



Tudományos Diákköri Dolgozat

Középfeszültségű szabadvezetékek elektromos terének számítása a
gyakorlatban

/ Practical calculation of the electric field strength of medium-voltage
overhead lines /

Belső konzulensek: Elmer György, Ph.D. /egyetemi docens/
Klincsik Mihály, Ph.D. /kandidátus/

Külső konzulens: Maza Gábor /E-ON Dél-dunántúli Áramhálózati Zrt./

Készítette: Pap Attila
/villamosmérnök hallgató/

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
1. Bevezetés	3
1.1 A kutatás tárgya és körülményei	3
1.2 Középfeszültségű szabadvezetékek jellemzői	4
2. Térszámítás	10
2.1 Ipari frekvenciás villamos térerősség származtatása	10
2.2 Ipari frekvenciás villamos térerősség számítása	17
3. Értékelés	29
3.1 Számítások értelmezése	29
3.2 Eredmények vizsgálata szoftveres környezetben	30
4. Összefoglalás	34
5. Tárgymutató	35
5.1 Irodalomjegyzék	35
5.2 Melléklet	35
6. Köszönetnyilvánítás	36
7. Nyilatkozat	36

1 Bevezetés

1.1 A kutatás tárgya és körülményei

A távvezetékek létesítésekor napjainkban azoknak már meg kell felelnünk a létesítési szabvány és a létesítéshez kapcsolódó rendeletek mellett a rájuk vonatkozó egészségügyi előírásoknak is.

A távvezetékek elektromágneses terének lakossági egészségügyi hatásaira vonatkozó előírásokat Magyarországon törvénybe foglalva (1997. évi CLIV. törvény 247. paragrafus (2) bekezdés, de) illetve df) pontja) fektették le, ami alapján rendeletet adtak ki.

A rendeletben foglaltakat a lakosságnak az elektromos, mágneses és elektromágneses terek expozíciójából - elektromos illetve mágneses térnek való kitettsége - származó káros hatások elleni védelmére, illetve annak egészségügyi követelményeire kell alkalmazni.

Továbbá a lakosság expozíciójának várható mértékét, a vonatkoztatási határértékek - a gyakorlatban végzett expozíciós mérések eredményeiből levont következtetések - betartását a fővárosi és megyei kormányhivatal népegészségügyi szakigazgatási szervének Sugár-egészségügyi Decentrumai ellenőrzik. (63/2004 VII. 26 ESzCsM rendelet). Ezért minden egyes leadott szabadvezeték létesítéséről, cseréjéről szóló terv dokumentációban az előírásoknak megfelelően kötelesség lenne a lakossági expozíció figyelembe vételével kivitelezést teljesíteni.

Az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat (ÁNTSZ) a 63/2004 (VII. 26) ESzCsM rendelet 4§, (1) bekezdés a) pontjában szereplő előzetes számításokra hivatkozva előírja a távvezetékek térerősségének számítását.

1.2 Középfeszültségű szabadvezetékek jellemzői

A villamosenergia átvitelét és elosztását a villamosenergia-rendszer biztosítja, amelynek szerves részét képezik a távvezetékek. A villamosenergia jelentős része távvezetékek segítségével kerül továbbításra, melyek közül a középfeszültségű szabadvezetékek kerülnek a jelen dolgozatban vizsgálatra.

A szabadvezetékek fogalma az *MSZ 151-1:2000* erősáramú szabadvezetékekkel foglalkozó szabvány szerint definiálható, miszerint az erősáramú szabadvezetékek a villamos energia átvitelére, elosztására szolgáló - *szabadtéren, tartószerkezeteken elhelyezett, szigetelőkre szerelt, föld feletti csupasz vagy burkolt* - vezetékek.

A szabadvezetékek közül a jelen dolgozat a középfeszültségű háromfázisú szabadvezetékekkel foglalkozik, azok lehetséges legnagyobb belógásának statikus helyzetére vonatkozóan, azonban a szabadvezetékek főbb részeit képezik a vezetők, szigetelők, a tartószerkezet és a szerelvény, tovább alapozásuk és földelésük.

A szabadvezetéseket a villamos szempontból történő vizsgálat esetén természetesen mechanikai szempontból is vizsgálni kell, ugyanis a mechanikai jellemzők, illetve a mechanikai igénybevétel kihatással van a távvezeték villamos jellemzőire is.

1.2.1 Szabadvezetékek szerkezete

A szabadvezetékek leggyakoribb esetben olyan vezetékek, amelyeket vezetéksodrony alkotnak, tehát sodronyvezetők. A dolgozat sodronyos szabadvezetéseket vizsgál (*1.1 ábra*). A sodrony szerkezetet hajlékonysága és biztonsága végett alkalmazzák a szabadvezetékek esetében.

A sodrony szerkezeti részei:

- Belső elemi szál, amely köré 6 huzalból álló réteg van sodorva (a nagyobb keresztmetszet esetén erre újabb réteg kerül az előző sodrási iránnyal ellentétesen, így a második réteg már 12 huzalból fog állni.)

- Külső elemi szál vagy szálak - A rétegek száma legfeljebb 4 lehet (feszültség átviteli igény szerint, azaz keresztmetszet szerint) minden réteg 6-al több huzalt tartalmaz, mint az alatta lévő réteg.

Például:

- Hogyha egyrétegű a sodrony, akkor $1 + 6 = 7$ lesz a sodrony eleminek száma.
- Hogyha kétrétegű a sodrony, akkor $1 + 6 + 12 = 19$ lesz a sodrony elemeinek száma.



1.1 ábra. Szabadvezeték-sodronyok

A sodrony szerkezetéből kiindulva megállapítható, hogy a sodronyt alkotó vezetők és maga a sodrony mechanikai tulajdonságai eltérőek lesznek:

- A sodrony az azonos hosszúságú sodronyhuzalokhoz képest súlytöbblettel rendelkezik, amely átlagosan 3%.
- A sodrony szakítószilárdsága a sodronyhuzalokhoz képest kisebb lesz. Ennek oka a tengelyirányú húzóerő, amely a huzalokat húzásra és csavarásra is igénybe veszi.
- A többrétegű sodrony sodronyhuzalai általában nem egyforma hosszúságúak, ezért igénybevételük rétegenként más lehet.
- Továbbá a sodrony E_s rugalmassági tényezője kisebb az azt alkotó huzalok E_h rugalmassági tényezőinek összegénél

$$E_s = 0,85 \cdot E_h.$$

1.2.2 Szabadvezetékek anyaga

A szabadvezetékek konstruálása során természetesen olyan anyagokat használnak fel, amelyekből sodrony készíthető ezek sodronyszerkezetű anyagok. A szabadvezetékek sodronyszerkezet típusai pl. a következők:

- Alumínium vezetéksodrony, amelynek jele *ASC (Aluminium Stranded Conductor)*.
- Ötvözött alumínium vezetéksodrony, amelynek jele *AASC (Aluminium Alloy Stranded Conductor)*.
- Alumínium vezetéksodrony acél erősítéssel, amelynek jele *ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)*.

A vezetéksodronyok bizonyos keresztmetszettel készülnek, mégpedig 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400, 500, 640, 1000 mm². Szabadvezeték 35 mm²-nél kisebb sodronyból nem létesülhet.

A keresztmetszet kiválasztásakor, pl. egy ACSR vezeték esetén az alumínium és acél együttesét kell számításba venni, vagyis a keresztmetszet 240 / 50 mm². A korábbiakban felsorolt sodronyok mellett rézsodronyok is léteznek, azonban a gyakorlatban az átviteli és vagy elosztóhálózatokban alumínium és acél-alumínium sodronyt használnak. A tiszta acélsodronyt kizárólag védővezetőként alkalmazzák.

1.2.3 Szabadvezetékek mechanikai igénybevétele

A gyakorlatban a szabadvezetéseket szigetelőkre építik, tehát a szabadvezetéseket szigetelőre szerelt sodronynak tekintjük, a szigetelőre szerelt szabadvezeték - saját pótteherrel rendelkező terhelése mellett - eltérő eredetű terheléseknek van kitéve. Az eltérő terheléseket az MSZ 151-1:2000 szabvány tartalmazza, de ezek közül fontos kiemelni bizonyos fogalmakat, mégpedig:

- *Pótteher*: A szabadvezeték szerkezeti részein lerakódó zúzmara, jég, hó, ónos eső, tapadó hó erőhatásait leképző - számítás céljára felvett - függőleges irányú járulékos erő.

A pótteher - a vezeték hossza mentén - lehet egyenletes vagy egyenlőtlen eloszlású, a szabadvezeték telepítési helyének függvényében a telepítés során szerelési pótteher is felléphet.

- *Széletheer*: A szabadvezetékek szerkezeti részeit érő légáramlás, számítás céljára felvett - a számítások során egyenletesen megoszló - vízszintes irányú járulékos erő.
- *Oszlopköz*: A szabadvezeték két szomszédos tartószerkezetének, illetve azok hossztengetyének vízszintes távolsága.
- *Belógás*: Az egy oszlopközben belógó vezető felerősítési pontjait összekötő húr és vezető valamely pontja közötti függőleges távolság.
- *Feszítőköz*: A szabadvezetékek két egymást követő feszítőoszlopa közötti oszlopközök összege.
- *Lengőtávolság*: A nyugalmi helyzetben lévő szélső vezető függőleges síkjától való, a következő képlet szerint számított vízszintes távolság.

$$L = b_h \cdot \sin \alpha.$$

ahol α a vezető legnagyobb kilendülési szöge és b_h a lengőhossz.

