

ENVIRONMENTÁLNÍ VLIVY VENKOVNÍCH VEDENÍ

Vlivy:

- majetkoprávní
- krajnotvorné (estetické)
- ekologické (flora, fauna, voda)
- technické (rušení)
- zdravotní
 - elektrické pole
 - magnetické pole
 - hluk

x snahy o nárůst přenosových schopností

Ochranná pásma nadzemních vedení =

souvislý prostor vymezený svislými rovinami vedenými po obou stranách vedení ve vodorovné vzdálenosti měřené kolmo na vedení, která činí od krajního vodiče vedení na obě jeho strany

- pro vodiče bez izolace

- a) U nad 1 kV a do 35 kV včetně 7 m,
- b) U nad 35 kV do 110 kV včetně 12 m,
- c) U nad 110 kV do 220 kV včetně 15 m,
- d) U nad 220 kV do 400 kV včetně 20 m,
- e) U nad 400 kV 30 m

Vliv elmag. pole generovaného el. vedením

Vliv nízkofrekvenčních polí (50, 60 Hz) na živé organismy zkoumán již 50 let.

Mnoho studií (vliv na molekulární činnost, genetické změny, nemoci) – statistický problém, nejednoznačné závěry (spíše malá korelace).

- el. pole – vyvolává povrchové náboje, proudy, živá tkáň el. pole redukuje (až o 8 řádů), vnitřní úroveň nižší než buněčná
- mag. pole – indukované el. pole, cirkulační proudy
- energie pole – absorpce živou hmotou

I přes nejistoty stanovení limitů řadou norem a doporučení:

- ENV 50166-1: Human exposure to electromagnetic field; Low frequency (0 Hz to 10 kHz). CENELEC 1995
 - 50 Hz mezní hodnoty, veřejnost
 - $E_{\max} = 10 \text{ kV/m}$
 - $B_{\max} = 640 \text{ } \mu\text{T}$

- 50 Hz mezní hodnoty, zaměstnanci
 - $E_{\max} = 30 \text{ kV/m}$
 - $B_{\max} = 1600 \text{ } \mu\text{T}$
- Směrnice ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) z roku 1999, schválena WHO
 - 50 Hz, trvalá expozice obyvatelstva
 - veřejnost
 - $E_{\max} = 5 \text{ kV/m}$
 - $B_{\max} = 100 \text{ } \mu\text{T}$
 - zaměstnanci
 - $E_{\max} = 10 \text{ kV/m}$
 - $B_{\max} = 500 \text{ } \mu\text{T}$

- ČR: Nařízení vlády 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením

- referenční hodnoty E_{\max} , B_{\max} (měřitelné) pro 50 Hz – zajistí nepřekročení nejvyšších přípustných hodnot indukovaných proudových hustot v těle J_{\max}

- veřejnost

- $J_{\max} = 2 \text{ mA} / \text{m}^2$

- $E_{\max} = 5 \text{ kV} / \text{m}$

- $B_{\max} = 100 \text{ } \mu\text{T}$

- zaměstnanci

- $J_{\max} = 10 \text{ mA} / \text{m}^2$

- $E_{\max} = 10 \text{ kV} / \text{m}$

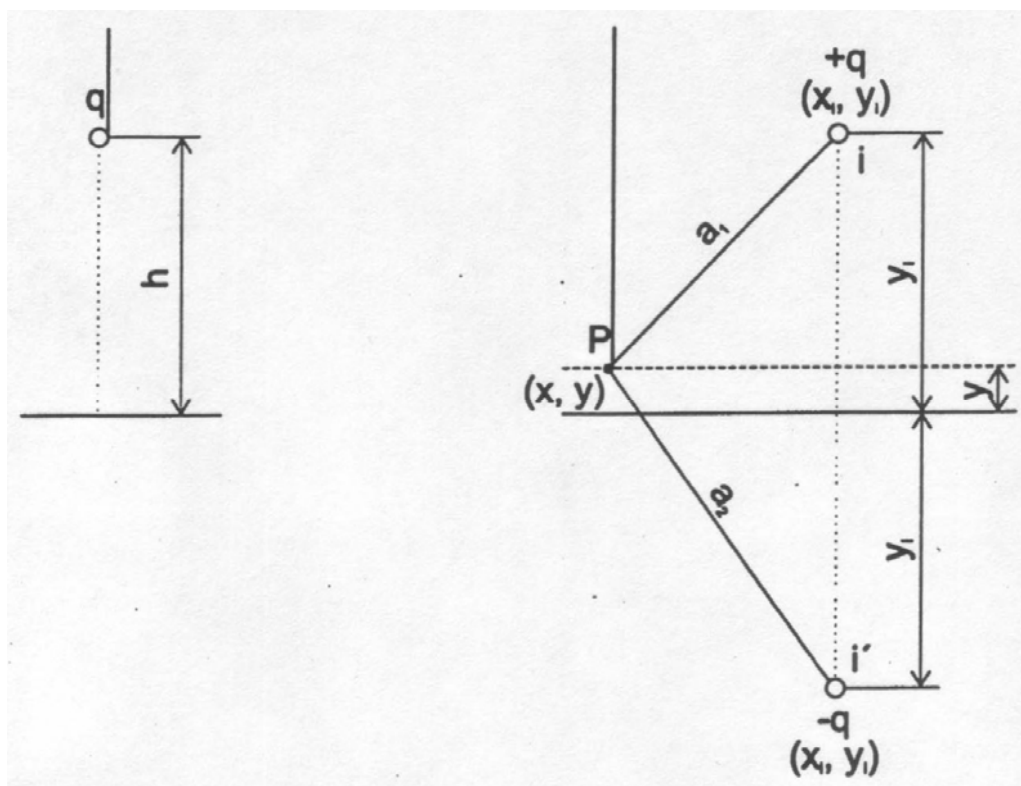
- $B_{\max} = 500 \text{ } \mu\text{T}$

- při překročení referenčních hodnot E, B se provádí měření na modelech lidského těla, zda nejsou překročeny max. hodnoty J
- ČSN 332040 (1993) - Ochrana před účinky elektromagnetického pole 50 Hz v pásmu vlivu zařízení elektrizační soustavy
 - pracovníci s elektrotechnickou kvalifikací na pochůzkových trasách a na pracovištích $E_{\max} = 15 \text{ kV/m}$
 - $E_{\max} = 15 \div 20 \text{ kV/m} \rightarrow 1,5 \text{ hod denně}$
 - $E_{\max} = 20 \div 25 \text{ kV/m} \rightarrow 0,5 \text{ hod denně}$
 - pásma vlivu elektroenergetických zařízení veřejně přístupných
 - $E_{\max} = 10 \text{ kV/m}$
 - $B_{\max} = 500 \text{ } \mu\text{T}$
 - pásmo vlivu od zařízení elektrizační soustavy je prostor, kde je
 - $E > 1 \text{ kV/m}$ ve výši 1,8 m nad zemí
 - $B > 100 \text{ } \mu\text{T}$ ve výši 1,0 m nad zemí

