

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Környezettudományi Centrum

Mágneses térerősség mérése távvezetékek közelében

Szakdolgozat

Készítette:

Vizsolyi Pál

Környezettan Alapszakos hallgató

Témavezető:

Horváth Ákos

egyetemi docens

Budapest

2010

1.	Bevezetés.....	1
1.1	A távvezeték hálózatok kialakulása	1
1.2	Egészségügyi határértékek	2
2.	Az erőterek kialakulásának fizikai háttere	4
2.1	Elektromágneses mező a vezetékek környékén	7
3.	Távvezeték mágneses erőterének számítása.....	9
3.1	A program által felhasznált egyenletek.....	9
3.2	A program használata.....	10
3.3	Áramerősség meghatározása.....	12
4.	Mágneses térerősség mérése a környezetünkben	13
4.1	Mérési helyszínek kiválasztása	13
4.2	A mágneses tér mérésére szolgáló műszer működése.....	14
4.3	Mágneses térerősség mérése távvezetékek környezetében	14
4.3.1	Mérési pontok felvétele	14
4.3.2	Távolság mérése	16
4.3.3	Mágneses térerősség mérésének gyakorlata	16
4.3.4	Mérési eredmények bemutatása.....	17
4.3.5	További mérési eredmények távvezetéseknél	26
4.4	Mérési eredmények járművek környezetében.....	27
5.	Összefoglalás	28
5.1	A mérési eredmények összefoglalása.....	28
5.2	A munka során felmerült kérdések, továbblépési lehetőségek	31
6.	Köszönetnyilvánítás	32
7.	Irodalomjegyzék	33

1. Bevezetés

Napjainkban a villamos energiát jó hatásfokkal működő erőművekben állítják elő, és innen távvezeték hálózatok segítségével juttatják el a fogyasztókhoz. A vezetékek közelében villamos és mágneses tér egyaránt kialakul, de ennek esetleges káros egészségügyi hatásaival sokáig nem foglalkoztak. Az 1979-ben megjelent Wertheimer és Leeper tanulmányával [1] –mely statisztikai alapon összefüggésbe hozta a leukémia kialakulását a távvezetékek által létrehozott erőterrel– megindultak a kutatások. Később ezt a vizsgálatot többen cáfolták, de az erőterek lehetséges egészségügyi kockázata továbbra is nyugtalanítja a közvéleményt. Mivel a villamosságból (és mágnességből!) eredő hatások általában nem láthatók, szemben pl. egy árvíz, vagy egy tűz veszélyeivel, sok ember, aki nem rendelkezik elegendő információval ezzel kapcsolatban, mint ismeretlentől tartanak. A távvezetékek nagyméretű oszlopai szintén sokakban fokozzák ezt a veszélyérzetet. A kételyek tisztázása céljából méréseket végeztem távvezetékek környezetében, ill. további vizsgálatokat folytattam járművek közelében is.

1.1 A távvezeték hálózatok kialakulása

A 19. század előtt az energia szállítása nehezen megoldható probléma volt, így az energia előállítása és felhasználása legtöbbször azonos helyen történt. Sok esetben az üzemek, malmok a folyó víz energiájához voltak kötve, vagy magát az energiahordozót, pl. szenet, fát kellett szállítani, ami további energia felhasználást igényelt. Bizonyos esetekben pedig az energiatermelő egységnek is együtt kellett mozognia felhasználás helyével, így egy gőzmozdonynak egy kisebb erőművet is szállítania kell, a nem kis mennyiségű üzemanyag készletével együtt.

Az elektromágneses indukciót Faraday a 18. században fedezte fel. Ezután a transzformátor feltalálásával és a váltóáram használatával valósult meg az energia kis veszteség mellett történő szállítása elektromos áram formájában. Az 1880-as években jöttek létre az első széntüzelésű erőművek, melyek az energiaforrások kitermelési helyei közelében csoportosultak. Ezzel csökkentek az energiahordozók szállítására fordított költségek, így gyengébb minőségű fűtőanyagból is gazdaságosan lehetett energiát előállítani. A villamos energia tisztán szállítható, és széles körben felhasználható, ezért világszerte gyorsan elterjedt. A 20. század elejétől az erőművekkel párhuzamosan elkezdtek kiépülni az energia elszállítására és szétosztására alkalmas távvezeték

hálózatok, melyek biztonságos üzemeltetéséhez egy sor műszaki és egészségügyi szabványt írtak elő.

A távvezetékek környezetében kialakuló erőtereket azért fontos ismerni, hogy dönteni tudjunk arról, hogy adott területek egészségügyi szempontból megfelelőek-e rövid vagy hosszú távú lakossági használatra. Természetesen ezek a kérdések már az egyes távvezetékek építésénél is felmerültek, és ennek megfelelően –a maximális üzemi feszültséget, és a vezetéken folyó legnagyobb áramot figyelembe véve– alakították ki a védősávokat, de a hiedelmek ellenőrzésére és a lakosság tájékoztatása céljából én is méréseket végeztem a mágneses térerősség vonatkozásában. További előnyt jelentett számomra, hogy egy-egy vezeték közelében jól modellezhető a mágneses mező, így kapott adatokat össze tudom hasonítani modellszámítások eredményeivel.

1.2 Egészségügyi határértékek

Az elektromágneses sugárzás és változó elektromos és mágneses erőterek egészségügyi hatásaival már a 70-es évek óta foglalkoznak. A különböző frekvenciájú terek által kiváltott biológiai hatásmechanizmus jelentősen eltér egymástól. Így az 50 Hz-es villamos és mágneses terek esetében az egészségügyi határérték alapját (*alapkorlátját*) az emberben létrejövő áramsűrűség (J), a nagyfrekvenciás tér esetében az élő szervezetben elnyelt teljesítmény (SAR), ill. teljesítmény sűrűség (S) képezi. A tényleges biológiai hatások valóban az előbb említett fizikai mennyiségektől függenek, azonban ezek nem mérhetők közvetlenül. Ezért a gyakorlatban végzett mérések esetén az alapkorlátokból származtatott fizikai mennyiségek szolgálnak *vonatkoztatási határértékként*. A származtatott mennyiségek közé tartozik az elektromos térerősség (E), a mágneses térerősség (H), és a mágneses indukció (B) [2]. A határértékek megállapításánál biztonsági faktorokat alkalmaznak, melynek nagysága attól függ, hogy annak megállapításánál felhasznált kísérleti adatok mennyire megbízhatóak. A biztonsági faktor általában 10 körüli érték. Ez azt jelenti, hogy az adott frekvencián a megengedhető határérték legfeljebb tizedrésze annak az expozíciónak, amelynél egyáltalán valamilyen biológiai hatást találtak [3].