1.2.4 Szabadvezetékek szigetelői

A szigetelők meghatározása az MSZ EN 60383-1:1999 vagy IEC 383-1:1993 alapján, a vezeték tartására és rögzítésére, - a földhöz képest eltérő potenciálú vezetők, illetve földpotenciálon lévő műtárgyak, továbbá a levegő villamos szilárdsága által meghatározott - távolságok tartására szolgálnak. Az MSZ 151-1 szabvány alapján a szigetelők két csoportra oszthatóak beltéri, illetve kültéri szigetelőkre. A szabadvezetékek esetében általában kültéri szigetelést alkalmaznak, a jelen dolgozat ezekkel foglalkozik.

A kültéri, avagy külső szigetelők két csoportra oszthatóak, álló vagy függő szigetelőkre. A szabadvezeték elhelyezésétől függően alkalmazzuk a külső szigeteléstípusokat. A függő szigetelőket nagyfeszültségen alkalmazzák, az álló szigetelőket kis és középfeszültségen. A szigetelők a szabadvezetékeket tartó oszlopon helyezkednek el.

1.2.5 Szabadvezetékek tartószerkezete

A szabadvezetékeket oszlopok vagy más tartószerkezetek tartják. Az oszlopok olyan szerkezetek, amelyek a szabadvezeték talaj feletti kellő magasságban való felerősítésére szolgálnak. A középfeszültségű és nagyfeszültségű szabadvezeték oszloptípusait az MSZ 151-1:2000 szabvány tartalmazza. Oszlop lehet:

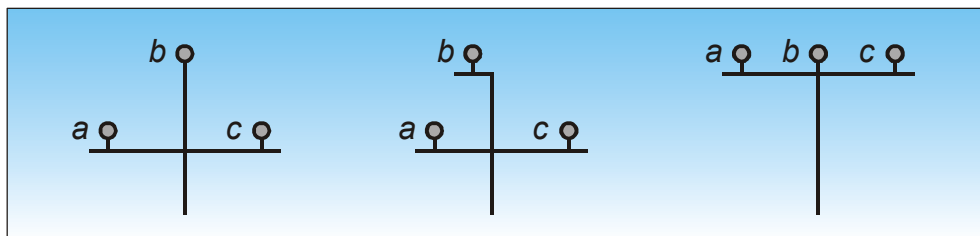
- *Tartóoszlop*: A vezetők tartására, meteorológia hatásokból származó terheinek és a szerelési terheinek felvételére szolgáló oszlop.
- *Saroktartó oszlop*: A szabadvezetékek iránytörési pontjain elhelyezett tartóoszlop.
- *Feszítőoszlop*: Egyenes nyomvonalú szabadvezeték esetén, a vezetők tartására és az egyoldalú vezetékhúzás részbeni felvételére szolgáló oszlop.
- *Sarokfeszítő oszlop*: A szabadvezetékek iránytörési pontjain a saroktartó oszlop és a feszítő oszlop feladatainak együttes ellátására szolgáló oszlop.
- *Végfeszítő oszlop*: A teljes egyoldalú vezetékhúzás felvételére is szolgáló oszlop.
- *Leágazó oszlop*: A tartó - vagy - feszítő oszlop rendeltetésén felül, a leágazó vezetők húzásának felvételére is szolgáló oszlop.
- *Keresztező oszlop*: A különféle berendezések és építmények, nyomvonalas létesítmények felett, illetve alatt átmenő vezetékszakaszok vezetőinek külön elírások szerint való tartására, illetve feszítésére szolgáló, a keresztezés egyik illetve másik oldalán álló oszlop.
- *Alap (az oszlopok alapozása)*: Az MSZ 151-4 szabvány értelmében az oszlopnak az - a rendszerint a földben lévő - része, amely az oszlop állékonyságát és - a talajjal kapcsolatos - teherbírási képességét biztosítja. Az alapozás során az oszlopot hosszának - azaz szabványos magasságának - egy hatodáig az alapozásban rögzíteni kell.

A dolgozat tárgyát képező szabadvezetékek tartóoszlopai a kis és középfeszültségű rendszerekben legtöbbször áttört gerincű betonoszlopok. Az oszlopokat egy három részből álló jelölés szerint különböztetik meg, a következőképpen:

- Az első karakterek betűk, amelyek az oszlop anyagára és kialakítására utalnak, pl. BB "B" azaz beton és "B" bakoszlop, vagy BI "B" beton és "I" ikeroszlop.
- A második karakterek számok, amelyek a szerkezet névleges magasságát jelölik méterben pl. 12, 14 m.
- A harmadik karakterek számok, amelyek a szerkezet névleges terhelhetőségét határozzák meg, pl. 400 az 4 kN az 2100 az pedig 12 kN.

A teljes jelölés tehát pl. BB-12-400 vagy B-12/200. Az oszlopok felső részén a vezetőket fejszerkezet tartja, amelyek legjellemzőbb kialakításait az 1.2 ábra mutatja. Az oszlopok telepítése során alkalmazunk földeléseket, amelyek a következők lehetnek:

- Függőleges rúd földelés
- Vízszintes rúd földelés
- Keretföldelés a betonlap körül
- Potenciál-befolyásoló földelő-keret az oszlop mellett



1.2 ábra. Vezetékrendezések közép feszültségen

1.2.6 Szabadvezetékek létesítése

A szabadvezeték létesítését megelőzően, ha két pont között szabadvezetékét kívánunk létesíteni, első lépésben meg kell határozni a vezeték táplálásának módját és helyét. A nagyfeszültségű, illetve a közép feszültségű gerincvezetékek is általában közvetlenül transzformátorállomásról indulnak. Az újonnan létesített közép feszültségű vezetékek esetében a gyakorlatban gyakrabban előfordul, hogy már meglévő szabadvezeték vonalról ágaztatják le az új vonalat. Az új vonal azonban indulhat állomásról is, és végződhet a nélkül is.

A vezeték nyomvonalának kijelölésekor az alábbi szempontokat kell figyelembe vennünk:

- Az átvinni kívánt teljesítmény
- Környezeti éghajlati viszonyok
- Villámlások gyakorisága
- Talajviszonyok
- Domborzat és vízrajz
- Paraméterek
- Feszültségesés és teljesítményvesztés
- Ellátásbiztonság és hozzáférhetőség

2 Térszámítás

2.1 Ipari frekvenciás villamos térerősség származtatása

A térben egymagában elhelyezkedő, végtelen hosszúságú, egyenletes vonal menti töltéssűrűséggel rendelkező, egyenes vonaltöltés által a tengelyétől adott távolságra létrehozott villamos térerősség értéke az elektrosztatika Gauss-tétele segítségével határozható meg. Az összefüggés a felsorolt feltételek esetén érvényes, de a szabadvezetékek, mint hosszú, közelítőleg hengeres elrendezések esetén az összefüggés igen jó közelítéssel szolgáltatja a térerősség-értékeket. A villamos térerősség összefüggése vektorosan

$$\mathbf{E}(r) = \frac{q}{2\pi\epsilon r} \mathbf{r}_0 ,$$

ahol $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ és

$\epsilon_0 = 8,852 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ a vákuum villamos permittivitása,

ϵ_r a teret kitöltő közeg relatív villamos permittivitása, más néven dielektromos állandója,

r a vezető távolsága attól a ponttól, ahol a térerősséget vizsgáljuk,

$\mathbf{r}_0$ r irányú egységvektor.

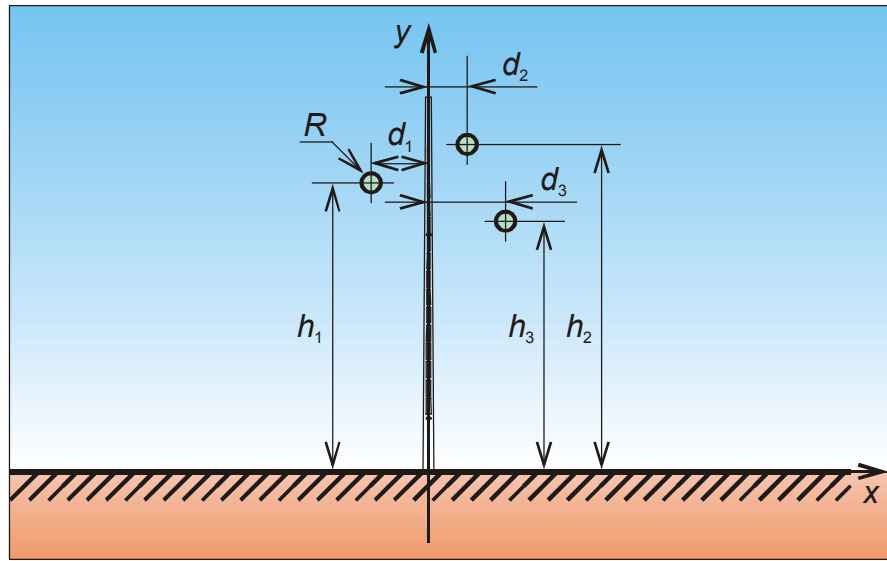
A teret a szabadvezetékek körül levegő tölti ki, amelynek relatív dielektromos állandója alig tér az 1 értéktől, az eltérés kevesebb 1 ezreléknél. Mindezek alapján az összefüggés alkalmazható a számításhoz.

Szabadvezetékek terének számításakor egynél több töltés határozza meg a villamos teret, ezért az eredő térerősséget a szuperpozíció elvének felhasználásával kell meghatározni. A szuperpozíció elve ebben az esetben alkalmazható, mert a gerjesztő mennyiség – q – és a gerjesztett mennyiség – E – között lineáris a kapcsolat.