Výpočet elektrického pole

Konfigurace:

- liniové vodiče s délkovou hustotou náboje q (C/m)
- země ekvipotenciální plocha ($U = 0$) → metoda zrcadlení



Potenciál v libovolném bodě $P_{(x,y)}$ nad zemí

$$\varphi_P = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{a_2}{a_1} \quad (\text{V})$$

ε_0 permitivita vakua

$$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \approx 10^{-9} / 36\pi \text{ F/m}$$

$$\varphi_P = \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0} \ln \frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{(x - x_i)^2 + (y + y_i)^2}$$

Známe napětí, jeden vodič dořešen přímo:

$$u_i = \frac{q_i}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{2y_i}{r_i}$$

Vícevodičový systém (včetně zemnicích lan, $u_z = 0$) – dle principu výpočtu kapacit.

$$(\mathbf{u}) = (\delta)(\mathbf{q})$$

$$(\mathbf{q}) = (\delta)^{-1}(\mathbf{u})$$

Potenciálové součinitele

$$\delta_{i,i} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2y_i}{r_i}$$

$$\delta_{i,j} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{\sqrt{4y_i y_j + d_{i,j}^2}}{d_{i,j}}$$

Celkový potenciál v bodě P

$$\varphi_P = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{a_{2i}}{a_{1i}} \quad (\text{V})$$

Intenzita elektrického pole

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi \quad (\text{V/m})$$

$$E_x = -\frac{\partial \varphi_P}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial \varphi_P}{\partial y}$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}, \quad \vec{E} = E_x + jE_y$$

Případně pro každý vodič zvlášť (i zrcadlové obrazy)

$$\oiint \vec{D} d\vec{S} = Q$$

$$\varepsilon E \cdot 2\pi r l = q \cdot l$$

$$E = \frac{q}{2\pi\varepsilon r}$$

$$E_{x\Sigma} = \sum_{i=1}^n E_{xi}, \quad E_{y\Sigma} = \sum_{i=1}^n E_{yi}$$

Napětí, náboje i el. pole proměnné v čase
(i fázové posuvy!).

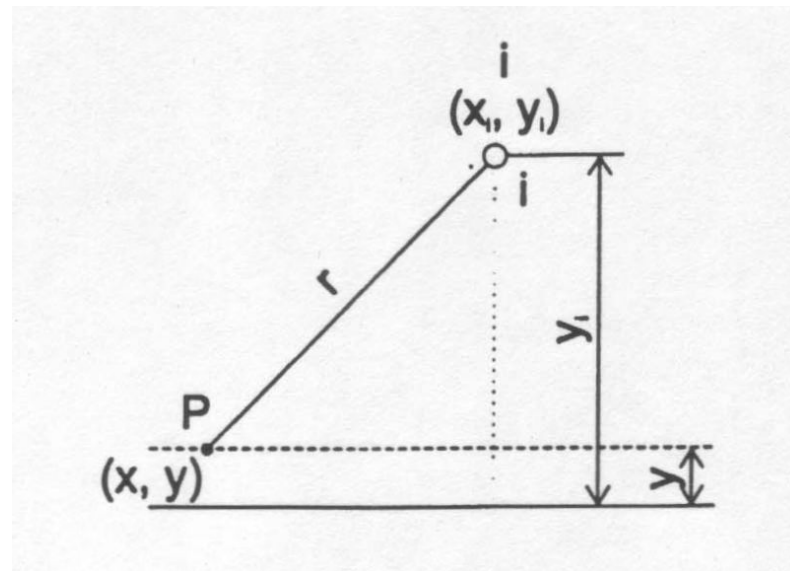
$$\begin{aligned}(\mathbf{q}(t)) &= (\delta)^{-1}(\mathbf{u}(t)) \\ (\hat{\mathbf{Q}}) &= (\delta)^{-1}(\hat{\mathbf{U}})\end{aligned}$$

Výpočet magnetického pole

Konfigurace:

- liniové vodiče zatížené proudem i (A)
- proudy zemnicími lany vypočteny pomocí impedanční matice

$$\begin{pmatrix} \Delta \hat{U}_v \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{Z}_{vv} & \hat{Z}_{vz} \\ \hat{Z}_{zv} & \hat{Z}_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{I}_v \\ \hat{I}_z \end{pmatrix}$$



Ampérův zákon

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

Magnetická indukce v bodě $P_{(x,y)}$ vně vodiče

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad (\text{T})$$

μ_0 permeabilita vakua

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

Složky

$$B_x = \pm B \cdot \sin\left(\arctg\left|\frac{y_i - y}{x_i - x}\right|\right)$$

$$B_y = \pm B \cdot \cos\left(\arctg\left|\frac{y_i - y}{x_i - x}\right|\right)$$

Celkové hodnoty v bodě P

$$B_{x\Sigma} = \sum_{i=1}^n B_{xi} , \quad B_{y\Sigma} = \sum_{i=1}^n B_{yi}$$

$$B_{\Sigma} = \sqrt{B_{x\Sigma}^2 + B_{y\Sigma}^2} , \quad \vec{B}_{\Sigma} = B_{x\Sigma} + jB_{y\Sigma}$$