Az EU illetve az ENSZ ICNIRP bizottsága és a WHO ajánlásai alapján a magyar jogrendszer a **63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet** szerint az alábbiakban határozta meg az alapkorlátokat és a vonatkoztatási határértékeket:

Frekvenciatartomány	Mágneses indukció (mT)	Áramsűrűség (mA/m ²) (effektív érték)	Egésztelt átlagos SAR (W/kg)	Helyi SAR (fej és törzs) (W/kg)	Helyi SAR (végtagok) (W/kg)	Teljesítménysűrűség S (W/m ²)
0 Hz	40	-	-	-	-	-
> 0-1 Hz	-	8	-	-	-	-
1-4 Hz	-	8/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	-	2	-	-	-	-
1000 Hz- 100 kHz	-	f/500	-	-	-	-
100 kHz-10 MHz	-	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz-10 GHz	-	-	0,08	2	4	-
10 GHz-300 GHz	-	-	-	-	-	10

1. táblázat: Alapkorlátok (f a frekvencia az első oszlopban megadott mértékegységben kifejezve)

Frekvenciatartomány	Elektromos térerősség (V/m)	Mágneses térerősség (A/m)	Mágneses indukció (μT)	Ekvivalens síkhullám teljesítménysűrűség S_{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
8-25 Hz	10 000	4000/f	5000/f	-
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	-
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	0,92/f	-
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

2. táblázat: Vonatkoztatási határértékek (f a frekvencia az első oszlopban megadott mértékegységben kifejezve)

A fenti táblázatokban a különböző frekvenciák esetén érvényes alapkorlátok és vonatkoztatási határértékek láthatók, ahol f a frekvencia az első oszlopban megadott mértékegységben kifejezve. Ez alapján a távvezetékek –és minden 50 Hz frekvenciával működő elektromos eszköz– által keltett villamos tér esetében 5 kV/m (5000 V/m), a mágneses indukcióra vonatkozóan 100 μT az egészségügyi határérték. A határértéknél nagyobb térerősségű helyeken a tartózkodás idejét korlátozni kell. A WHO ajánlása alapján ez lakosság esetében 10 kV/m-ig napi 2 órát, szakszemélyzet esetén –szintén 10 kV/m-ig– 8 órát jelent. 30 kV/m-nél nagyobb elektromos térerősségű helyeken a szakszemélyzeti is csak néhány percet tölthet, vagy árnyékoló ruhát kell viselnie. A mágneses térerősség esetén ezeket az értékeket rendre 1000 μT, 500 μT, 5000 μT-ban állapították meg. Ha az erőter nagysága csak lokálisan haladja meg a határértéket, kiértékelést kell végezni annak megállapítására, hogy a testben létrejövő hatás mértéke alatta vannak-e az alapkorlátokban meghatározott értékeknek [2].

Távvezetékek esetén a térerősségek nagyságát 1,8 m magasan (fejmagasságban) kell meghatározni. Mivel a térerősség felfelé növekszik, és a fejet tekinthetjük a legérzékenyebb testrésznek, ezért ez szigorú feltételnek tekinthető [4].

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) 2001-ben közzétette az igen alacsony frekvenciájú –beleértve az 50 Hz-es ipari frekvenciájú– elektromos és mágneses térre vonatkozó lehetséges rákkeltéssel összefüggő megállapításait, illetve besorolását. Az elektromos tér esetében semmiféle ilyen hatást nem állapított meg, míg a mágneses terek esetében az igen alacsony frekvenciájú tereket a legenyhébb kategóriába (un. 2B) sorolta.

2. Az erőterek kialakulásának fizikai háttere

Az elektromos és mágneses terek viselkedését a Maxwell-egyenletek írják le. Az első (Gauss-) törvény kimondja, hogy az elektromos tér forrásos, erővonalak indulnak a töltésekről, melyek az ellentétes előjelű töltéseken végződnek. Megegyezés szerint a pozitív töltés felől a negatív töltés felé mutatnak az erővonalak.

Egy adott ponttöltés tere –ha az erővonalaknak további forrása nincs– gömbszimmetrikus (a szimmetria középpontja maga a ponttöltés). Ezért egy r sugarú gömbfelület mentén minden kis df felületen merőlegesen áthaladó erővonalak száma ugyanakkora, valamint egy adott töltés esetén különböző tetszőleges r sugarú gömbfelületeken átmenő erővonalak összege állandó. Ezt a Gauss tétel fejezi ki:

$$\oint \mathbf{E} d\mathbf{f} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

ahol \mathbf{E} az elektromos térerősség, df az a kis felület egység, amire az erővonalakat összegezzük, Q a töltés nagysága, $\epsilon_0=8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ pedig a vákuum permittivitása. Egy adott ponttöltéstől r távolságban az elektromos térerősség nagyságát az alábbi egyenlettel határozhatjuk meg:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

ahol r a ponttöltéstől számított távolság. Több ponttöltés esetén az erőtér nagysága megegyezik az egyes ponttöltések által létrehozott erőterek vektori összegével.

A Gauss-tétel időben változó töltések esetén is igaz, vagyis akkor, amikor a zárt felületen belüli töltések összege változik.

A térerősséget kiszámíthatjuk egy hosszú egyenes vonal mentén folytonosan és egyenletesen eloszló töltések esetén is. Ez esetben a térerősség hengeresen szimmetrikus lesz, a középvonalban a töltött vezeték helyezkedik el. Ekkor szintén igaz, hogy egy r sugarú hengerpalást minden kis df felületén merőlegesen áthaladó erővonalak száma ugyanakkora, valamint egy adott töltés esetén különböző tetszőleges r sugarú koncentrikus hengerpalástokon átmenő erővonalak összege állandó. Mivel az l magasságú henger palástjának felülete $2\pi rl$, ezért a térerősség nagysága is lineárisan fordítottan arányos a sugárral. Ekkor egy λ vonalmenti töltéssűrűséggel rendelkező vezetőtől r távolságban az elektromos térerősség nagyságát az alábbi egyenlettel határozhatjuk meg:

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r}$$

Szintén igaz, hogy több töltött vezeték esetén az erőter nagysága megegyezik az egyes vezetők által létrehozott erőterek vektori összegével. Az elektromos térerősség mértékegysége $[E]=V/m=N/C$.

A mágnesség alapvetően máshogy működik, mint az elektromosság; nincsen különálló mágneses töltés, csak dipólusok léteznek, és így nem alakulhat ki töltés áram sem. A mágneses tér tehát az elektromos térrel szemben forrásmentes, az erővonalak önmagukba záródnak. Ezt mondja ki Maxwell harmadik egyenlete:

$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$

Az Ampère-törvény segítségével írhatjuk le egy áramjárata vezető körül kialakuló mágneses mezőt. A vezetékben folyó I áram egy a vezetőre merőleges sík mentén örvényes teret hoz létre, ezért \mathbf{B} indukció vektor vonalintegrálja a vezető körül r távolságban felvett zárt görbére vonatkozóan:

$$\oint \mathbf{B} d\mathbf{l} = B \cdot 2\pi r = \mu_0 I$$

ahol \mathbf{B} a mágneses indukció, r a vezetőtől számított távolság, μ_0 a vákuum permeabilitása ($\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am), I a vezetékben folyó áram. Ebből a mágneses indukciót az alábbi egyenlettel határozhatjuk meg:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

A térerősség irányát az áram iránya határozza meg a jobbkéz-szabálynak megfelelően: jobb kézzel képzeletben megfogva a vezetőt, ha kinyújtott hüvelykujjunk az áram irányába mutat, akkor a vezetőt körbefogó ujjaink mutatják a mágneses tér irányát. A szuperpozíció elve mágneses tér esetén is igaz; egy tetszőleges görbével határolt felületen merőlegesen áthaladó áramok algebrai összegével arányos a mágneses tér vonalintegrálja. A mágneses térerősség mértékegysége $[B] = \frac{Vs}{Am} = T$.

Láthattuk, hogy az elektromos áram mágneses teret hoz létre, de ez fordítva csak úgy igaz, ha a mágneses tér időben változik; ekkor időben változó örvényes elektromos teret hoz létre. Ebbe a térbe helyezett N menetes tekercs esetén a rajta indukálódó feszültség nagysága arányos a fluxus időegységre eső megváltozásával (Faraday törvénye):

$$U_{ind} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

ahol U_{ind} az indukált feszültség nagysága, Φ a felületen merőlegesen áthaladó erővonalak száma, $d\Phi(t)/dt$ a bezárt mágneses fluxus idő szerinti deriváltja. A mínusz előjel Lenz törvényére utal: az így keletkező feszültség hatására folyó áram mindig akadályozza az őt létrehozó változást.