A gyakorlati számítások során a vezetékeknek nem a q töltése, hanem a feszültsége ismert. A távvezeték i -edik vezetőjének a tőle h_i távolságra elhelyezkedő, nulla potenciálú földhöz képesti U_i potenciálja az R_i sugarú vezető felületén

$$U_i = \frac{q_i}{2\pi\epsilon} \ln \frac{h_i}{R_i},$$

ahol h_i a nulla potenciálú hely távolsága az i -edik vezetőtől. Szabadvezetékek esetén ez általában a föld, amely fölött h_i magasságban halad a vezető (2.1 ábra). A legnagyobb térerősségű pont a legnagyobb belógáshoz tartozó helyen adódik, ahol h_i értéke minimális.



2.1 ábra. Általános helyzetű, háromfázisú vezeték

A potenciál összefüggéséből kifejezve a következőt

$$\frac{q_i}{2\pi\epsilon} = \frac{U_i}{\ln \frac{h_i}{R_i}},$$

amit behelyettesítve a térerősség összefüggésébe

$$E_i = \frac{q_i}{2\pi\epsilon r_i} = \frac{U_i}{r_i \ln \frac{h_i}{R_i}}.$$

Az „a” fázis feszültségének időfüggvénye a vizsgált időpillanatban

$$u(t) = \hat{U}_f \cos(\omega t - \psi) ,$$

ahol $\hat{U}_f = U_{\max} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ a vezeték fázisfeszültségének maximális értéke és

$U_{\max}$ a vezeték legnagyobb effektív vonali feszültsége.

Ezzel az i -edik vezető térerőssége abszolút értékének időbeli változása

$$E_i(t) = \frac{u_i(t)}{r_i \ln \frac{h_i}{r_i}} .$$

Az „a” fázisvezető térerőssége azonos R sugarú vezetők esetén

$$E_a = \frac{\hat{U}_f \cos \omega t}{r_a \ln \frac{h_a}{R}} ,$$

„b” fázisvezető térerőssége

$$E_b = \frac{\hat{U}_f \cos(\omega t - 2\pi / 3)}{r_b \ln \frac{h_b}{R}}$$

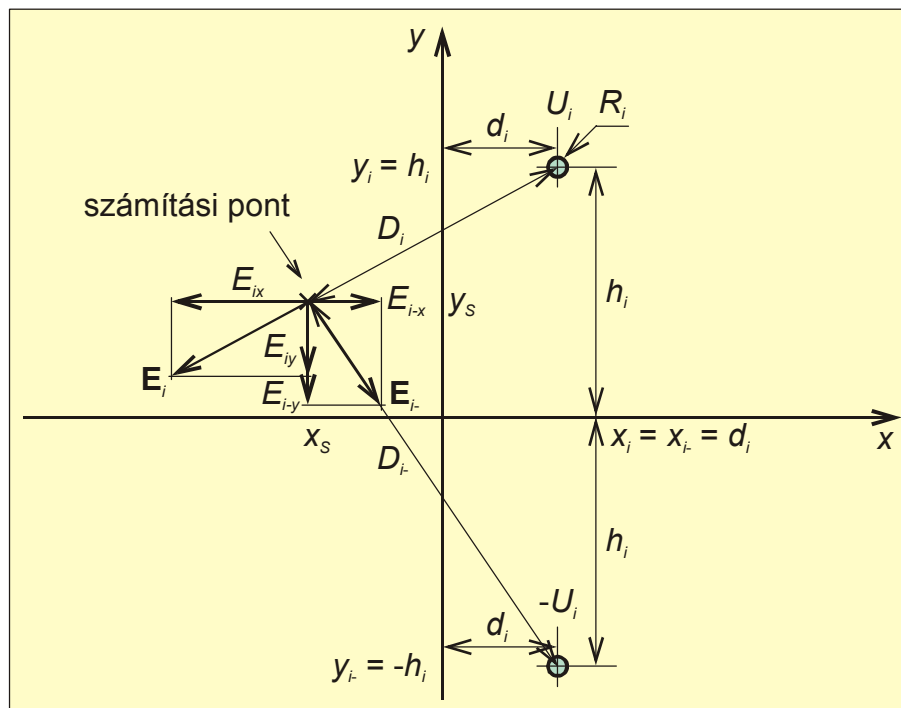
és a „c” fázisvezető térerőssége

$$E_c = \frac{\hat{U}_f \cos(\omega t + 2\pi / 3)}{r_c \ln \frac{h_c}{R}} .$$

A 2.1 ábra általános helyzetű, háromfázisú vezetékrendszert mutat, ahol az „a” fázis mennyiségeinek indexe 1, a „b” fázisé 2 és a „c” fázisé 3.

Az i -edik vezető térerősség-összetevőinek meghatározása

A 2.2 ábra az i -edik vezető térerősség-összetevőit mutatja. A villamos térerősség számításakor elektrosztatikus tükrözést kell alkalmazni, ami azt jelenti, hogy a földben a fölötte haladó vezető hatására bekövetkező megosztás révén jelen lévő töltések helyett a föld felszínére tükrözött, az eredetivel ellentétes töltésű, illetve potenciálú vezető kerül figyelembe vételre.



2.2 ábra. Az i -edik vezető térerőssége

Az i -edik vezető távolsága a számítási ponttól

$$D_i = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2}.$$

Az i -edik vezető térerősségének abszolút értéke tehát a számítási pontban a feszültség ψ_i fázishelyzetében

$$E_i = \frac{\hat{U}_f \cos \psi_i}{D_i \ln \frac{h_i}{R_i}}.$$

Az i -edik vezető tükrőtöltésének távolsága a számítási ponttól

$$D_{i-} = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (-y_i - y_s)^2}$$

és az i -edik vezető tükörtlöltésének térerőssége ugyanakkor

$$E_{i-} = \frac{\hat{U}_f \cos \psi_i}{D_{i-} \ln \frac{h_i}{R_i}}.$$

Pozitív töltésű/potenciálú vezeték esetén a villamos térerősség irányát és merőleges összetevőit a 2.3 ábra mutatja a számítási pont különböző helyzeteiben. Az i -edik vezető térerősség vektora által a vízszintessel bezárt szög

$$\alpha_i = \arctg \frac{|x_i - x_s|}{|y_i - y_s|},$$

az i -edik vezető térerőssége vízszintes összetevőjének értéke

$$E_{ix} = E_i \sin \alpha_i$$

és a függőleges irányú összetevője

$$E_{iy} = E_i \cos \alpha_i.$$

Az i -edik vezető tükörtlöltésének térerősség vektora által a vízszintessel bezárt szög

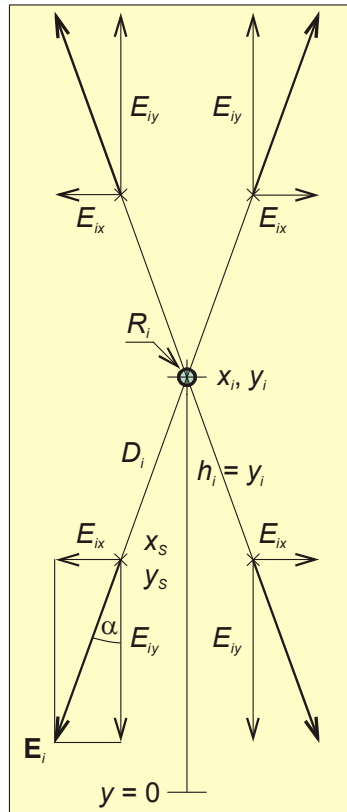
$$\alpha_{i-} = \arctg \frac{|x_i - x_s|}{|-y_i - y_s|},$$

a tükörtlöltés térerőssége vízszintes összetevőjének értéke

$$E_{i-x} = E_{i-} \sin \alpha_{i-}$$

és a függőleges irányú összetevője

$$E_{i-y} = E_{i-} \cos \alpha_{i-}.$$



2.3 ábra. A térerősség-összetevők iránya a számítás pont különböző helyzetében

Az összetevőknek az összes vezetőre történő kiszámítását követően a vízszintes összetevőket megfelelő előjellel kell összegezni. Az i -edik vezető térerőssége vízszintes összetevőjének előjele

$$e_{ix} = \frac{x_s - x_i}{|x_s - x_i|}$$

és függőleges összetevőjének előjele

$$e_{iy} = \frac{y_s - y_i}{|y_s - y_i|}.$$

Az eredő térerősség vektor vízszintes összetevője

$$E_x = \sum_{i=1}^n e_{ix} E_{ix} + \sum_{i=1}^n -e_{ix} E_{i-x}$$

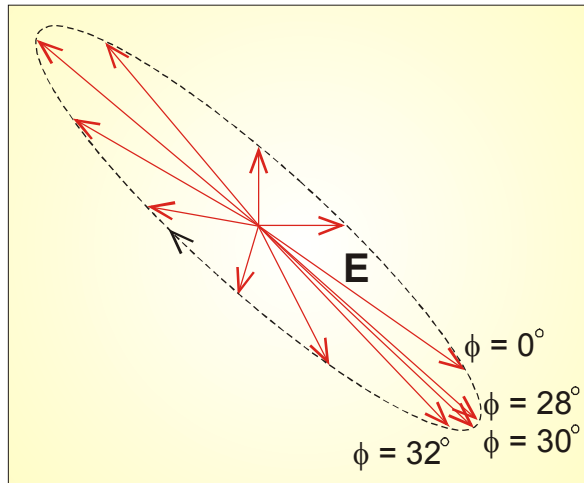
és függőleges összetevője

$$E_y = \sum_{i=1}^n e_{iy} E_{iy} + \sum_{i=1}^n e_{iy} E_{i-y} .$$

Végül a keresett eredő vektor abszolút értéke a számítási pontban

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} .$$

A térerősség vektor egy pontban az idő változásával ellipszis pályát ír le (2.4 ábra). A maximális térerősség az L1 fázis $\psi = 30^\circ$ fázishelyzetében adódik.