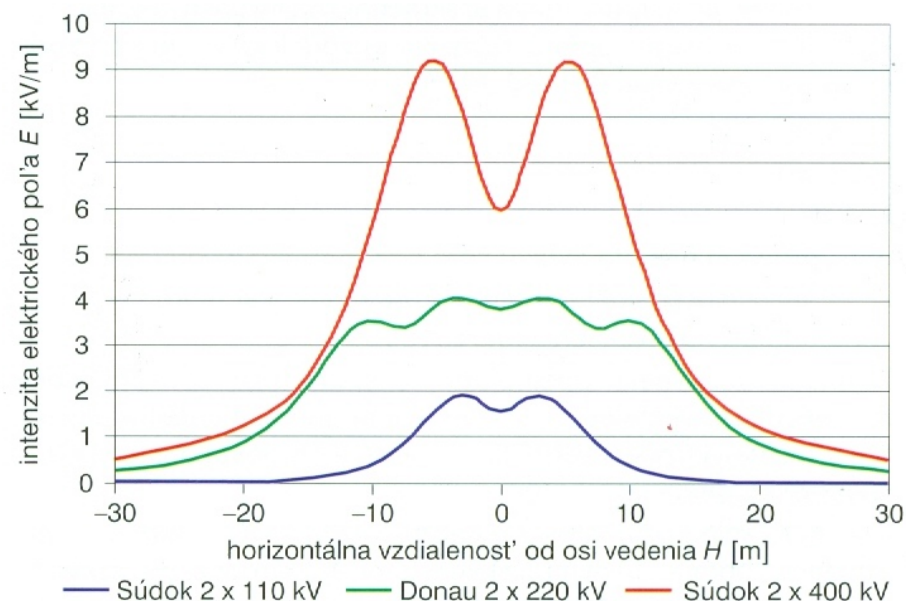
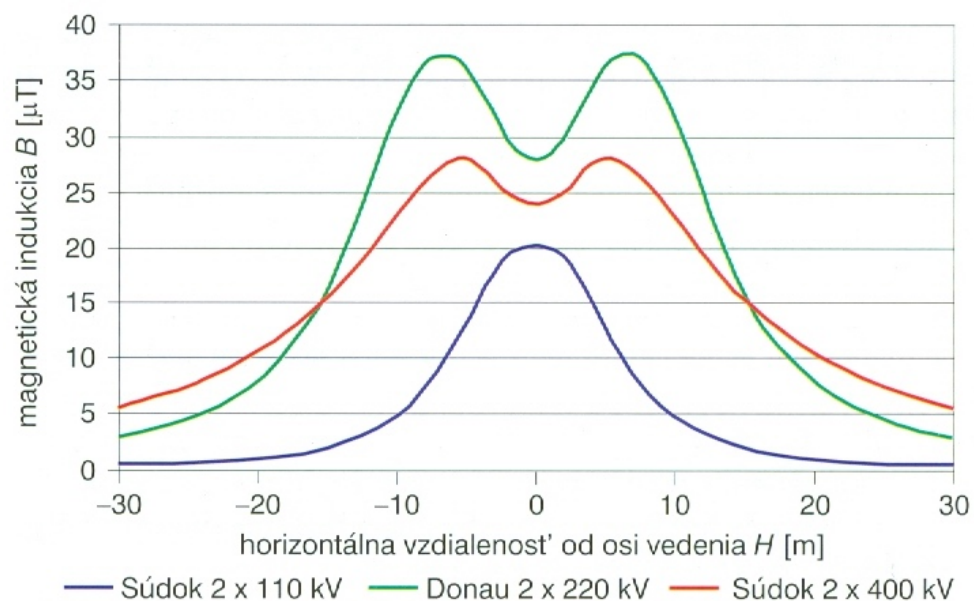
Proudy i mag. pole proměnné v čase.

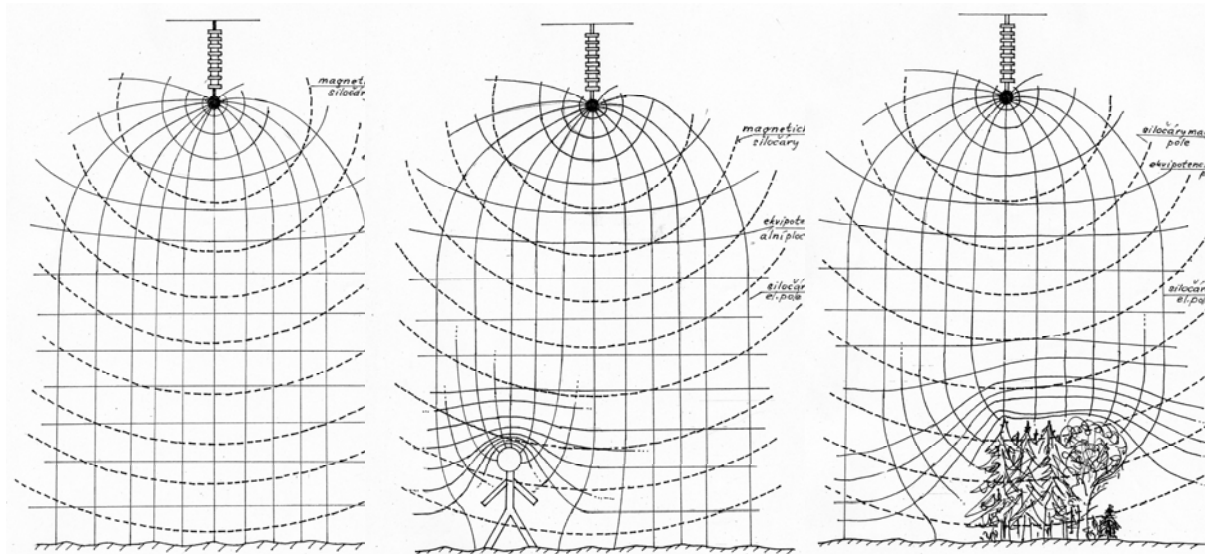
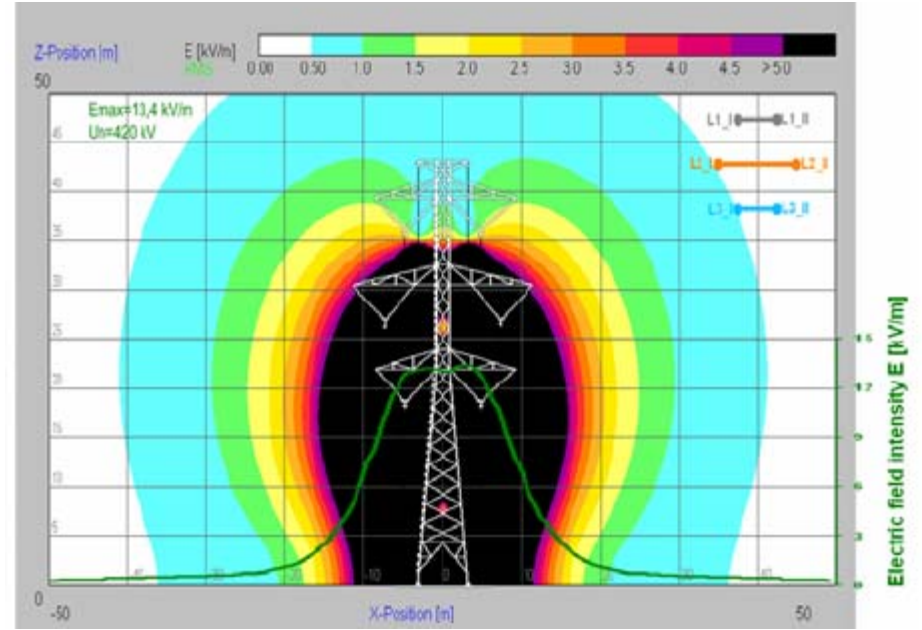
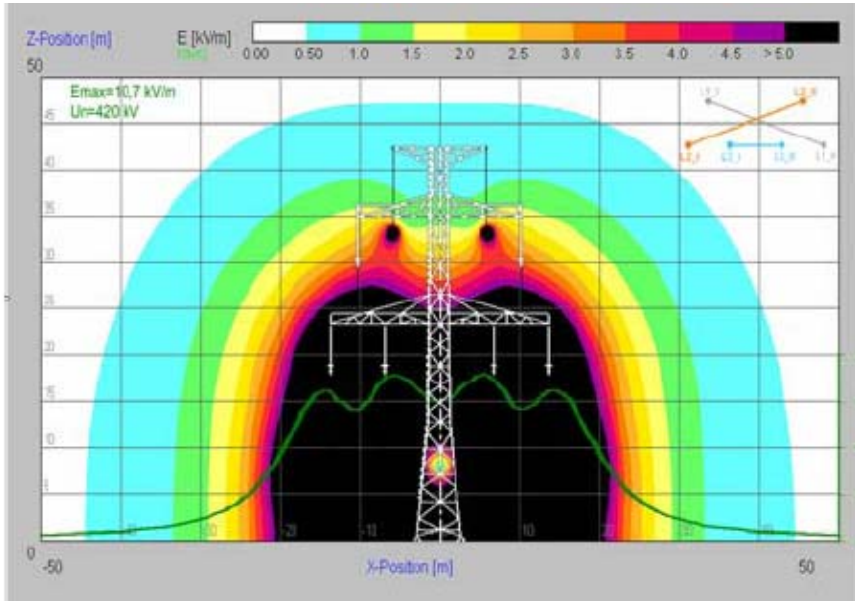
$$B(t) = \frac{\mu_0 i(t)}{2\pi r} \quad (\text{T})$$