A Maxwell-egyenletek az elektromágneses hullámok létezését is megjósolták nagyon rövid, ill. nagyon hosszú hullámhosszak esetén is. Az indukációs törvény szerint a változó mágneses tér örvényes elektromos teret kelt, ami szintén időben változni fog, ami megint mágneses teret indukál. Az így kialakuló, forrásától elszakadó \mathbf{E} és \mathbf{B} vektorok egymásra merőlegesek. Ezen terek láncolatát hívjuk elektromágneses sugárzásnak, mely mindkét vektorra merőleges irányba terjed. Sebessége $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$, és hullámhossztól függetlenül fénysebességgel (vákuumban, és levegőben $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s) terjed.

Az elektromágneses sugárzást jellemezhetjük egy felületegységen áthaladó teljesítménnyel, ezt nevezzük intenzitásnak ($[I] = W/m^2$), vagy a kisugárzott foton energiájával ($[E] = J$). Mivel $E = \hbar \cdot f = \hbar \cdot c / \lambda$ (ahol \hbar a Planck-állandó, f a frekvencia,

c a fénysebesség, λ a hullámhossz), ezért szokás az elektromágneses sugárzás energiáját frekvenciával, ill. hullámhosszal leírni.

2.1 Elektromágneses mező a vezetékek környékén

Távvezetékek esetén is a Maxwell-egyenletek írják le a kialakuló elektromos és mágneses teret, de ez esetben a probléma kicsit összetettebb. Magyarországon 50 Hz-es váltóáramú hálózat épült ki, ezért a továbbiakban ezzel foglalkozunk. Az 50 Hz-es szinuszosan változó elektromágneses sugárzás hullámhossza a $\lambda=c/f$ képlet alapján 6000 km lenne, de ennek létrejöttéhez egy legalább negyed ilyen hosszú, egybefüggő (leágazás, transzformátor, és egyéb műtárgy nélküli) vezetékszakra lenne szükség, ilyen pedig nem fordul elő. Tehát 50 Hz-es váltóáramú vezetékek esetén csak változó elektromos, ill. változó mágneses erőtérrel beszélhetünk, sugárzásról nem.

A távvezetékek háromfázisúak, ami azt jelenti, hogy mindhárom fázisvezetőn szinuszosan változik a feszültség és az áram nagysága, de a fázisok 120° -os szöggel ($2\pi/3$ periódussal) el vannak tolva egymáshoz képest. A köztük lévő szinuszosan változó feszültség effektív értéke azonos a vezeték névleges feszültségével, de az egyes vezetők földhöz viszonyított potenciálja $U_{n\acute{e}vl}/\sqrt{3}$.

Habár egy adott függőleges, és a távvezetésekre merőleges síkban a fázisvezetőkön mérhető feszültségek összege, valamint ezen a síkon átmenő áramerősségek előjeles összege nulla, tapasztalatból tudhatjuk, hogy kialakul elektromos, és mágneses erőtér. Ez azért jöhet létre, mert a vezetők között van valamekkora távolság, és a szemlélő (mérő eszköz) nem egyenlő távolságra helyezkedik el az egyes vezetőkől, így azok hatása eltérő nagyságú és irányú, ezért nem egyenlítik ki egymást teljesen. Ebből következik, hogy a vezetők közt lévő távolság fontos szerepet játszik az erőtér kialakításában; minél kisebb, annál közelebb egyenlítik ki egymást a fázisvezetők hatásai. Egy ilyen görbe lefutása az $1/r$ -nél is gyorsabb lecsengést mutat.

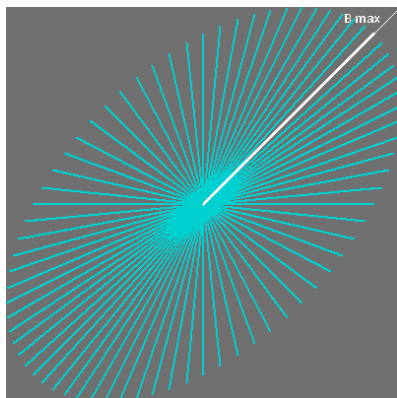
A távvezetékek esetében a fázisvezetők felett védővezetékek futnak, melyek az esetleges villámcsapások elleni védelmet biztosítják. Ezek a vezetékek az oszlopon keresztül földeltek, és így a földdel azonos potenciálon vannak, de mint látni fogjuk, így is hatással vannak az erőtér kialakulására.

Feszültségintéztől függően –nagyfeszültségű átviteli hálózat esetén (120; 220; 400; 750 kV) a vezetőkön kapacitív töltések alakulnak ki [4], melyek a hálózat frekvenciájának megfelelő gyakorisággal váltanak előjelet, és hasonlóan változó elektromos teret alakítanak ki maguk körül. Korábban láthattuk, hogy az elektromos

térerősség nagyságát minden pillanatban az egyes vezetők által létrehozott erőtér vektori összege adja. Ez a távvezetékek esetén is igaz, de a fázisvezetők által kialakított elektromos erőtér hatására a védővezetékben és a földben töltésmegosztás jön létre, ezért ennek a hatását is figyelembe kell venni. Emiatt a távvezeték erőtere csak kétoldali (jobb-bal) szimmetriát mutat.

A vezetőkön folyó áram nagysága szintén szinuszosan változik, és ennek megfelelően a mágneses térerősség nagysága is. A fázisvezetők által kialakított mágneses mező időbeli változása miatt a védővezeték–föld hurokban áram indukálódik, melynek nagysága a talaj fajlagos ellenállásától is függ. Utóbbi értéke mocsaras talaj esetén $10 \Omega\text{m}$, száraz, sziklás terepen $5000 \Omega\text{m}$ körül alakul [5]. Minél nagyobb a föld vezetőképessége, annál nagyobb áramok indukálódnak a védővezetékben. Ennek mértéke a fázisvezetőkben folyó áram 10%-a is lehet [6], így a védővezeték a mágneses teret is módosítja.

A vezeték közelében mérve a mágneses indukciót, az eredő értékéhez az egyes vezetők eltérő nagyságú és irányú járulékot adnak. Ezek eredőjeként egy időben változó



1. ábra: a mágneses erőtér forgóvektora által rajzolt ellipszis

nagyságú és irányú (forgó)vektor jön létre, aminek a végpontja egy ellipszist ír le a térben (1. ábra) [7]. (Hasonló jelenség az elektromos tér esetén is kialakul, de ezzel részletesen nem foglalkozom.) A vezetéktől távolabb –mivel ekkor az egyes vezetők által létrehozott erőtér nagysága és iránya hasonló– az ellipszis alakja egyenes vonallá fajulhat, míg a vezeték közelében körhöz közelít. Ennek a problémának a jelentőségét a mágneses térerősség mérésekor tapasztaljuk. A mérőműszer a különböző irányokban (x, y, z) több periódus alatt mért maximumok pitagoraszi összegeként számolja a mágneses térerősség eredő nagyságát. A vezetékek közelében, ahol a forgóvektor alakja a körhöz közelít, az így számított érték $\sqrt{2}$ -szerese is lehet annak, mintha figyelembe vennénk, hogy a x és y irányú komponensek nem egy időpillanatban érik el maximumukat.