2.4 ábra. A villamos térerősség vektor végpontja által a vezető alatt leírt elliptikus pálya

2.2 Ipari frekvenciás villamos térerősség számítása

Legnagyobb feszültség

A Magyarországon érvényes, szabványos, villamos feszültségeket az *MSZ 1:2002* szabvány [5] határozza meg. A közcélú elosztó-hálózatok névleges feszültséggel rendelkeznek, amely egyúttal az adott hálózat megnevezésére is szolgál.

2.1 táblázat. Középfeszültségű hálózatok névleges feszültségértékei.

Névleges érték (kV)	a berendezés legnagyobb feszültsége (kV)	megjegyzés
3	3,6	közcélú alkalmazása tilos
6	7,2	közcélú alkalmazása tilos
11	12,0	
22	24,0	
30	36,0	
35	40,5	

2.2 táblázat. Nagyfeszültségű hálózatok névleges feszültségértékei.

Névleges érték (kV)	a berendezés legnagyobb feszültsége (kV)
132	145
220	245
400	420
750	800

A 20 kV-os szabadvezeték alatti térerősség számításakor tehát $U_{\max} = 24$ kV legnagyobb effektív vonali feszültséget kell figyelembe venni.

A vezető átmérője

2.3 táblázat: Szabványos réz, aludur és acélalumínium huzalok és sodronyok jellemzői

Névleges keresztmetszet (mm ²)	Réz, aludur, alumínium (huzalok száma x átmérője)	Acélbél (huzalok száma x átmérője)	Külső átmérő (mm)	GMR (mm)
6	1 x 2,8	-	2,8	1,09
10	1 x 3,55	-	3,55	1,38
10	7 x 1,35	-	4,1	1,49
16	1 x 4,5	-	4,5	1,75
16	7 x 1,7	-	5,1	1,85
25	7 x 2,1	-	6,3	2,29
35	7 x 2,5	-	7,5	2,72
50	7 x 3,0	-	9,0	3,27
70	19 x 2,1	-	10,5	3,98
70/10	28 x 1,75	4 x 1,8	11,6	4,80
80/15	28 x 1,9	4 x 2,1	12,7	5,27
95	19 x 2,5	-	12,5	4,74
95/15	26 x 2,15	4 x 2,2	14,0	5,76
110/20	26 x 2,35	7 x 1,9	15,0	6,22
120	19 x 2,8	-	14,0	5,30
120/20	26 x 2,45	7 x 2,0	15,8	6,50
150	37 x 2,25	-	15,8	6,06
150/25	26 x 2,75	7 x 2,2	17,6	7,22
185	37 x 2,5	-	17,5	6,72
185/60	36 x 2,55	12 x 2,55	20,8	8,85
200/35	26 x 3,1	7 x 2,5	19,9	8,15
240	37 x 2,85	-	20,0	7,68
250/40	26 x 3,5	7 x 2,8	22,4	9,18
300	61 x 2,5	-	22,5	8,70
300/50	26 x 3,8	7 x 3,0	24,2	9,92
400	61 x 2,85	-	23,8	9,18

2.2.1 Számítási körülmények a gyakorlatban

Villamos térerősség számításakor a vezető tényleges sugarát kell figyelembe venni, azaz például 95 mm^2 keresztmetszet esetén 6,25 mm-t. Az alábbiakban a következő példa során a felhasznált típusterv szabadvezetékének térerőssége kerül kiszámításra.

A példa során az ETV-ERŐTERV Rt. által készített VÁT-H20 azaz az egyrendszerű, 20 kV-os csupasz szabadvezeték hálózat betonoszloppal, elnevezésű típusterv egyik szabvány szerint előírt oszloptípusa, azaz vezetőelrendezése került felhasználásra.

A típusterv 20-1-004 oszlop kialakítást, amelyből egy B12/400-as befogott alapozású oszlopot választottunk védővezető elhelyezése nélkül. A példában szereplő számításban a számítás két tartóoszlop közötti maximális belógás alá eső részre vonatkozik.

Az MSZ 151-1:2000 szabvány szerint a közép feszültségű szabadvezetékek maximális belógása külterületen 6 méter, továbbá belterületen és úttest felett 7 méter. A számítás ezekkel az adatokkal történt.

A napjainkban történő kivitelezési tervekben a KÖF (közép feszültségű) rendszerekben, már csak egy bizonyos típusú fejszerkezetet alkalmaznak az újonnan létesítendő oszlopok esetében. Tehát a számítás során egy háromszög kialakítás kerül figyelembe vételre, ahol a fázisvezetők védővezető nélkül helyezkednek el, a két szélső vezető és a felső vezető egyenlő oldalú háromszöget alkotnak.

A számítás során a középső azaz az egyedülálló felső vezető a Descartes koordináta rendszer "y" tengelyére került, a két szélső alsó, egymástól megegyező távolságra lévő fázisvezető pedig az "x" tengellyel párhuzamosan negatív illetve pozitív irányban.

2.2.2 Példaszámítás

Mivel a 20 kV-os távvezeték feszültségértéke csak névleges érték és értéke a gyakorlatban 19 kV és 24 kV között ingadozhat. A gyakorlatban célszerű a legextrémebb körülményekre alapozni, ezért a példa során felhasznált szabadvezeték legnagyobb feszültsége:

$$U_{\max} = 24 \text{ kV},$$

Innen kiindulópontként a vezeték fázisfeszültségének maximális értéke:

$$\hat{U}_f = U_{\max} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 2,4 \cdot 10^4 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 19595,91794 \text{ V}$$

A számítási pont adatai:

Távolsága az origótól az „x” tengely mentén $x_s = (-)2 \text{ m}$.

Távolsága az origótól az „y” tengely mentén $y_s = 2 \text{ m}$.

A vezető oszlop szerinti felfüggesztési magassága a szélső vezetők esetén 9,65 méter a középső vezető esetén pedig 10,45 méter. Azonban, mivel a maximális belógás esetén kell számolni és a szabadvezeték a szabvány előírásai alapján szigorított esetben nem lóghat lejjebb mint 7 méter ezért a vezetők esetében a számítások ennek megfelelően történtek. Tehát a szélső vezetők számítási magassága minimum 7 méter, a középső vezetőé pedig 7,8 méter.

Az „a” fázisvezető térerőssége

$$R_1 = R = 6,25 \text{ mm} = 0,00625 \text{ m},$$

$$h_1 = 7 \text{ m},$$

$$d_1 = -0,7 \text{ m} \text{ /mivel a Descartes koordináta rendszer negatív "x" tengelyre eső vetülete.}$$

Az „a” fázisvezető távolsága a számítási ponttól

$$\begin{aligned} D_1 &= \sqrt{(x_1 - x_s)^2 + (y_1 - y_s)^2} = \sqrt{(d_1 - x_s)^2 + (-h_1 - y_s)^2} = \\ &= \sqrt{(-0,7 + 2)^2 + (-7 - 2)^2} = \sqrt{(-1,3)^2 + (-9)^2} = \sqrt{82,69} \text{ m}. \end{aligned}$$

Az „a” fázisvezető térerősségének abszolút értéke tehát a számítási pontban a feszültség ψ_1 fázishelyzetében, hogy ha

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,1592654 \frac{1}{s}$$

$$\text{és pl. } t = 15 \cdot 10^{-3} s$$

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{\hat{U}_f \cos \psi_1}{D_1 \ln \frac{h_1}{R_1}} = \frac{\hat{U}_f \cos(\omega t + 2\pi/3)}{D_1 \ln \frac{h_1}{R}} = \frac{19595,91794 \cdot \cos(314,1592654 \cdot 15 \cdot 10^{-3} + 2\pi/3)}{\sqrt{82,69} \cdot \ln \left\{ \frac{7}{0,00625} \right\}} = \\ &= \frac{16970,56275}{63,84555443} = 265,8065 \frac{V}{m}. \end{aligned}$$

Az „a” fázisvezető tükörtöltésének távolsága a számítási ponttól

$$\begin{aligned} D_{1-} &= \sqrt{(x_1 - x_s)^2 + (-y_1 - y_s)^2} = \sqrt{(d_1 - x_s)^2 + (h_1 - y_s)^2} = \\ &= \sqrt{(-0,7 + 2)^2 + (7 - 2)^2} = \sqrt{1,3^2 + 5^2} = \sqrt{26,69} m. \end{aligned}$$

és az „a” fázisvezető tükörtöltésének térerőssége ugyanakkor

$$\begin{aligned} E_{1-} &= \frac{\hat{U}_f \cos \psi_1}{D_{1-} \ln \frac{h_1}{R_1}} = \frac{\hat{U}_f \cos(\omega t + 2\pi/3)}{D_{1-} \ln \frac{h_1}{R}} = \frac{19595,91794 \cdot \cos(314,1592654 \cdot 15 \cdot 10^{-3} + 2\pi/3)}{\sqrt{26,69} \cdot \ln \left\{ \frac{7}{0,00625} \right\}} = \\ &= \frac{16970,56275}{36,27258054} = 467,862 \frac{V}{m} \end{aligned}$$

Pozitív töltésű/potenciálú vezeték esetén a villamos térerősség irányát és merőleges összetevőit a 2.3 ábrából kiindulva a következő képen értelmezhetjük a számítási pont különböző helyzeteiben.