Z hlediska vlivu na okolí 2 úlohy:

- nalezení časového maxima v dané oblasti (řezu pod vedením)
- optimalizace vedení s cílem minimalizovat hodnoty pole

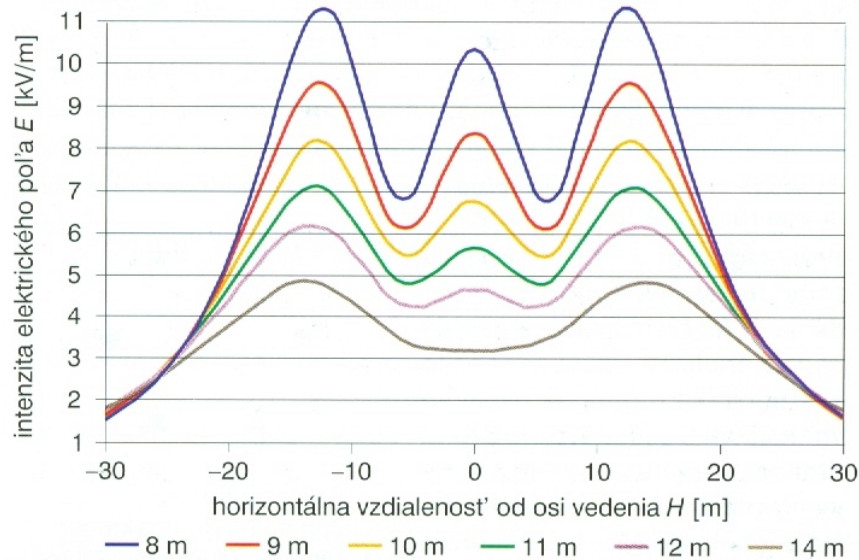
Soudek 2 x 110 kV, 650 A, vodič min. 6 m nad zemí
Donau 2 x 220 kV, 1000 A, vodič min. 7 m nad zemí
Soudek 2 x 400 kV, 1000 A, vodič min. 8 m nad zemí



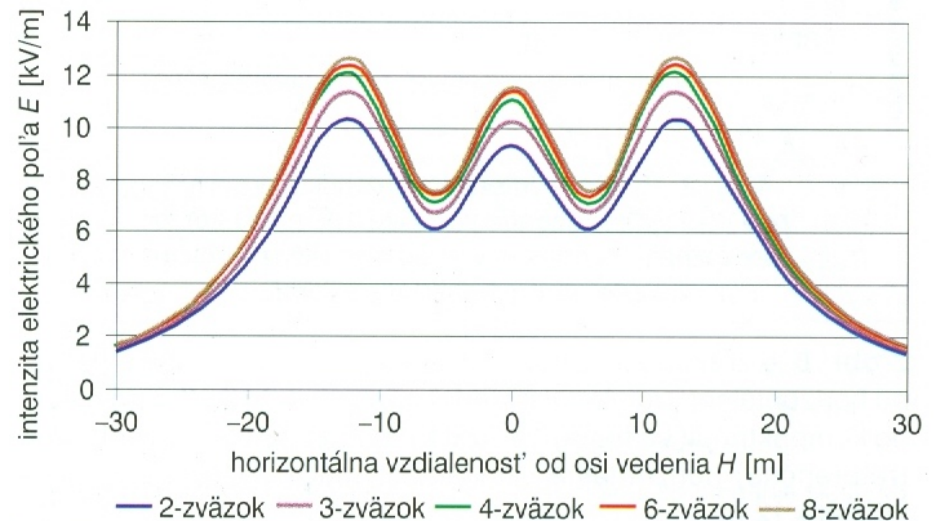


Řízení elektrického pole

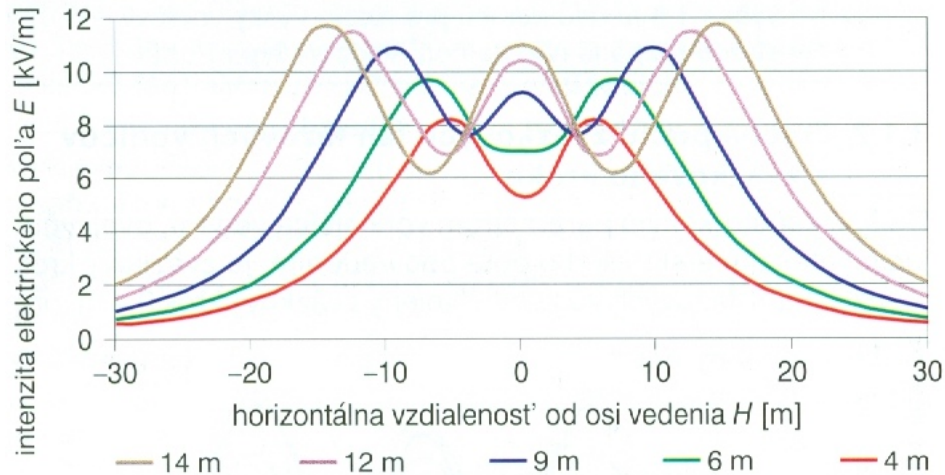
- zvětšení vzdálenosti fázových vodičů od země *x mech. napětí*
- snížení napětí – limity až $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ *x ztráty*
- počet svazkových vodičů a krok svazku – menší krok *x koróna*
- vzdálenost vodičů (kompaktnost vedení) *x bezpečnost*
- sled fází – u vícenásobných vedení
- stínící lana pod vedením – také budovy či vegetace