A távvezetékek oszlopai feszültség szintenként különbözőek, de adott feszültség esetén is több féle típus létezik. Az egyes típusokat általában a legelső felhasználási

(földrajzi) helyük alapján nevezték el; így látni fogunk majd Kaposvár, Ipoly, Mátra típusú oszlopokat. Továbbá adott oszlopsoron belül is megkülönböztethetünk feszítő, forduló stb., ill. tartóoszlopokat. A különböző oszloptípusok esetén eltérő a vezetők elrendezése és a köztük lévő távolság, így az erőterek képe is más lesz. A könnyebb modellezhetőség érdekében csak a tartóoszlopok közötti vezetékszakaszokat vizsgáltuk. A kétáramú vezetékeknel kétszer három fázis fut egymással párhuzamosan, esetenként különböző áramot szállítva, ezért ezek közelében az erőter kétoldali szimmetriája is megbomlik.

3. Távvezeték mágneses erőterének számítása

A méréseimmel párhuzamosan felhasználtam Dr. Horváth Tibor Műegyetemi tanár modellszámítási programját is, mely megadott paraméterek alapján számolja ki az elektromos és mágneses erőteret távvezetékek környezetében [8].

Az általam mért mágneses térerősség távolságfüggésének adataiból megbecsülhető a vizsgált vezetéken folyó áram, majd ezt felhasználva további megállapításokat tehetünk az mágneses mezővel kapcsolatban.

A vezeték névleges feszültségét, ill. áramát ismerve a továbbiakban kiszámíthatjuk a vezeték környezetében az elektromos és mágneses erőter nagyságát, valamint annak lecsengését a távolság függvényében.

Az így kapott görbéket összevethetjük az egészségügyi határértékekkel, és megállapíthatjuk, hogy a vezetéktől milyen távolságban lépi át azt.

3.1 A program által felhasznált egyenletek

A program az eredő elektromos térerősséget az egyes vezetők erőterének vektori összegéből számolja, ehhez azonban ismerni kell a vezetők felszínén kialakuló töltéseket. A program ennek megállapításához először meghatározza a vezetópárok –beleértve a védővezetékeket is– között fellépő vonalmenti kapacitásokat (C'), majd a feszültség ismeretében kiszámítja a vonalmenti töltéssűrűséget ($\lambda=C' \cdot U$). Ennek ismeretében a térerősség nagysága az alábbi képlet alapján számítható:

$$E_i = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r_i}$$

ahol, E_i ill. r_i az i -edik vezetőtől származó térerősség, ill. az attól számított távolság. A vezetőkben megjelenő kapacitív töltések hatására földben is töltésátrendeződés jön

létre, ennek hatását tükörtöltések segítségével tudjuk figyelembe venni [9]: a föld felett h magasságban lévő Q töltés tükörtöltése egy föld felszíne alatt h mélységben lévő -Q töltés. A program ez alapján számítja a földfelszín felett az elektromos térerősséget.

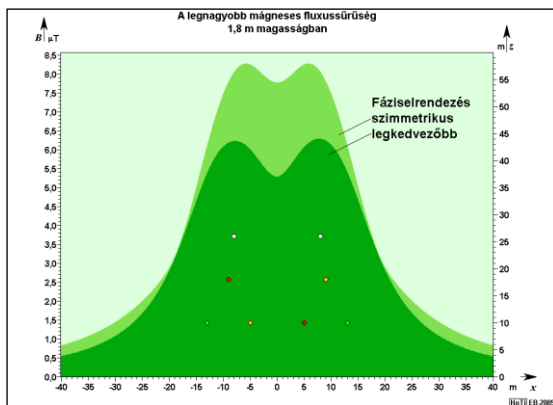
A mágneses indukció eredőjét az elektromos térerősséghez hasonlóan az egyes fázisvezetők által létrehozott indukciók vektori összegéből számolja a program. Az i-edik vezetőtől származó mágneses indukció nagysága attól r_i távolságra:

$$B_i = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_i}$$

A program a földben folyó áramok eloszlását is figyelembe veszi a Carson-Clem-képletek alapján [6,10].

3.2 A program használata

A számításhoz meg kellett adnom az oszlop típusát, pontosabban a vezetők elrendezését, vagyis hogy az egyes fázisvezetők, és a védővezető(k) milyen magasan, és a középvonaltól mekkora távolságra helyezkednek el. A terepen megfigyelt oszloptípusokat kikerestem az Oszlopkép Gyűjteményből [11], és ezek számszerű méret



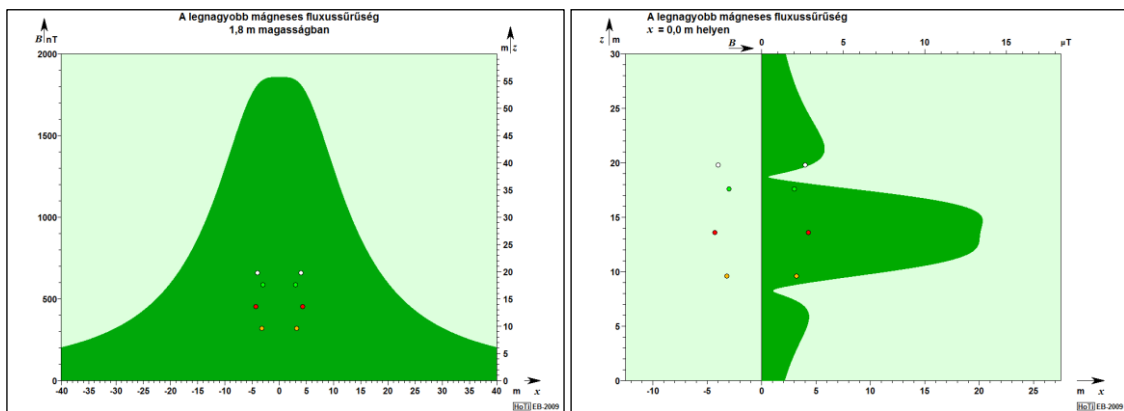
2. ábra: Szimmetrikus és aszimmetrikus fázisrendezés esetén kialakuló mágneses térerősség a vezetékre merőleges vízszintes távolság függvényében

adatait innen írtam be a programba. A fázisok elrendezésének a kétáramú (2x3 fázis) vezetékek esetén van nagyobb jelentősége, mivel ekkor a szimmetrikus és aszimmetrikus fázisrendezés mágneses erőterének nagysága között, a vezeték alatt mérve akár 30-50%-os különbség is lehet, ill. más lesz a térerősség–távolság függvényének lefutása is (2. ábra). Az aszimmetrikus fázisrendezés kisebb mágneses teret kelt

a környezetben. Adott elrendezés mellett a vezeték körül kialakuló mágneses és elektromos erőteret elsősorban a vezetéken folyó áram, valamint a vezeték névleges feszültsége határozza meg, így természetesen ezeket az adatokat is meg kell adni. Az áram nagyságát a mért eredmények alapján próbáltam meghatározni (3.3 pont szerint), a feszültség (az oszlop típusa alapján) ismert volt. A program számításba veszi a vezetők

egyéb paramétereit, mint például a sodrony átmérője, sodronyok száma; ezeket egy táblázatból kiválasztva adtam meg. Magyarországon mindenütt 50 Hz-es váltóárammal működnek a távvezetékek, ezért ezt nem kellett változtatnom. A talaj fajlagos ellenállását szintén meg kell adni, amit egy átlagos értékkel számolva mindenütt 100 Ω -nek vettem.