Az „a” fázisvezető térerősség vektora által a vízszintessel bezárt szög

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \operatorname{arctg} \frac{|x_1 - x_s|}{|y_1 - y_s|} = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{x_1 - x_s}{y_1 - y_s} \right\} = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{d_1 - x_s}{-h_1 - y_s} \right\} = \\ &= \operatorname{arctg} \left\{ \frac{-0,7 + 2}{|-7 - 2|} \right\} = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{1,3}{9} \right\} = 8,2192^\circ \end{aligned}$$

az „a” fázisvezető térerősség vízszintes összetevőjének értéke

$$E_{1x} = E_1 \sin \alpha_1 = 265,8065 \cdot \sin(8,2192) = 37,9999 \frac{V}{m}$$

és a függőleges irányú összetevője

$$E_{1y} = E_1 \cos \alpha_1 = 265,8065 \cdot \cos(8,2192) = 263,0762 \frac{V}{m}.$$

Az „a” fázisvezető tükörtlöltésének térerősség vektora által a vízszintessel bezárt szög

$$\begin{aligned} \alpha_{1-} &= \arctg \frac{|x_1 - x_s|}{|y_1 - y_s|} = \arctg \left\{ \frac{x_1 - x_s}{-y_1 - y_s} \right\} = \arctg \left\{ \frac{d_1 - x_s}{h_1 - y_s} \right\} = \\ &= \arctg \left\{ \frac{-0,7 + 2}{7 - 2} \right\} = \arctg \left\{ \frac{1,3}{5} \right\} = 14,5742^\circ, \end{aligned}$$

a tükörtlöltés térerősség vízszintes összetevőjének értéke

$$E_{1-x} = E_{1-} \sin \alpha_{1-} = 467,862 \cdot \sin(14,5742) = 117,7298 \frac{V}{m}$$

és a függőleges irányú összetevője

$$E_{1-y} = E_{1-} \cos \alpha_{1-} = 467,862 \cdot \cos(14,5742) = 452,8074 \frac{V}{m}.$$

Az „a” fázisvezető térerősség vízszintes összetevőjének előjele

$$e_{1x} = \frac{x_s - x_1}{|x_s - x_1|} = \frac{x_s - d_1}{|x_s - d_1|} = \frac{-2 + 0,7}{|-2 + 0,7|} = \frac{-1,3}{1,3} = -1$$

és függőleges összetevőjének előjele

$$e_{1y} = \frac{y_s - y_1}{|y_s - y_1|} = \frac{y_s + h_1}{|y_s + h_1|} = \frac{2 + 7}{|2 + 7|} = \frac{9}{9} = 1.$$

Az „a” fázisvezető eredő térerősség vektorának vízszintes összetevője

$$E_x^I = \sum_{i=1}^n e_{ix} E_{ix} + \sum_{i=1}^n -e_{ix} E_{i-x} = e_{1x} E_{1x} - e_{1x} E_{1-x} = -37,9999 + 117,7298 = 79,73 \frac{V}{m}$$

és függőleges összetevője

$$E_y^I = \sum_{i=1}^n e_{iy} E_{iy} + \sum_{i=1}^n e_{iy} E_{i-y} = e_{1y} E_{1y} + e_{1y} E_{1-y} = 263,0762 + 452,8074 = 715,8836 \frac{V}{m}.$$

A „b” fázisvezető térerőssége

$$R_2 = R = 6,25 \text{ mm} = 0,00625 \text{ m},$$

$$h_2 = 7,8 \text{ m}$$

$$d_2 = 0 \text{ m}$$

A „b” fázisvezető távolsága a számítási ponttól

$$\begin{aligned} D_2 &= \sqrt{(x_2 - x_s)^2 + (y_2 - y_s)^2} = \sqrt{(d_2 - x_s)^2 + (-h_2 - y_s)^2} = \\ &= \sqrt{(0+2)^2 + (-7,8-2)^2} = \sqrt{(-2)^2 + (-9,8)^2} = \sqrt{100,04} \text{ m}. \end{aligned}$$

A „b” fázisvezető térerősségének abszolút értéke tehát a számítási pontban a feszültség ψ_2 fázishelyzetében, hogy ha

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,1592654 \frac{1}{s}$$

és pl. $t = 15 \cdot 10^{-3} \text{ s}$

$$\begin{aligned} E_2 &= \frac{\hat{U}_f \cos \psi_2}{D_2 \ln \frac{h_2}{R_2}} = \frac{\hat{U}_f \cos(\omega t - 2\pi/3)}{D_2 \ln \frac{h_2}{R}} = \frac{19595,91794 \cdot \cos(314,1592654 \cdot 15 \cdot 10^{-3} - 2\pi/3)}{\sqrt{100,04} \cdot \ln \left\{ \frac{7,8}{0,00625} \right\}} = \\ &= \frac{-16970,56275}{71,30723266} = -237,9922 \frac{V}{m} \end{aligned}$$

A „b” fázisvezető tükörtlítésének távolsága a számítási ponttól

$$\begin{aligned} D_{2-} &= \sqrt{(x_2 - x_s)^2 + (-y_2 - y_s)^2} = \sqrt{(d_2 - x_s)^2 + (h_2 - y_s)^2} = \\ &= \sqrt{(0+2)^2 + (7,8-2)^2} = \sqrt{2^2 + 5,8^2} = \sqrt{37,64} \text{ m}. \end{aligned}$$

és a „b” fázisvezető tükörtöltésének térerőssége ugyanakkor

$$E_{2-} = \frac{\hat{U}_f \cos \psi_2}{D_{2-} \ln \frac{h_2}{R_2}} = \frac{\hat{U}_f \cos(\omega t - 2\pi/3)}{D_{2-} \ln \frac{h_2}{R}} = \frac{19595,91794 \cdot \cos(314,1592654 \cdot 15 \cdot 10^{-3} - 2\pi/3)}{\sqrt{37,64} \cdot \ln \left\{ \frac{7,8}{0,00625} \right\}} =$$

$$= \frac{-16970,56275}{43,7393} = -387,9937 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Pozitív töltésű/potenciálú vezeték esetén a villamos térerősség irányát és merőleges összetevőit a 2.3 ábrából kiindulva a következő képen értelmezhetjük a számítási pont különböző helyzeteiben.

A „b” fázisvezető térerősség vektora által a vízszintessel bezárt szög

$$\alpha_2 = \text{artg} \frac{|x_2 - x_s|}{|y_2 - y_s|} = \text{arctg} \left\{ \frac{x_2 - x_s}{y_2 - y_s} \right\} = \text{arctg} \left\{ \frac{d_2 - x_s}{-h_2 - y_s} \right\} =$$

$$= \text{arctg} \left\{ \frac{0+2}{|-7,8-2|} \right\} = \text{arctg} \left\{ \frac{2}{9,8} \right\} = 11,5346^\circ$$

a „b” fázisvezető térerősség vízszintes összetevőjének értéke

$$E_{2x} = E_2 \sin \alpha_2 = -237,9922 \cdot \sin(11,5346) = -47,5748 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

és a függőleges irányú összetevője

$$E_{2y} = E_2 \cos \alpha_2 = -237,9922 \cdot \cos(11,5346) = -233,857 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

A „b” fázisvezető tükörtöltésének térerősség vektora által a vízszintessel bezárt szög

$$\alpha_{2-} = \text{artg} \frac{|x_2 - x_s|}{|-y_2 - y_s|} = \text{arctg} \left\{ \frac{x_2 - x_s}{-y_2 - y_s} \right\} = \text{arctg} \left\{ \frac{d_2 - x_s}{h_2 - y_s} \right\} =$$

$$= \text{arctg} \left\{ \frac{0+2}{7,8-2} \right\} = \text{arctg} \left\{ \frac{2}{5,8} \right\} = 19,0256^\circ,$$

a tükörtlítés térerősség vízszintes összetevőjének értéke

$$E_{2-x} = E_{2-} \sin \alpha_{2-} = -387,9937 \cdot \sin(19,0256) = -126,4823 \frac{V}{m}$$

és a függőleges irányú összetevője

$$E_{2-y} = E_{2-} \cos \alpha_{2-} = -387,9937 \cdot \cos(19,0256) = -366,7988 \frac{V}{m}.$$

A „b” fázisvezető térerősség vízszintes összetevőjének előjele

$$e_{2x} = \frac{x_s - x_2}{|x_s - x_2|} = \frac{x_s - d_2}{|x_s - d_2|} = \frac{-2 - 0}{|-2 - 0|} = \frac{-2}{2} = -1$$

és függőleges összetevőjének előjele

$$e_{2y} = \frac{y_s - y_2}{|y_s - y_2|} = \frac{y_s + h_2}{|y_s + h_2|} = \frac{2 + 7,8}{|2 + 7,8|} = \frac{9,8}{9,8} = 1.$$

A „b” fázisvezető eredő térerősség vektorának vízszintes összetevője

$$E_x^{II.} = \sum_{i=1}^n e_{ix} E_{ix} + \sum_{i=1}^n -e_{ix} E_{i-x} = e_{2x} E_{2x} - e_{2x} E_{2-x} = 47,5748 - 126,4823 = -78,9075 \frac{V}{m}$$

és függőleges összetevője

$$E_y^{II.} = \sum_{i=1}^n e_{iy} E_{iy} + \sum_{i=1}^n e_{iy} E_{i-y} = e_{2y} E_{2y} + e_{2y} E_{2-y} = -233,857 - 366,7988 = -600,6558 \frac{V}{m}.$$