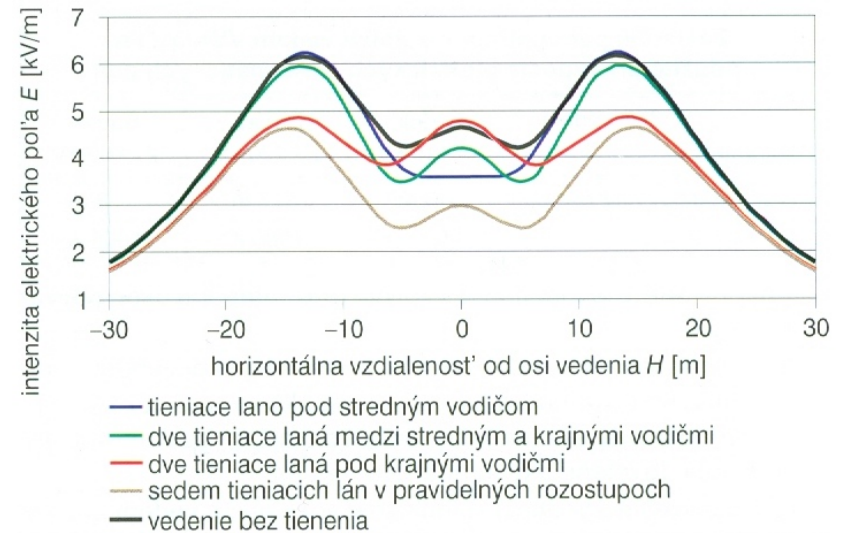
Obr. 5. Priebehy intenzity elektrického poľa E vo výške 1,8 m nad zemou pre rôzne výšky vodičov v strede rozpätia nad zemou, vedenie typu Portál



Obr. 6. Priebehy intenzity elektrického poľa E pod vonkajším vedením typu Portál vo výške 1,8 m nad zemou pre rôzne počty zväzkových lán pri minimálnej výške fázových vodičov v strede rozpätia nad zemou 8 m



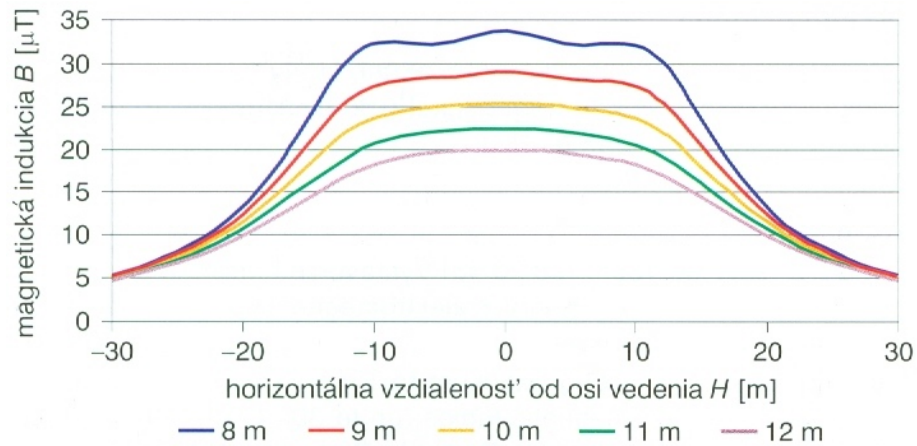
Obr. 8. Priebehy intenzity elektrického poľa E pod vonkajším vedením vo výške 1,8 m nad zemou pre rôzne horizontálne vzdialenosti medzi vodičmi vedenia 1×400 kV typu Portál



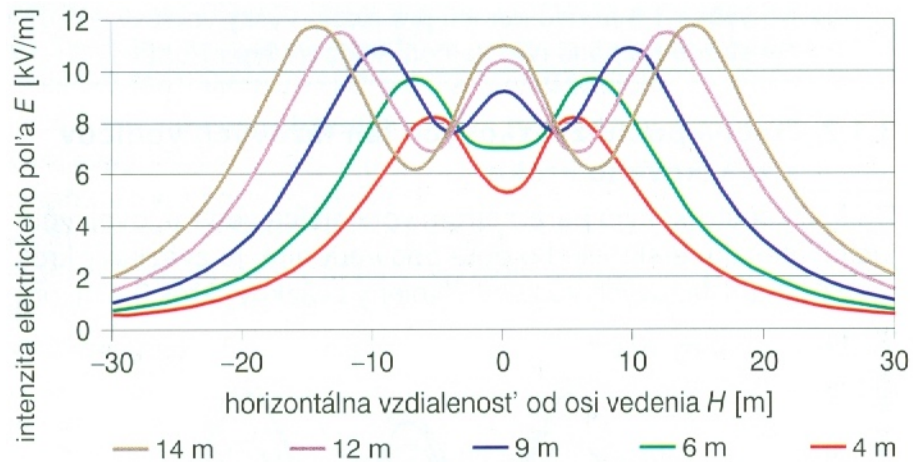
Obr. 9. Účinok tieniacich lán inštalovaných 4 m pod fázovými vodičmi vedenia 1×400 kV typu Portál na rozloženie intenzity elektrického poľa E