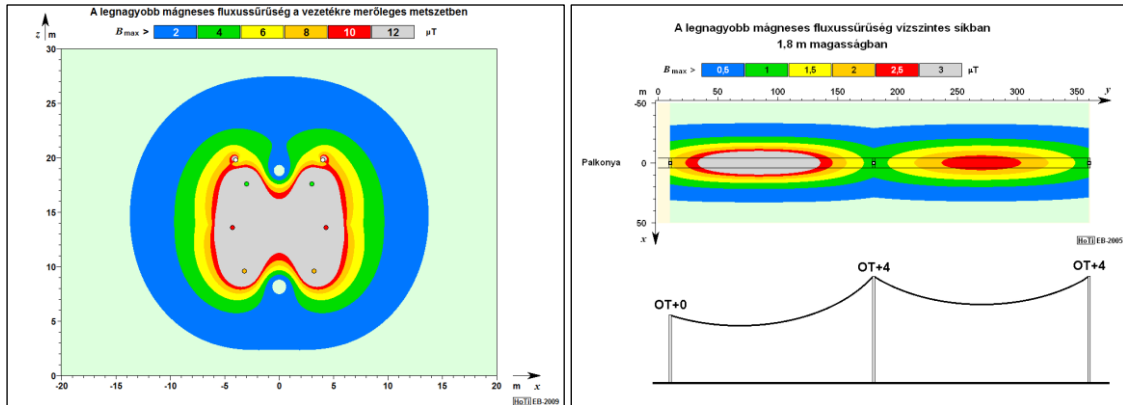
Ezen betáplált paraméterek alapján készíthetünk a programmal a vezetékre merőleges metszeteket, ahol a mágneses és az elektromos térerősség nagysága látható a vezeték középvonalától számított vízszintes, ill. a föld felszínétől mért függőleges vonal mentén. Az így készült grafikonok az alábbi ábrán láthatók:



3. ábra: A programmal készített grafikon; a mágneses térerősség nagysága látható bal oldalon a horizontális, jobb oldalon a vertikális távolság függvényében

A bal oldali grafikonon az x-tengelyen a vezeték középvonalától mért távolság m-ben, az y-tengelyen pedig a mágneses térerősség nagysága látható nT-ban megadva-, a másodlagos (jobb oldali) y-tengelyről pedig a vezető magassága olvasható le. A jobb oldali grafikon elrendezése hasonló az előbb tárgyalthoz; x-tengelyen a vezeték középvonalától mért távolság, y-tengelyen a függőleges magasság látható m-ben megadva. A mágneses térerősség nagysága a másodlagos (felső) vízszintes tengelyen látható μ T egységekben. A színes pontok mindkét ábrán a vezetők helyét jelölik, színük a különböző fázisokat mutatja (fehér a védővezeték, a piros, sárga, zöld pedig a ϕ fázis $+ 0^\circ$, 120° , 240° -ot jelöli). Látható, hogy az erőtér eloszlása vízszintes irányban szimmetrikus, de egy függőleges vonal mentén vannak olyan pontok, ahol a fázisok jobban kiegyenlítik egymás hatásait, így ott lecsökken a térerősség, ill. az egy vízszintes síkra már nem mutat szimmetriát.

Készíthetünk a programmal olyan szintvonalas ábrát is, ahol a térerősség nagysága egyszerre látható a vízszintes és függőleges távolság függvényében (bal oldali ábra), ill. felülnézeti térképet (jobb oldali ábra) is, ahol térerősség eloszlása látható egy adott vízszintes síkon.



4. ábra: A programmal készített szintvonalas ábrák

A bal oldali ábrán az x-tengelyen a vezeték középvonalától vett horizontális, az y-tengelyen a föld felszínétől számított vertikális távolság van feltüntetve; a mágneses térerősség nagyságát a különböző színek jelzik az ábra tetején lévő skálának megfelelően. A jobb oldali ábra alsó felében egy vezeték szakasznak az oldalnézete látható. Az ábra felső részén ugyanezen vezeték mágneses terének felülnézeti képe látható; x-tengelyen a vezetékre merőleges, y-tengelyen a vezetékkel párhuzamos (vízszintes) távolság van feltüntetve, és az 1,8 m-en kialakuló térerősség nagyságát itt is színek jelzik. Megfigyelhető, hogy a legnagyobb a belógás helyén alakul ki a legnagyobb térerősség, valamint azt is, hogy 4 m-rel magasabb oszlopok esetén ennek értéke jóval kisebb.

Az adatokat, amelyekből a program az ábrákat rajzolja, táblázat formájában is megkaphatjuk, így Excellel, vagy más egyéb program segítségével további elemzésre van lehetőségünk.

3.3 Áramerősség meghatározása

Célom az volt, hogy olyan áramerősséget találjak, melyet a programba beírva az abból számított mágneses térerősség távolság függvénye illeszkedjen a mért pontokra. Ehhez egy adott vezeték esetében nagyságrendileg megbecsültem az áramerősséget, majd az így becsült áramra számított mágneses térerősség adatait összehasonlítottam az

általam mért értékekkel. Mivel a számításhoz használt egyenletek lineárisak, ezért a számított és a mért értékek arányából újabb –már pontosabb– becslést adhattam a vezetékben folyó áram nagyságára. Néhány próbálkozás után a számított görbe jól illeszkedett az általam mért mágneses térerősség pontjaira. Az illesztésnél figyelembe kellett venni a 2.1 pontban tárgyalt forgóvektor problémáját; miszerint a vezeték közelében mért értékek pontatlanabbak –a valósnál nagyobbak– lehetnek. Ezért a számított görbének jobban kell illeszkednie a távolabbi pontokra. Itt meg kell jegyezni, hogy egy vezeték esetén is két adatsornak –az oszlopnál, és a feszítőközben felvett adatoknak– kell egyezést mutatnia a számítottakkal, ezért az illeszkedés pontosságát matematikai módszerrel nem tudtam meghatározni; csak szemre becsültem. A távolság és a térerősség mérésének hibáját nem ábrázoltam a grafikonokon, mivel nem használtam fel az illesztéshez. (4.3.2 és 4.3.3 fejezetek alapján a távolságmérés hibája 20 cm, a mágneses térerősség mérésének hibája pedig 10%)

4. Mágneses térerősség mérése a környezetünkben

4.1 Mérési helyszínek kiválasztása

A méréseink helyét úgy igyekeztem megválasztani, hogy egy-egy kisebb körzetet végigjárva több nagyfeszültségű (120, 220, 400, 750 kV-os) vezeték mágneses térerősségének mérésére legyen lehetőség. Magyarországon csak egyetlen 750 kV-os vezeték fut; Tiszaszalka környékén lépi át az ukrán határt, és az Albertirsai transzformátor-állomásig szállítja ezen a feszültségen az energiát. Ez utóbbi helyszínt azért tartottam előnyösnek, mert Budapestről indulva itt érhető el leghamarabb ilyen típusú vezeték, valamint ezen kívül több, különböző és más területet ellátó 400 kV-os vezeték is indul innen.

Második helyszínünknek a Gödi transzformátor-állomást választottam, ahol szintén több 400kV-os vezeték található, ill. 120, és 220 kV-os vezetékek is befutnak. A helyszín további előnye, hogy szintén Budapest közelében található, és könnyen megközelíthető.

Sok olyan közlekedési eszközünk (villamos, metró, trolis, vonat, stb.) működik villamos energiával –maga körül mágneses teret kialakítva–, ahol sok ember fordul meg rendszeresen, ezért ezeken utazva, ill. a peronjaikon állva további méréseket végeztem.

