 cm od tohoto vodiče, může na něm být pozorováno mírné chvění obrazu. V tomto případě však stačí obrazovku umístit o pár desítek centimetrů dále a rušení se již projevovat nebude.

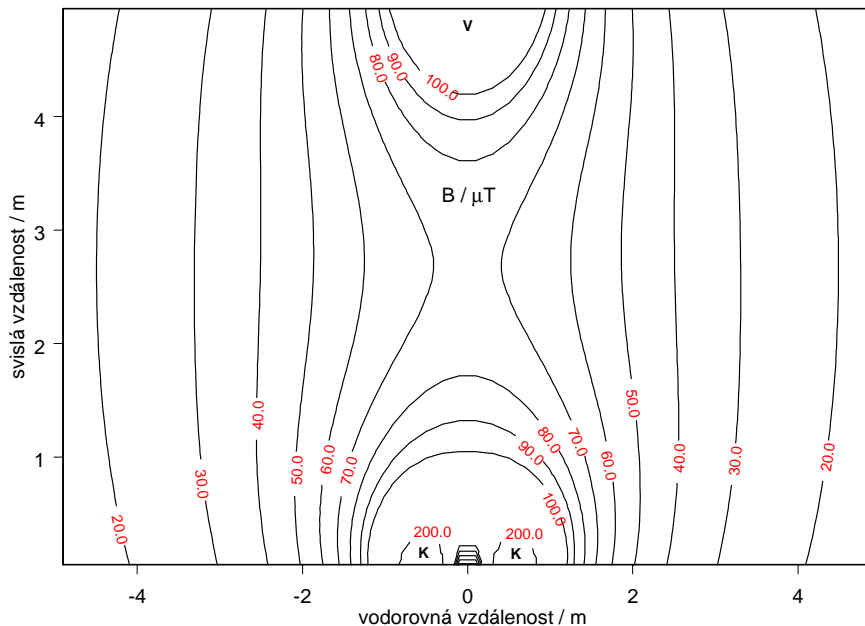


Obr. 13: Prostorové rozložení efektivní hodnoty velikosti magnetické indukce v okolí vedení v bytě

### IX. Vedení stejnosměrné trakce

Velmi častým zdrojem magnetického pole jsou tramvaje a vlaky. V tomto odstavci bude pojednáno pouze o případě napájení stejnosměrným proudem, což je dnes prakticky jediná používaná varianta. Stejnosměrný proud je vytvářen dvojcestným usměrněním proudu s frekvencí 50 Hz a tedy ve skutečnosti obsahuje i střídavou složku, jejíž amplituda je rovna asi 10 % špičkové hodnoty proudu. Magnetické pole takové soustavy vodičů se skládá z dominantní stejnosměrné složky a malé střídavé složky. Jejich účinky je tedy možné počítat

zvlášť. Vedení jsou vždy tvořena tak, že vedením umístěným asi 5,5 m nad povrchem protéká proud do vozu a kolejemi je pak odváděn. Maximální hodnota proudu, na který je horní vedení konstruováno, je 1000 A, při odvodu proudu kolejemi se pak proud dělí a každou kolejí teče už jen 500 A. Jak již bylo uvedeno, pole obsahuje stejnosměrnou i střídavou složku. Tato střídavá složka má však komplikované frekvenční spektrum a jeho porovnání s referenční hodnotou je obtížné. Proto v tomto textu budeme uvažovat idealizovaný případ, kdy vedením prochází pouze stejnosměrný proud. Při přesném výpočtu se totiž ukazuje, že na hygienické hodnocení nemá tato aproximace velký vliv. Pro výše uvedený idealizovaný případ bylo vypočteno rozložení magnetického pole v okolí vodičů trakce a je uvedeno na obr. 14, písmeny K, respektive V, jsou na obrázku vyznačeny koleje, respektive horní vedení.



Obr. 14: Prostorové rozložení velikosti magnetické indukce v okolí vodičů stejnosměrné trakce s proudem 1000 A

Při porovnání s referenční hodnotou je možné použít příkladu uvedeného v odstavci V, kde bylo vypočteno, že ani v těsné blízkosti koleje není překročena referenční hodnota. Podobná situace nastává i u horního vodiče, u něj je však pohyb v takto malé vzdálenosti zakázán a proto hygienické posuzování je bezpředmětné. Co se týče působení pole na elektronkové obrazovky, může toto statické pole způsobovat pouze zabarvení či posun obrazu, může však působit i na velké vzdálenosti od vedení.

## X. Transformátory

Četné dotazy, které se týkají magnetických polí, jsou směřovány na transformátory. Ty se mohou vyskytovat buď jako napájecí transformátory pro blok domů či jako napájecí transformátory pro vozy tramvají či trolejbusů. Jelikož magnetické pole, které je v okolí transformátorů, má velmi složitý průběh, není možné se jeho výpočtem v tomto textu zabývat do podrobností. Podle našich zkušeností s měřením polí u nejrůznějších typů transformátorů lze říci, že pole v okolí i velkovýkonových transformátorů, např. transformátorů pro napájení měniřů pro vozy metra, je vzhledem k referenční hodnotě nevýznamné. Tento jev lze vysvětlit následovně. Stejně jako pro elektrický proud představují dobré vodiče malý odpor, tak pro magnetické pole jsou z hlediska šíření vhodné materiály s vysokou hodnotou

permeability, jako je např. železo, ze kterého je vyrobeno jádro transformátoru. Magnetické pole se tedy převážně drží uvnitř tohoto jádra a ven z transformátoru se dostane jen velmi malá část. Z hlediska funkce transformátoru představuje toto pole ztráty a je tedy konstruktéry drženo na co nejnižší úrovni. To je důvod, proč jsou pole v okolí transformátorů tak malá a z hlediska působení na člověka nemají žádný vliv.

## **XI. Závěr**

Překročení referenčních hodnot pro magnetická pole podle nařízení vlády č. 480/2000 Sb. pro 50 Hz nelze tedy v místech, kam se může dostat “ostatní osoba”, očekávat. Nicméně pohodu při sledování televize může pole od tramvají a silových vedení narušit.

Zpracovali: Lukáš Jelínek