Řízení magnetického pole

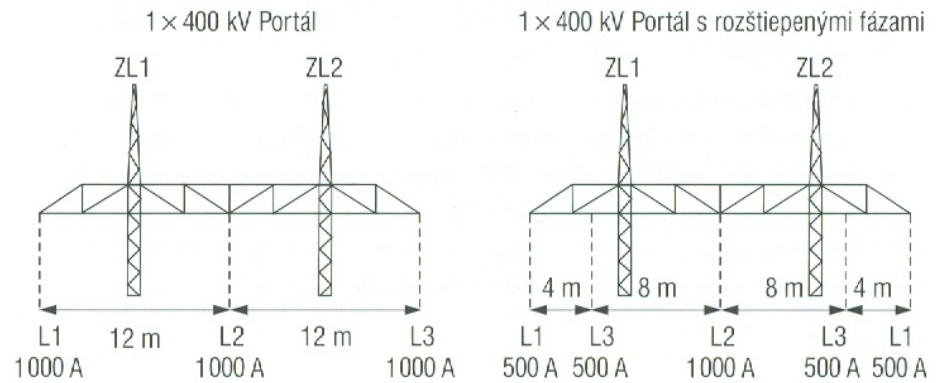
- zväčšení vzdálenosti fázových vodičů od země
- snížení proudu
- vzdálenost vodičů (kompaktnost vedení) \times bezpečnost
- párování vodičů, rozštěpení vedení (split phase)
- stínící lana s indukovanými proudy
- sled fází – u vícenásobných vedení



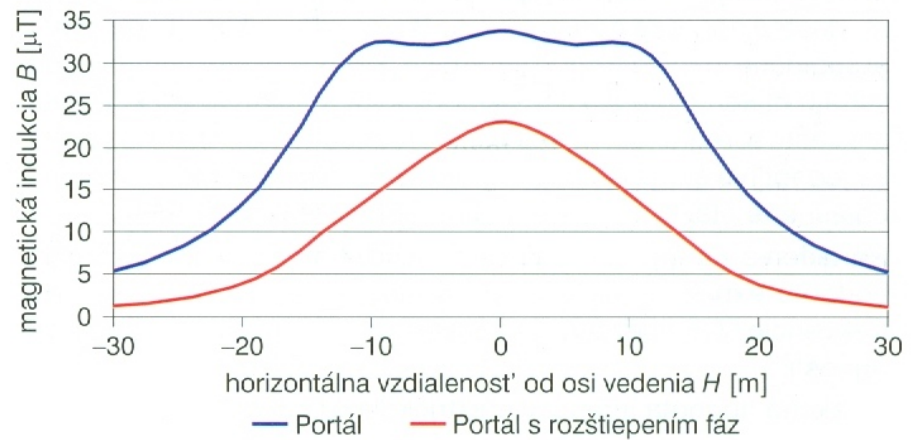
Obr. 11. Priebehy magnetickej indukcie B vo výške 1,8 m nad zemou pre rôzne výšky fázových vodičov vedenia 1 × 400 kV typu Portál nad zemou



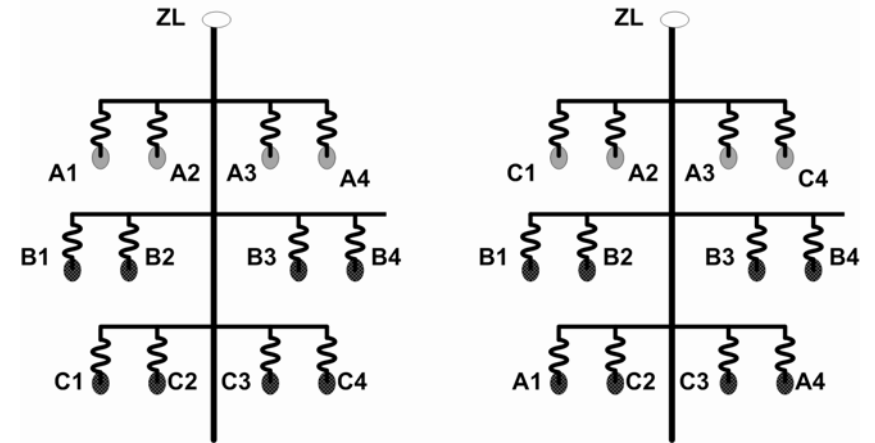
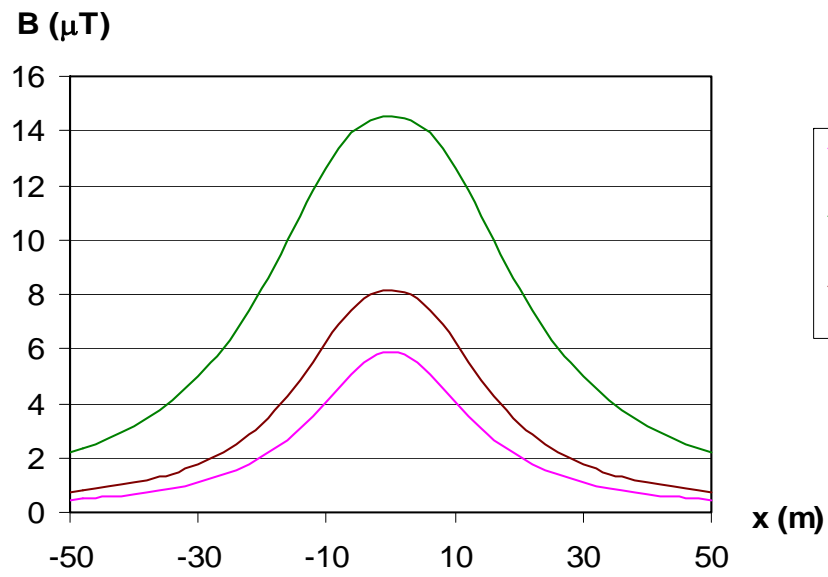
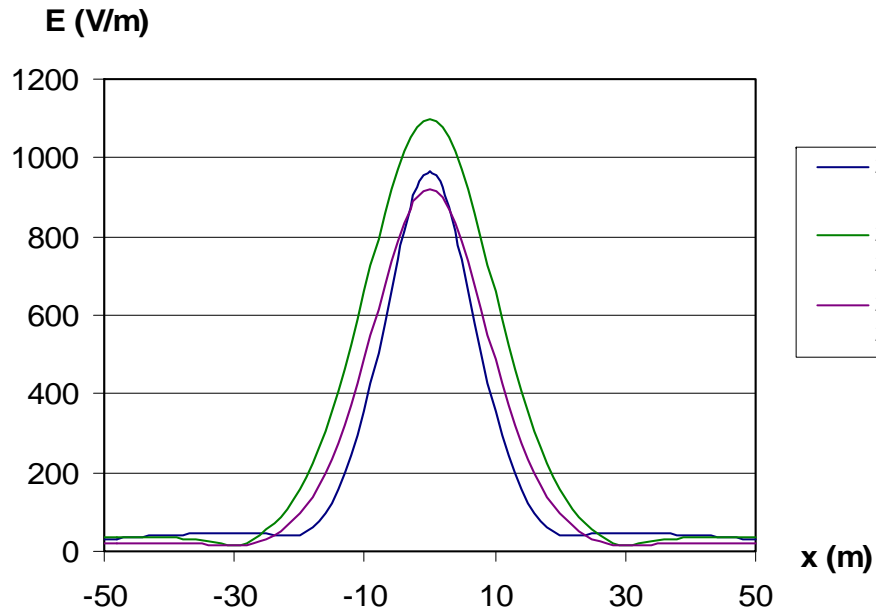
Obr. 8. Priebehy intenzity elektrického poľa E pod vonkajším vedením vo výške 1,8 m nad zemou pre rôzne horizontálne vzdialenosti medzi vodičmi vedenia 1 × 400 kV typu Portál