4.2 A mágneses tér mérésére szolgáló műszer működése

A mágneses térerősség mérését *DEXSIL Magnum 310* típusú műszerrel végeztem. Korábban láthattuk, hogy egy változó mágneses térbe helyezett tekercsben a Faraday törvénynek megfelelően feszültség indukálódik:

$$U_{ind} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

(U_{ind} az indukált feszültség nagysága, N a tekercs menetszáma, $d\Phi(t)/dt$ a bezárt mágneses fluxus idő szerinti deriváltja.) Egy ω körfrekvenciájú szinuszos gerjesztés ($B_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$) esetén az indukált feszültség nagysága:

$$U_{ind} = N \cdot A \cdot \omega \cdot B_0 (\cos \omega t + \varphi)$$

A műszer szűrők segítségével képes különböző frekvencia tartományok mérésére, így három beállítási mód közül választhattam: 40-310 Hz tartományban, vagy 50, ill. 150 Hz frekvenciákon határozhatjuk meg a mágneses indukciót. Mivel a hálózati frekvencia 50 Hz, ezt a beállítást választottam.

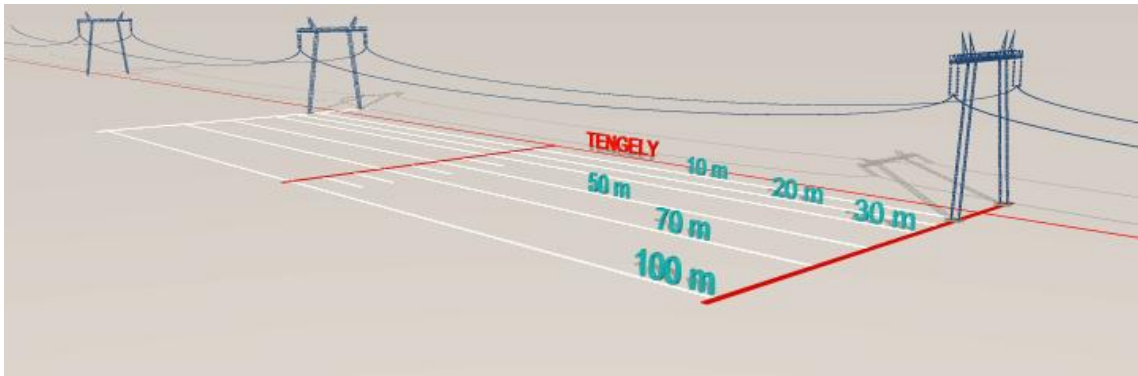
Mivel a mágneses tér tekercs lapjával párhuzamos komponensének változása nem hoz létre indukciót, ezért több irányban is meg kell határozni annak nagyságát, és ezeket összegezni kell. Ezért a készülékben három, egymásra merőlegesen –a tér három tengelyének megfelelően– elhelyezett tekercs található. Az különböző irányokban mért indukciót az egyes tekercseken indukálódott feszültség effektív értékének nagyságából számítja a műszer, de nem méri ezek fázisát. Ezért csak pitagoraszi összegeként határozza meg a mágneses tér eredő nagyságát. Az így számított mágneses térerősség nagyobb lehet a forgóvektor legnagyobb abszolút értékénél.

4.3 Mágneses térerősség mérése távvezetékek környezetében

4.3.1 Mérési pontok felvétele

Távvezetékek esetén a méréseket rendre két egyenes mentén végeztem; az oszlopok közvetlen közelében, valamint két oszlop között, ott ahol a belógás (és így a vezeték közelsége) miatt nagyobb térerősség alakul ki. Mindkét esetben egy a vezetékre merőleges (vízszintes) egyenes mentén, 1,8 m magasságban több ponton vettem fel

adatokat (5. ábra), ezáltal összehasonlíthatóvá válnak az eredményeim az egészségügyi határértékekkel, és az előző fejezetben bemutatott modellszámítással kapott értékekkel.



5. ábra: mérési pontok felvétele

Az ábrán látható piros egyenesek mentén a szélső vezetéktől számított, és feltüntetett távolságokra 1,8 m magasságban vettem fel a mérési adataimat.

A kifeszített vezetékek koszinusz hiperbolikus-függvény alakúak, így azonos oszlopmagasságok esetén –a függvény szimmetriája miatt– pont az oszlopköz távolságának felénél lesz a belógás mélypontja. 220 kV, és annál nagyobb feszültség esetén fázisonként egy vastagabb vezető helyett több vékonyabbat alkalmaznak, melyeket bizonyos távolságonként távtartókkal választanak el egymástól. Ez a technikai tény többször nyújtott segítséget a középpont megtalálásában: páratlan számú távtartó esetén a középső jelenti ezt a pontot, míg páros számú távtartó esetén a középső kettő közt lévő néhány tíz méteres –már könnyebben, és pontosabban mérhető– távolság megfelelésével kaptam meg azt. A vezeték középvonalát hasonló módszerrel határoztam meg: egyszer három fázis esetén a középső áramvezető földre vetített tengelye jelenti ezt a vonalat, kétáramú vezetékek esetén a két alsó vezeték közötti távolság megfelelésével kaptam meg. Erre a vonalra merőlegesen távolodva vettem fel a mérési pontokat, úgy, hogy a szélső (esetenként az alsó) vezetéktől mértem a távolságot. A pontok felvételének gyakoriságát, és a legtávolabbi pont távolságát a tapasztalt mágneses térerősség függvényében igyekeztem meghatározni: minden esetben legyen legalább 6–8 mérési pontom, és a legtávolabbi ponton a térerősség $0,2 \mu\text{T}$ alá csökkenjen. Ekkor már elég jól jellemzi a görbe lefutása a térerősséget, de a műszer tulajdonságai alapján még pontosnak tekinthetők a mért értékek.

4.3.2 Távolság mérése

A távolságok mérésére **HILTI PD 32** típusú lézeres távolságmérőt használtam (6. ábra), mely 200 m-ig $\pm 1,5$ mm pontossággal határozza meg a távolságot, és a beépített optikai célzó segítségével a vékony vezetékek föld felszínétől számított magasságát is meg tudtam határozni. Ez utóbbi módszer 15 m-ig volt hatékony, ennél nagyobb magasság esetén nem magát a vezetőt, hanem a távtartót, vagy az oszlopoknál a szigetelő alját mértem be. Habár a lézer 1,5 mm pontossággal mér, ennél nagyságrendekkel nagyobb (néhány 10 cm-es) hiba származhat abból, hogy a műszert kézben tartva, és nem állványról mértem, ill. a talaj egyenetlenségéből fakadó hiba szintén ebbe a nagyságrendbe esik. (Például 20 cm mély gödörben, szántásban állva, értelemszerűen 20 cm-rel nagyobb vezeték magasságot mértem.) Ezek alapján a távolságmérés hibáját 20 cm-nek vettem.