A „c” fázisvezető térerőssége

$$R_3 = R = 6,25 \text{ mm} = 0,00625 \text{ m},$$

$$h_3 = 7 \text{ m},$$

$$d_3 = 0,7 \text{ m}$$

A „c” fázisvezető távolsága a számítási ponttól

$$\begin{aligned} D_3 &= \sqrt{(x_3 - x_s)^2 + (y_3 - y_s)^2} = \sqrt{(d_3 - x_s)^2 + (-h_3 - y_s)^2} = \\ &= \sqrt{(0,7 + 2)^2 + (-7 - 2)^2} = \sqrt{2,7^2 + (-9)^2} = \sqrt{88,29} \text{ m}. \end{aligned}$$

A „c” fázisvezető térerősségének abszolút értéke tehát a számítási pontban a feszültség ψ_3 fázishelyzetében, hogyha

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,1592654 \frac{1}{s}$$

és pl. $t = 15 \cdot 10^{-3} s$

$$\begin{aligned} E_3 &= \frac{\hat{U}_f \cos \psi_3}{D_3 \ln \frac{h_3}{R_3}} = \frac{\hat{U}_f \cos \omega t}{D_3 \ln \frac{h_3}{R}} = \frac{19595,91794 \cdot \cos(314,1592654 \cdot 15 \cdot 10^{-3})}{\sqrt{88,29} \cdot \ln \left\{ \frac{7}{0,00625} \right\}} = \\ &= \frac{0}{65,97204175} = 0 \frac{V}{m}. \end{aligned}$$

A „c” fázisvezető tükörtöltésének távolsága a számítási ponttól

$$\begin{aligned} D_{3-} &= \sqrt{(x_3 - x_s)^2 + (-y_3 - y_s)^2} = \sqrt{(d_3 - x_s)^2 + (h_3 - y_s)^2} = \\ &= \sqrt{(0,7 + 2)^2 + (7 - 2)^2} = \sqrt{2,7^2 + 5^2} = \sqrt{32,29} m \end{aligned}$$

és az „c” fázisvezető tükörtöltésének térerőssége ugyanakkor

$$\begin{aligned} E_{3-} &= \frac{\hat{U}_f \cos \psi_3}{D_{3-} \ln \frac{h_3}{R_3}} = \frac{\hat{U}_f \cos(\omega t)}{D_{3-} \ln \frac{h_3}{R}} = \frac{19595,91794 \cdot \cos(314,1592654 \cdot 15 \cdot 10^{-3})}{\sqrt{32,29} \cdot \ln \left\{ \frac{7}{0,00625} \right\}} = \\ &= \frac{0}{39,89681154} = 0 \frac{V}{m}. \end{aligned}$$

Pozitív töltésű/potenciálú vezeték esetén a villamos térerősség irányát és merőleges összetevőit a 2.3 ábrából kiindulva a következő képen értelmezhetjük a számítási pont különböző helyzeteiben.

A „c” fázisvezető térerősség vektora által a vízszintessel bezárt szög

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= \operatorname{arctg} \frac{|x_3 - x_s|}{|y_3 - y_s|} = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{x_3 - x_s}{y_3 - y_s} \right\} = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{d_3 - x_s}{-h_3 - y_s} \right\} = \\ &= \operatorname{arctg} \left\{ \frac{0,7 + 2}{|-7 - 2|} \right\} = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{2,7}{9} \right\} = 16,6992^\circ \end{aligned}$$

az „c” fázisvezető térerősség vízszintes összetevőjének értéke

$$E_{3x} = E_3 \sin \alpha_3 = 0 \cdot \sin(16,6992) = 0 \frac{V}{m}$$

és a függőleges irányú összetevője

$$E_{3y} = E_3 \cos \alpha_3 = 0 \cdot \cos(16,6992) = 0 \frac{V}{m}.$$

Az „c” fázisvezető tükörtöltésének térerősség vektora által a vízszintessel bezárt szög

$$\begin{aligned} \alpha_{3-} &= \operatorname{arctg} \frac{|x_3 - x_s|}{|y_3 - y_s|} = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{x_3 - x_s}{-y_3 - y_s} \right\} = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{d_3 - x_s}{h_3 - y_s} \right\} = \\ &= \operatorname{arctg} \left\{ \frac{0,7 + 2}{7 - 2} \right\} = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{2,7}{5} \right\} = 28,369^\circ, \end{aligned}$$

a tükörtöltés térerősség vízszintes összetevőjének értéke

$$E_{3-x} = E_{3-} \sin \alpha_{3-} = 0 \cdot \sin(28,369) = 0 \frac{V}{m}$$

és a függőleges irányú összetevője

$$E_{3-y} = E_{3-} \cos \alpha_{3-} = 0 \cdot \cos(28,369) = 0 \frac{V}{m}.$$

Az „c” fázisvezető térerősség vízszintes összetevőjének előjele

$$e_{3x} = \frac{x_s - x_3}{|x_s - x_3|} = \frac{x_s - d_3}{|x_s - d_3|} = \frac{-2 - 0,7}{|-2 - 0,7|} = \frac{-2,7}{2,7} = -1$$

és függőleges összetevőjének előjele

$$e_{3y} = \frac{y_s - y_3}{|y_s - y_3|} = \frac{y_s + h_3}{|y_s + h_3|} = \frac{2 + 7}{|2 + 7|} = \frac{9}{9} = 1.$$

Az „c” fázisvezető eredő térerősség vektorának vízszintes összetevője

$$E_x^{III.} = \sum_{i=1}^n e_{ix} E_{ix} + \sum_{i=1}^n -e_{ix} E_{i-x} = e_{3x} E_{3x} - e_{3x} E_{3-x} = [(-1) \cdot 0] - [(-1) \cdot 0] = 0 \frac{V}{m}$$

és függőleges összetevője

$$E_y^{III.} = \sum_{i=1}^n e_{iy} E_{iy} + \sum_{i=1}^n e_{iy} E_{i-y} = e_{3y} E_{3y} + e_{3y} E_{3-y} = (1 \cdot 0) - (1 \cdot 0) = 0 \frac{V}{m}.$$

A fázisvezetők térerősségének összege

Az összetevőknek az összes vezetőre történő kiszámítását követően a vízszintes összetevőket megfelelő előjellel kell összegezni. Az összegzést követően megkaphatjuk a keresett eredő vektor abszolút értékét a számítási pontban!

Az eredő térerősség vektor eredő „x” irányú összetevője

$$E_x = E_x^{I.} + E_x^{II.} + E_x^{III.} = 79,73 - 78,9075 + 0 = 0,8225 \frac{V}{m}.$$

Az eredő térerősség vektor eredő „y” irányú összetevője

$$E_y = E_y^{I.} + E_y^{II.} + E_y^{III.} = 715,8836 - 600,6558 + 0 = 115,2278 \frac{V}{m}.$$

Végül a keresett eredő vektor abszolút értéke a számítási pontban

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \sqrt{(0,8225)^2 + (115,2278)^2} = \sqrt{13278,1224} = 115,231 \frac{V}{m}.$$

3 Értékelés

3.1 Számítások értelmezése

A villamos térerősség 115,231 V/m legnagyobb értéke változásakor is kisebb a 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet által megadott 5000 V/m értékű, lakóterületre érvényes vonatkoztatási határértéknél.

A számítás alapján azt mondhatjuk, hogy a létesítendő vagy már létesített légvezeték amennyiben tartani tudja az MSZ 151-1:2000 szabvány által előírt 7 m-es - legszigorúbb - felfüggesztési magasságot lakossági veszélyt nem jelent.

Azonban ez a gyakorlatban nem minden esetben tartható mivel, amennyiben a fázisvezetőt, vagy az oszlopot károsodás éri, valamilyen eredetű hibából kifolyólag használat alá kerül vagy karbantartás alatt áll, az előírt üzemeltetési paramétereknek nem felel meg, így aktuális paraméterei káros hatással lehetnek környezetére.

A tervezett statikus helyzetet tekintve a felfüggesztési magasság változhat így vele együtt a maximális belógás értéke is. Amennyiben a szabadvezeték belógása elér egy bizonyos értéket - adott felfüggesztési magasságot - jelenléte lakossági veszélyt jelent!

Ahhoz, hogy a lakott területeket ne tegyük ki az expozíció káros hatásainak, fontos tudnunk kiszámolni a fázisvezetők térerősségét a referencia ponthoz - egy átlagos személy magassága - viszonyítva.