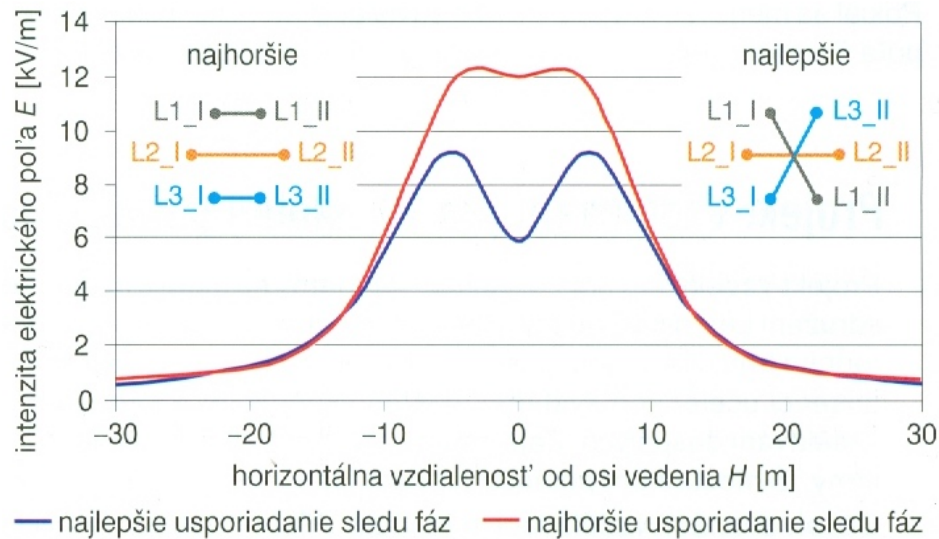


Obr. 13. Možné spôsoby riešenia rozštiepenia prúdov všetkých troch fáz

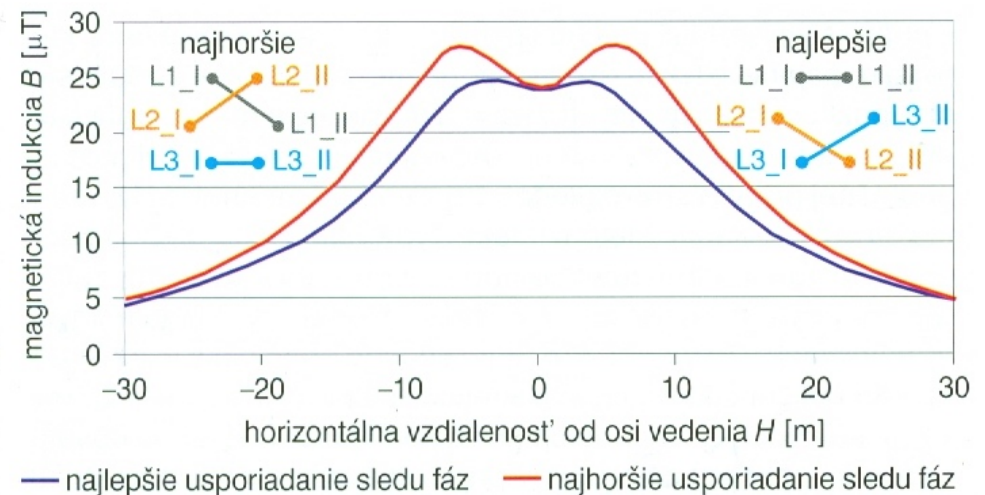


Obr. 14. Vplyv rozštiepenia fáz L1 a L3 na úroveň magnetickej indukcie B vo výške 1,8 m nad zemou v strede horizontálneho rozpätia stožiaru typu Portál





Obr. 15. Vplyv zmeny sledu fáz na úroveň intenzity elektrického poľa E pod vonkajším vedením 2×400 kV typu Súdok vo výške 1,8 m nad zemou pri najmenej výške vodičov 8 m nad zemou v strede rozpätia



Obr. 16. Vplyv zmeny sledu fáz na úroveň magnetickej indukcie B pod vonkajším vedením 2×400 kV typu Súdok vo výške 1,8 m nad zemou pri výške vodičov 8 m nad zemou v strede rozpätia

Hluk venkovních vedení

Nadměrný hluk – vliv na nervový a kardiovaskulární systém, zhoršuje, učení, paměť, komunikaci,...

Legislativa

- doporučení WHO 55dB pro venkovní prostory přes den
- ČR
 - zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů (dle směrnice EU 2002/49/ES)
 - nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Denní doba 6:00 – 22:00, noční doba.
- Chráněný venkovní prostor – nezastavěné pozemky, které jsou užívány k rekreaci, sportu, léčení a výuce, s výjimkou prostor určených pro zemědělské účely, lesů a venkovních pracovišť.

- Chráněný venkovní prostor staveb – prostor do 2 m okolo bytových domů, rodinných domů, staveb pro školní a předškolní výchovu a pro zdravotní a sociální účely, jakož i funkčně obdobných staveb.
- Hodnoty hluku se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$. V denní době se stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhluchnějších hodin ($L_{Aeq,8h}$), v noční době pro nejhluchnější 1 hodinu ($L_{Aeq,1h}$).
- Venkovní vedení = další stacionární zdroje hluku
 - Pro venkovní prostory
 $L_{A_{den}} = L_{A_{noc}} = 50$ dB
 - Pro chráněné venkovní prostory staveb
 $L_{A_{den}} = 50$ dB, $L_{A_{noc}} = 40$ dB

Úroveň hluku od zdrojů

Ekvivalentní hladina A zvuku

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (\text{dB})$$

$p_A(t)$ (Pa) je průběžná efektivní hodnota časové funkce akustického tlaku váženého frekvenční korekční křivkou A (respektování lidského vjemu)