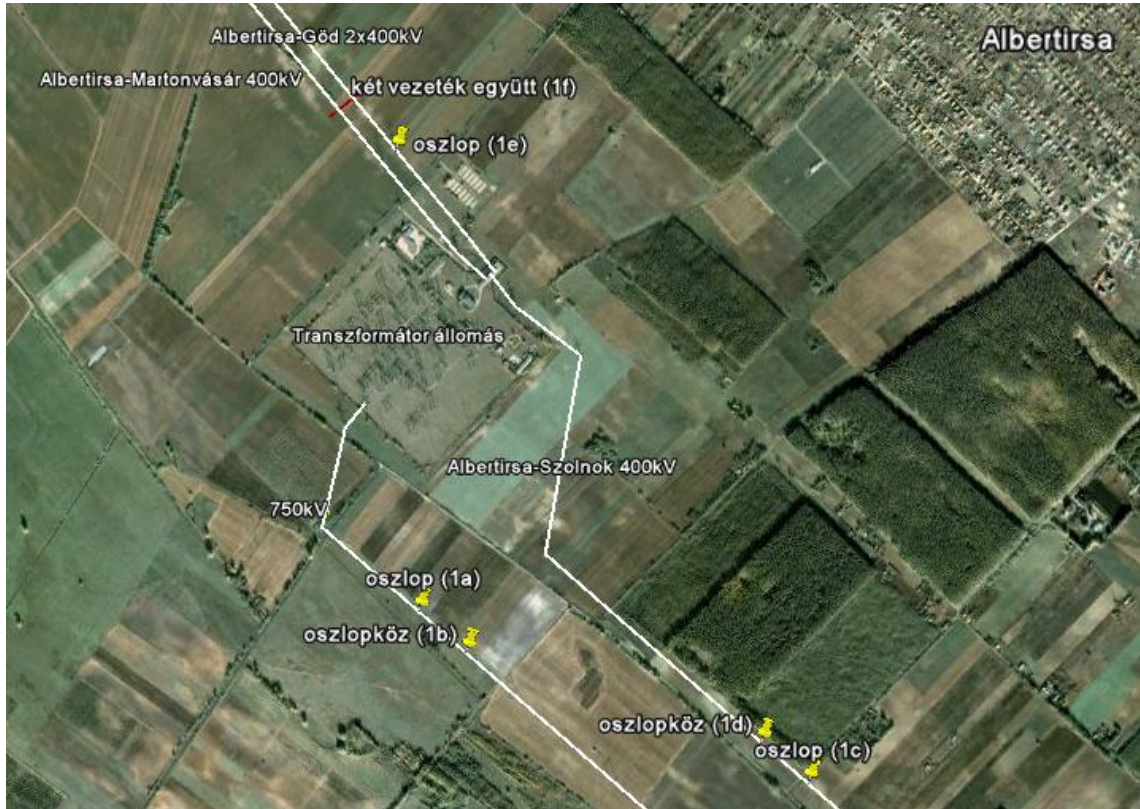
6. ábra: Lézeres távolságmérő

4.3.3 Mágneses térerősség mérésének gyakorlata

A műszert vízszintesen tartva, a rajta feltüntetett x tengely vízszintesen előre, az y tengely rá merőlegesen oldal irányba, míg a z tengely felfelé mutat. Mivel az egészségügyi határértékek fejmagasságra (1,8 m) vonatkoznak, ezért a méréseimet én is ebben a magasságban végeztem. Ekkor el kellett forgatnom a műszert 90° -kal, hogy az adatokat le tudjam olvasni a kijelzőről. Természetesen így felcserélődik a műszeren feltüntetett vízszintes (Bx), és függőleges (Bz) tengely, ezért az adatok további feldolgozásánál ez külön figyelmet igényel. Habár a műszer Bx By Bz pitagoraszi összegeként számolja ki az eredő térerősséget, a táblázatokban feltüntetett adatoknál ez az egyenlőség nem feltétlenül áll fenn. Ennek oka, hogy az egyes térbeli tengelyekhez tartozó értékeket néhány másodperc különbséggel olvastam le, és ekkora időintervallumban már jelentősen változhat mágneses térerősség nagysága. Ez az ingadozás a vezetékek alatt mérve $\pm 0,2$ – $0,5$ μT nagyságrendű volt, ami kb. 10%-a a tapasztalt térerősségnek. Ez alapján a térerősség mérésének hibáját 10%-nak vettem.

4.3.4 Mérési eredmények bemutatása

Az első mérés helyszíne Albertirsa transzformátor állomás környéke, ideje 2010.10.23. délután.



1. kép: Az Albertirsa Transzformátor-állomás környékének képe Google Earth felvételen



A 750 kV-os Albertirsa – Zapadnoukrainszkaja vezeték az állomástól délre, a Dánszentmiklós irányába vezető út délkeleti oldalán értem el; itt az első portáloszlop közelében (GPS koordináták: É 47°13'03; K 19°34'50; térképen „1a” jelöléssel), és az első két portáloszlop között (47°12'59; K 19°34'57;

„1b”) az alábbi értékeket mértem:

oszlopnál				
távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)
0	3,44	1,4	0,34	3,65
17,5	1,8	2,6	0,25	3,12
27,5	0,43	2,2	0,13	2,2
37,5	0,54	1,48	0,01	1,6
47,5	0,65	0,93	0,02	1,16
67,5	0,46	0,36	0,01	0,58

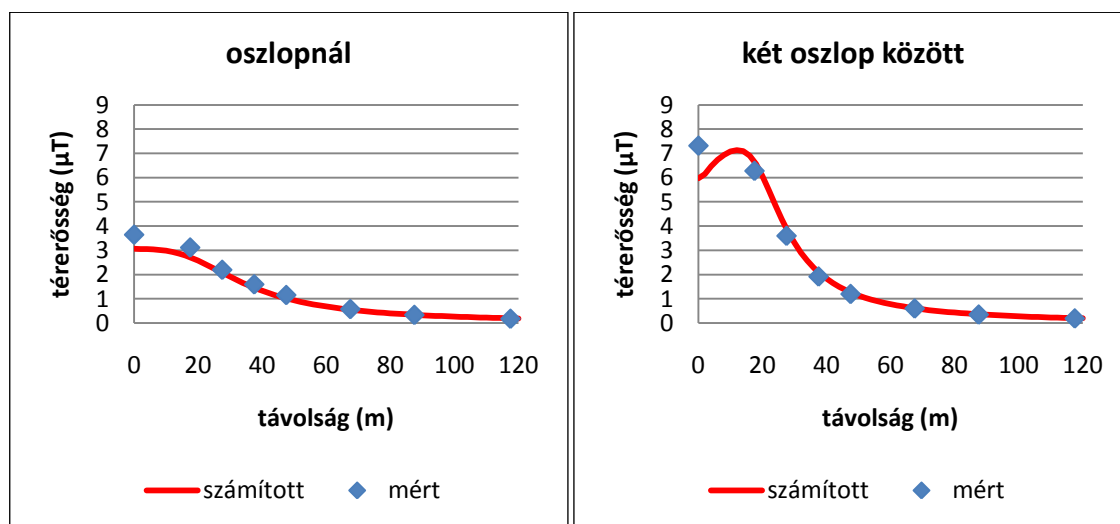
két oszlop között				
távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)
0	5,7	4,6	1	7,32
17,5	2,96	5,5	0,25	6,28
27,5	1,5	3,32	0,16	3,6
37,5	1,44	1,32	0,19	1,92
47,5	1	0,67	0,06	1,2
67,5	0,56	0,2	0,05	0,6

87,5	0,3	0,16	0,02	0,34	87,5	0,33	0,08	0,03	0,35
117,5	0,18	0,06	0,01	0,18	117,5	0,19	0,03	0,01	0,19

3. táblázat: 750 kV-os távvezeték alatt mért mágneses térerősség értékei a távolság függvényében