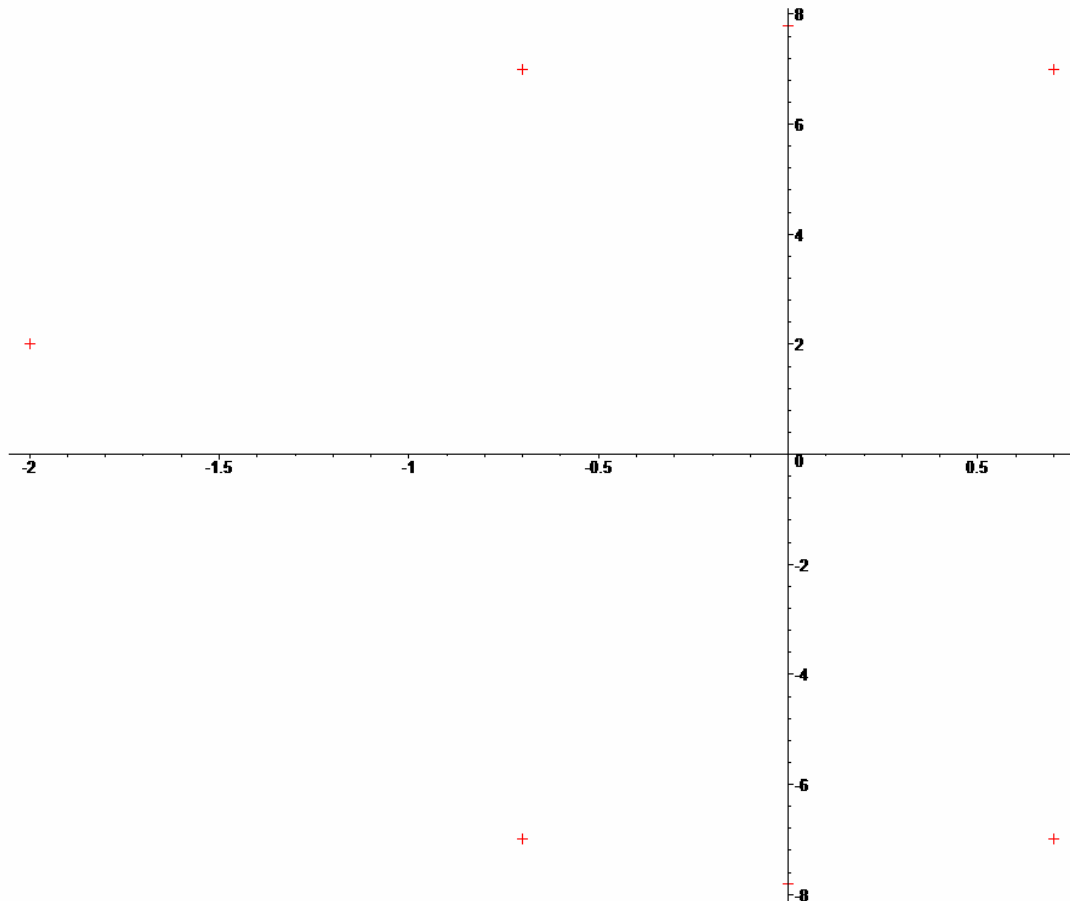
Az adott szabadvezeték számítási eljárás matematikai program programozása segítségével automatizálható, így az adott szabadvezeték típus tetszőleges - természetesen szabvány betartása melletti - paramétereinek megadásával számítható annak térerőssége.

3.2 *Eredmények vizsgálata szoftveres környezetben*

Az elektromos térerősség számítási eljárása a korábbi fejezetek alkalmával részletesen vizsgálható. Abban ez esetben, hogyha ezt a térerősséget egy más tartó oszloptípusra vonatkozóan akarjuk számolni a számítási paramétereink megváltoznak.

A számítási paraméterek megadását nem lehet a számítási eljárásnak megfelelően végezni, ugyan is a matematikai program számítási eljárása eltérő.

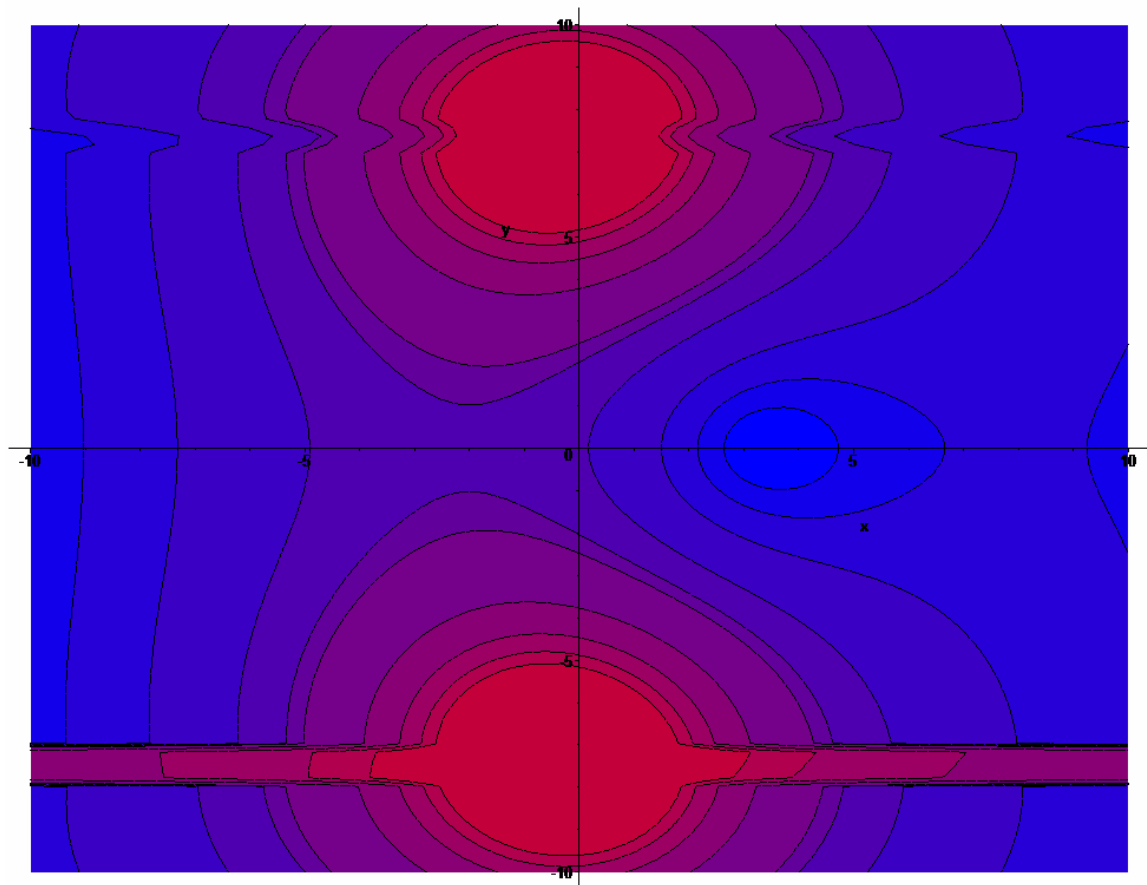
A számításhoz tartozó paramétereket a Descartes koordináta rendszer pontjaiként definiálhatjuk, ahol a fázisvezetők és a referencia pont viszonyát vizsgálva számolhatjuk a hozzájuk tartozó térerősséget, így a referencia pontra vonatkozó eredő térerősséget is.



3.1 ábra: A referencia pont és a fázisvezetők helye

A fázisvezetők helyének ismeretében már elvégezhetjük a az eredő térerősség számítására vonatkozó algoritmust. Azt mondhatom, hogy a számítás csak az adott korábbi paraméterek megadása mellett képes megadni egy bizonyos eredő térerősség értéket.

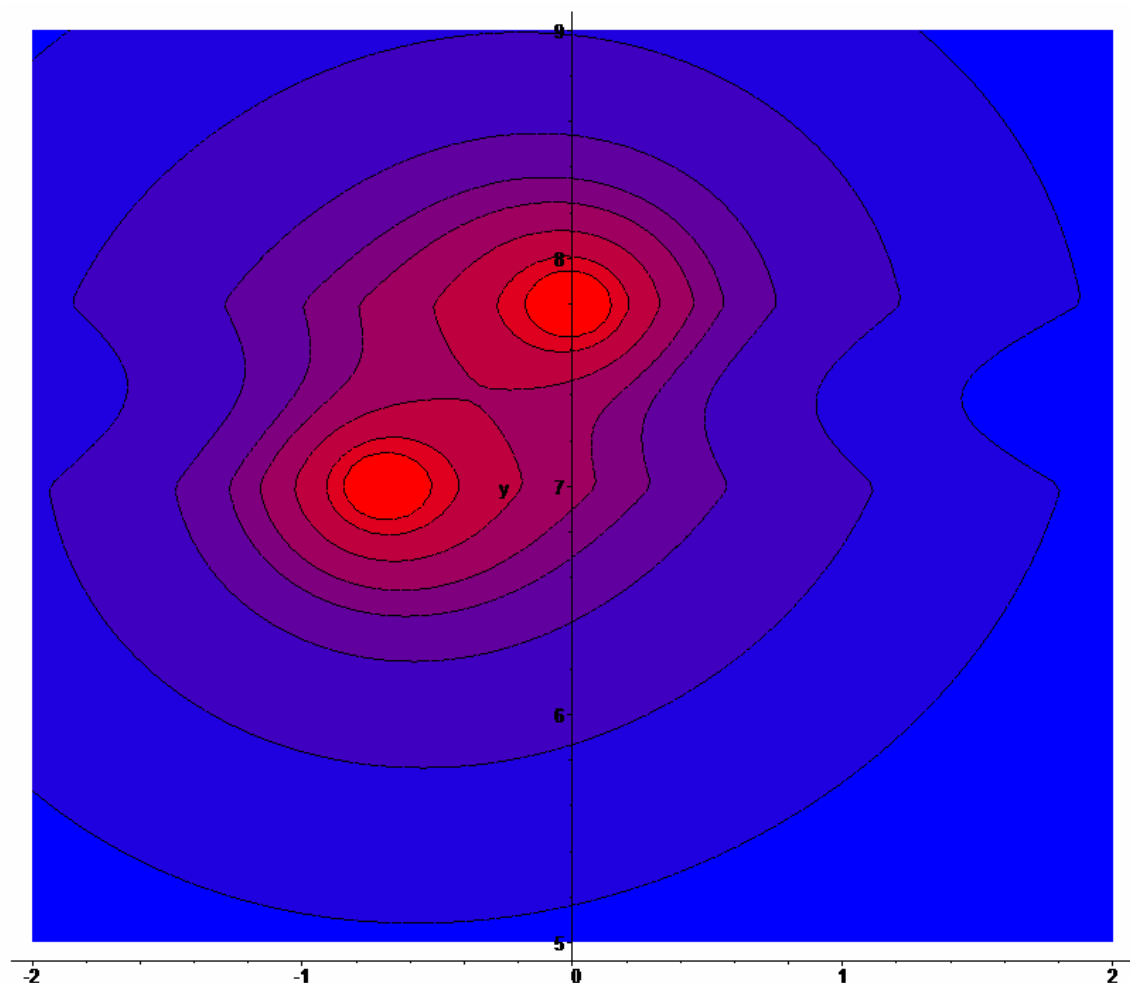
Azonban mivel a matematikai ábrázolás során megadhatjuk az ábrázolásra vonatkozó ismétlődő paramétereket, amelyek mellett meghatározhatjuk az egyéb paraméterek változását meg tudjuk rajzolni a normál és tükörkép paraméterekre vonatkozó eredő térerősség vektor intenzitását a fázisvezetők környezetében.