T (s) je integrační interval, $T = t_2 - t_1$

p_0 je referenční akustický tlak (mez slyšitelnosti průměrného jedince)
 $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Intenzita zvuku I (je možné ji od více zdrojů lineárně sčítat)

$$I = \frac{P}{S} \quad (\text{W} / \text{m}^2)$$

Obecně platí, že $I \sim p^2$. Odtud

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{dB})$$

I_0 mez slyšitelnosti

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Více zdrojů hluku

Intenzity hluku

$$I_\Sigma = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$I_0 \cdot 10^{L_\Sigma/10} = I_0 \cdot 10^{L_1/10} + \dots + I_0 \cdot 10^{L_n/10}$$

Odtud hladina hluku

$$L_\Sigma = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}$$

Příklady k určité hladině hluku:

- 160 dB – start kosmických lodí (až 200 dB)
- 150 dB – některé sopečné výbuchy
- 140 dB – proudová letadla, některé sirény
- 130 dB – kotlářny apod., ale i vypouštění páry a plynů pod tlakem
- 120 dB – válcovací stolice, buchary, nízko přeletující letadla, hromu
- 110 dB – hlučné dílny, uvnitř orchestru
- 100 dB – v blízkosti vlaků, těžkých nákladních aut, lanovek atd.
- 90 dB – hlučné křižovatky, pneumatická vrtačka
- 80 dB – auta, motocykly, hlučné ulice, posluchačem vnímaný zvuk orchestru
- 70 dB – statické (nehybné) stroje
- 60 dB – středně hlučné ulice
- 50 dB – normální hovor, tiše jedoucí automobil, tiché ulice
- 40 dB – tiché kanceláře
- 30 dB – zahrady, tichá obydlí

- 20 dB – šeptaný hlas
- 0 dB – práh vnímání zvuků a bezzvukovost

Hluk venkovních vedení

Zdroj

- vítr – širokopásmový, turbulence, výjimečně jednofrekvenční
- „hum“ – 100 Hz, magnetostrikce, více u TRF
- koróna
 - širokopásmový, slyšitelný obvykle jen při mlze, dešti, vlhkosti
 - ionizace vzduchu v okolí vodiče díky el. poli
 - ovlivněno i kvalitou povrchu vodiče

Znalost nábojů jednotlivých vodičů Q (C/m).

Intenzita elektrického pole v okolí vodiče

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{V / m})$$

V případě n-svazku bude na každém dílčím vodiči náboj Q/n , tudíž průměrná intenzita E bude činit

$$E_1 = \frac{1}{n} \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{V/m})$$

Jestliže bude krok svazku a (m) pak pro maximální povrchovou hodnotu E bude přibližně platit

$$E_{\max} = E_1 \cdot \left(1 + \frac{(n-1) \cdot r}{a} \right) \quad (\text{V/m})$$

Povrchová intenzita E_{\max} má vliv na přítomnost koronového výboje, který způsobuje hluk poblíž vedení.

Spousta vztahů pro výpočet hluku.

Např. dle CIGRE:

$$L = 3,5 \cdot E_{\max} + 12 \cdot r - 33 \log D - 30 \quad (\text{dB})$$

$$E_{\max} \text{ (kV/cm), } r \text{ (cm), } D \text{ (m)}$$

Typical OHL configuration	Basic support tower height N+0/(m)	Maximal surface electrical gradient ³⁾	Weather type	Maximal audible noise level under OHL ⁴⁾ , 1,8 m high	Audible noise level at the OHL protective zone border ⁵⁾ , 1,8 m high
(-)	H (m)	E (kV.cm ⁻¹)	(-)	L _A (dB)	L _B (dB)
1x400kV HORIZ Phase conductors 1x3x3AlFe450/52 ¹⁾ Ground wires 2xAlFe180/59	N+0 30,22 (m)	13,58	fair weather	18,64	12,25
			rainy weather	43,64	37,25
			heavy rain	47,14 ^N	40,75 ^N
2x400kV DANUBE Phase conductors 2x3x3AlFe450/52 Ground wires 2xAlFe180/59	N+0 41,6 (m)	14,92	fair weather	23,93	19,23
			rainy weather	48,93 ^N	44,23 ^N
			heavy rain	52,43 ^N	47,73 ^N

1x220kV HORIZ Phase conductors 1x3x1AlFe450/52 Ground wires 2xAlFe180/59	N+0 25,0 (m)	15,40	fair weather	22,01	16,10
			rainy weather	47,01 ^N	41,10 ^N
			heavy rain	50,51 ^{N,D}	44,60 ^N
1x220kV HORIZ Phase conductors 1x3AlFe350/59 Ground wires 2xAlFe180/59	N+0 25,0 (m)	16,21	fair weather	23,97	18,07
			rainy weather	48,97 ^N	43,07 ^N
			heavy rain	52,47 ^{N,D}	46,57 ^N
2x220kV DANUBE Phase conductors 2x3x1AlFe 350/59 Ground wires 1xAlFe 180/59	N+0 38,2 (m)	17,09	fair weather	28,52	23,85
			rainy weather	53,52 ^{N,D}	48,85 ^N
			heavy rain	57,02 ^{N,D}	52,35 ^{N,D}
2x220kV DANUBE Phase conductors 2x3x2AlFe 350/59 Ground wires 1xAlFe 180/59	N+0 38,2 (m)	12,98	fair weather	13,35	8,87
			rainy weather	38,35	33,87
			heavy rain	41,85 ^N	37,37

■ **L1 II**

■ **L3 I** ■ **L1 I** ■ ■ **L3 II**

2x400 kV OHL DANUBE

I. CIRCUIT 2x400 kV OHL DANUBE

II. CIRCUIT 2x400 kV OHL DANUBE

		^a L2=12,72 (kV.cm ⁻¹)	^b L2=12,74 (kV.cm ⁻¹)		^a L1=12,73 (kV.cm ⁻¹)	^b L1=12,71 (kV.cm ⁻¹)		
		^c L2=12,92 (kV.cm ⁻¹)			^c L1=12,92 (kV.cm ⁻¹)			
^a L3=14,41 (kV.cm ⁻¹)	^bL3=14,92 (kV.cm⁻¹)	^a L1=14,82 (kV.cm ⁻¹)	^b L1=14,39 (kV.cm ⁻¹)		^a L2=14,39 (kV.cm ⁻¹)	^b L2=14,81 (kV.cm ⁻¹)	^a L3=14,91 (kV.cm ⁻¹)	^b L3=14,41 (kV.cm ⁻¹)
^c L3=14,52 (kV.cm ⁻¹)		^c L1c=14,50 (kV.cm ⁻¹)			^c L2=14,50 (kV.cm ⁻¹)		^c L3=14,52 (kV.cm ⁻¹)	

Note: L1, L2, L3 – 1st or 2nd system phases; a,b,c – partial wires of 3-bundles

E_p maxima on partial wires AlFe 450/52 of 3-bundles 2x400kV OHL DANUBE