3.2 ábra: Térerősség intenzitás a fázisvezetők környezetében

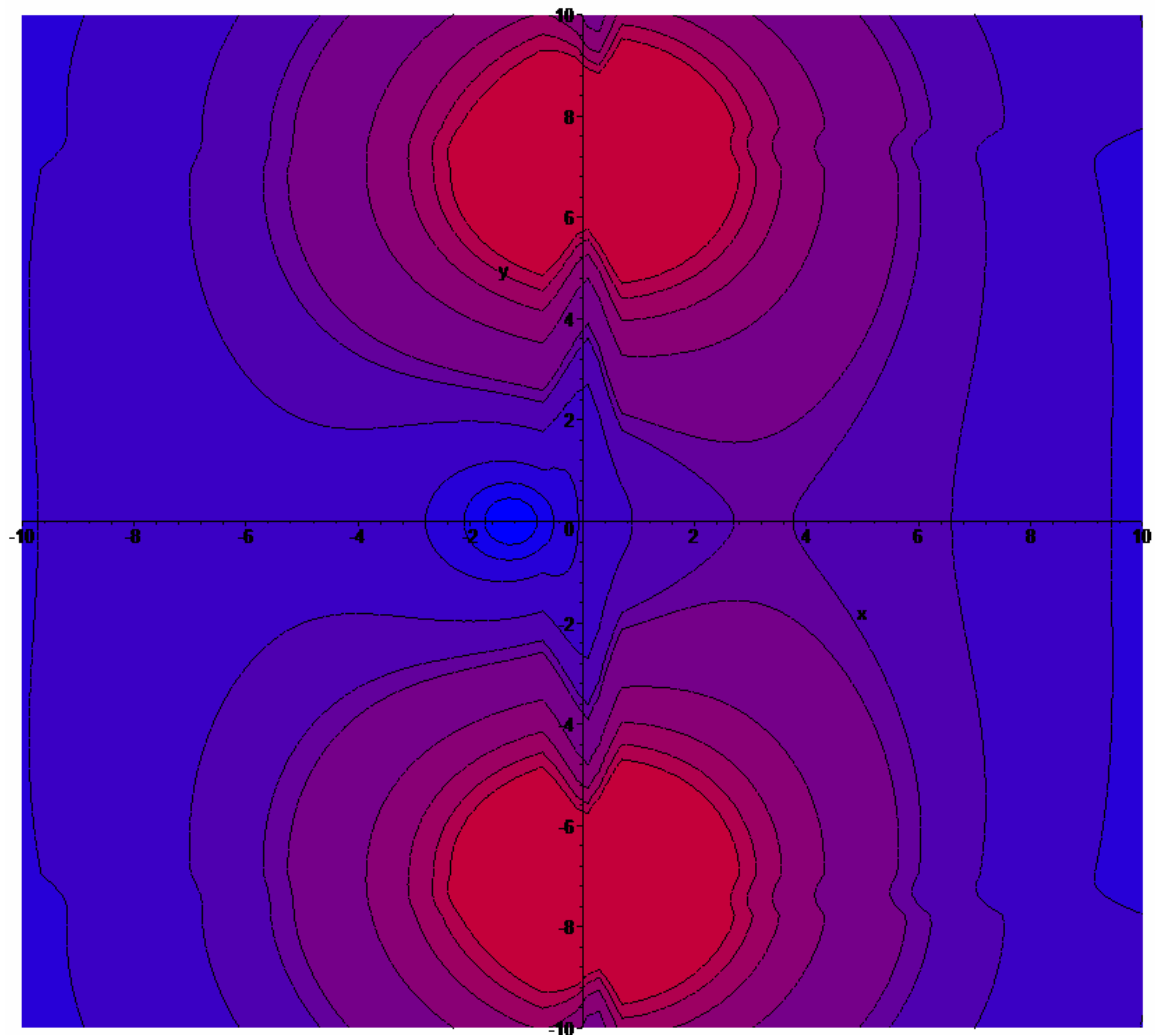
A térerősség vektor intenzitásából látható, hogy a fázisvezetők környezetében a térerősség intenzitása erősebb, tehát a fázisvezetőhöz közeledve egy bizonyos időpillanatban az maradandó károsodást okozó elektromos teret bocsát ki magából.

Tehát következtetésként levonhatjuk, hogy az ilyen típusú vezetők a felfüggesztési pontjaikban és az előírt maximális belógási pontjukban közvetlen veszélyt nem jelentenek, azonban a **3.2.3 ábra** alapján azt mondhatjuk, hogy közvetlen környezetükben egyértelmű veszélyt jelentenek.



3.3 ábra: Térerősség intenzitás az egyes fázisvezetők közvetlen környezetében
/A térerősség függvény szintvonalainak ábrázolásával/

Láthatjuk, hogy az általunk megadott paraméterekre vonatkozóan a bemutatott példában szereplő elrendezésre vonatkozóan milyen térerősség eloszlás jött létre. Azonban abban az esetben ha az idő mint paraméter nem tekinthető konstansnak a térerősség folyamatosan változni fog, így a maximális belógási pontra vonatkozó statikus magasság érték mellett egy változó térerősséget kapok (**3.2.4 ábra**). Az időt egy diszkrét tartományra vonatkozólag adom meg, így az eloszlás változni fog.



3.4 ábra Térerősség intenzitás a fázisvezetők környezetében időtartományban

4 Összefoglalás

A kapott eredmények szerint a szokásosan alkalmazott 20 kV-os szabadvezetékek még a legnagyobb feszültségű esetben sem hoznak létre a vezeték alatti legnagyobb térerősségű pontban és időpillanatban sem a rendelet szerinti egészségügyi határérték közelébe eső villamos térerősséget. Viszont abban az esetben mikor a szabadvezetékek tartószerkezete, vagy maga a szabadvezeték meghibásodik akkor környezetének élettani hatását befolyásolhatja.

A kifejlesztett módszerrel azonban a normáltól eltérő üzemállapotok és nagyobb feszültségű szabadvezetékek is egyszerűen és gyorsan számíthatók, az eredmények pedig szemléletesen megjeleníthetők.

A kutatás további területe a következők lehetnek.

- Villamos térerősség számítása 20 kV-os szabadvezeték alatt a vezeték egyfázisú földzárata esetén, amikor a többnyire kompenzáltan, azaz a transzformátor 20 kV-os szekunder oldali csillagpontja és a föld közé kapcsolt ívöltő tekerccsel üzemelő vezeték ép fázisai vonali feszültségen, azaz a legkedvezőtlenebb esetben 24 kV-on vannak.
- Villamos térerősség számítása a nagyvasúti villamos vontatás 25 kV-os egyfázisú vezetéke alatt, ahol nincs többi fázis, amelyek térerősség-összetevője csökkentené az eredő térerősséget.
- Villamos térerősség számítása 120 kV-os egyrendszerű szabadvezetékek alatt.
- A módszer továbbfejlesztésével 120 kV-os és annál nagyobb feszültségű, kötegelt vezetőjű és villámvédelmi vezetővel rendelkező egy- vagy több-rendszerű szabadvezetékek alatt.

5 Tárgymutató

5.1 *Felhasznált irodalom*

- 1997. évi CLIV. törvény
- MSZ EN 50160:2008
- MSZ 151-1:2000
- MSZ 1:2002
- VÁT-H20
- 63/2004 VII. 26 ESzCsM rendelet
- Jelentés: Elektroszmog mérése és Powerline kommunikáció áttekintése és vizsgálata PTE-PMMK, 2008
- Farkas - Elmer - Villamos energetika, 2010
- Dr. Elmer György - Elektromágneses terek, 2009

5.2 *Melléklet*

- pap_attila_otdk_2013_szamitas.mws (Mapple 11 Classic fájl)

6 Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani, a Villamos hálózatok tanszéken Dr. Elmer György tanár úrnak amiért a kutatási munkámat ötleteivel támogatta és mindvégig mellettem állt.

Köszönetet szeretnék továbbá mondani Dr. Klincsik Mihály tanár úrnak a Matematika tanszéken, munkám segítése és a matematikai megjelenítés kidolgozása végett.

Köszönettel tartozom Maza Gábor mérnök úrnak a létesítési előírások és körülmények és a szabvány általi előírások betartatása végett.

Továbbá köszönetet szeretnék mondani a lehetőségért, hogy részt vehetek a tudományos diákköri konferencián.

7 Nyilatkozat

Aláírással tanúsítom, hogy a Tudományos Diákköri dolgozatom az általam leadott témát tárgyalja és általam - a 2011. őszi Tudományos Diákköri konferenciára - készült. A témát érintő szakirodalmat körültekintéssel kezeltem, a témát érintő jogszabályokat a dolgozat tartalmában nem sértem meg.

Pap Attila