Az első oszlopban a vezeték középvezetékétől való távolság m-ben kifejezve, a következő oszlopok a mágneses térerősség komponenseinek nagysága μT -ban megadva. Az előző pontban tárgyaltaknak megfelelően –a műszer 90° -os elforgatása után– B_x a mágneses térerősség függőleges irányú, B_y a vezetékre merőleges, B_z a vezetékekkel párhuzamos vízszintes komponens jelöli, míg ezek eredőjének nagysága B . Geometriai okok miatt a vezetők alatt a vízszintes, azoktól távolabb pedig a függőleges komponens lesz nagyobb. A várakozásoknak megfelelően a vezetékekkel párhuzamos komponens értéke általában nulla körüli. (A táblázatban szereplő $1\mu\text{T}$ érték valószínűleg mérési hibának tudható be.) A vezeték magassága az oszlopnál 25,4 m, a legnagyobb belógásnál pedig 13,5 m volt. Látható, hogy a két oszlop között jóval nagyobb (kétszer akkora) értékeket mértem, mint az oszlop közelében, de a vezetékre merőleges egyenes mentén távolodva ez a különbség egyre csökken, hiszen ekkor már a vezeték középvezetékétől mért távolság, és kevésbé a vezető magassága határozza meg adott áram mellett a térerősséget.

Az alábbi grafikonokon a modellszámítással kapott, és a mért értékek összehasonlítása látható az oszlopnál, és a két oszlop között:



1. grafikon: Számított és a mért értékek összehasonlítása a 750 kV-os vezeték esetében

A vízszintes tengelyen a vezeték középvezetékétől mért távolságot m-ben, a függőleges tengelyen a mágneses térerősséget μT -ban megadva olvasható le. A mért pontok értékeit az eredő mágneses térerősség (táblázatban „B”) alapján vettem fel.

A modellszámításban 450 A áramerősséget választva, (a vezeték középvezetékében felvett pont kivételével, melynek problémáját a 2.1 és 3.3 pontban tárgyaltuk) az adatok jó egyezést mutatnak.



A 400 kV-os Albertirsa – Szolnok – Békéscsaba vezetékét az állomástól délkeleti irányban, egy földúton értem el; itt az első két Kaposvár típusú portáloszlop között (É 47°12'47; K 19°35'44; „1d”), és a második portáloszlop közelében (É 47°12'50; K 19°35'37; „1c”) végeztem méréseket. A következő

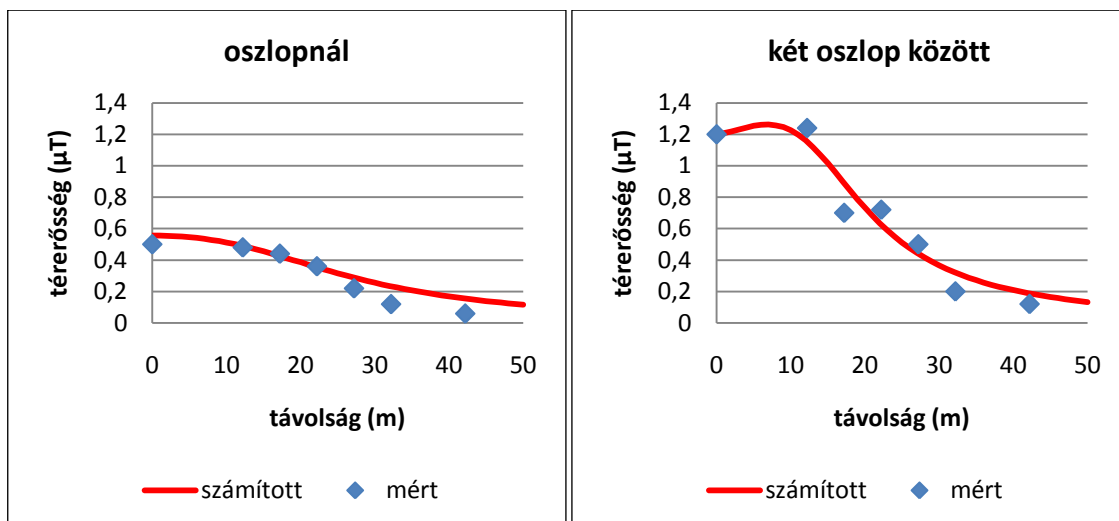
táblázat ezek értékeit tartalmazza:

oszlopnál					két oszlop között				
távolság (m)	Bx (μ T)	By (μ T)	Bz (μ T)	B (μ T)	távolság (m)	Bx (μ T)	By (μ T)	Bz (μ T)	B (μ T)
0	0,34	0,16	0,04	0,5	0	1,1	0,8	0,08	1,2
12,2	0,33	0,38	0,01	0,48	12,2	0,8	1	0,13	1,24
17,2	0,18	0,4	0,01	0,44	17,2	0,14	0,73	0,01	0,7
22,2	0,07	0,32	0	0,36	22,2	0,29	0,64	0,01	0,72
27,2	0,05	0,17	0	0,22	27,2	0,28	0,31	0,01	0,5
32,2	0,02	0,12	0	0,12	32,2	0,15	0,12	0	0,2
42,2	0,02	0,07	0	0,06	42,2	0,11	0	0	0,12

4. táblázat: 400 kV-os Albertirsa – Szolnok – Békéscsaba távvezeték alatt mért mágneses térerősség értékei a távolság függvényében

A táblázat elrendezése és jelölése azonos a 750 kV-os vezetékhez tartozó mérési eredményeivel, és a továbbiakban is e beosztás szerint adom meg a mágneses térerősség adatait.

A vezeték magassága az oszlopnál 22,8 m a legnagyobb belógásnál pedig 12,9 m volt. Látható, hogy jóval kisebb értékeket mértem, mint a 750 kV-os vezeték esetében, tehát kisebb áram folyt rajta, és ebből következik, hogy jóval kisebb is a vezeték teljesítménye. Emiatt már 40 m-es távolságban is nagyon kis ($0,1\mu$ T alatti) térerősségeket mértem, ezért nem vettem fel távolabbi mérési pontokat. Ennél a vezetéknél 75 A áramerősséget választva a modellszámításban, az adatok szintén jól egyeznek. Ez látható az alábbi grafikonokon:



2. grafikon: Számított és a mért értékek összehasonlítása a 400 kV-os Albertirsa–Szolnok–Békéscsaba vezeték esetében



Az Albertirsa – Martonvásár 400 kV-os vonala, és az Albertirsa – Göd kétáramú 400 kV-os vonala a telep közelében néhány km-en keresztül párhuzamosan, egymástól 55 m távolságra fut, így itt a kettő együttes hatását is vizsgálhattam. A méréseket a telep mellett elhaladó úttól északnyugatra található első

oszlopnál végeztem. A legnagyobb belógás helyszínén (É 47°13'51; K 19°34'40; „1f”) a vezetékre merőlegesen délnyugat–északkeleti irányban végeztem a mérést, a martonvásári vezetéktől 27,5 m-re kezdve. (ez a pont a táblázatban -82,5 méterként szerepel, mert a pontok távolságát a gödi vonal középvonalától számítottam) Az oszlopnál (É 47°13'47; K 19°34'47; „1e”) helyi adottságok miatt csak a gödi vonalat tudtam mérni, a vezetéktől északkelet felé távolodva.

oszlopnál				
távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)
-82,5				
-72,5				
-62,5				
-55				
-47,5				
-30	0,32	0,33	0,02	0,45
-13				
0	0,51	0,36	0,03	0,78
13	0,37	0,43	0,04	0,61
23	0,22	0,28	0,01	0,39
33	0,19	0,18	0,03	0,26

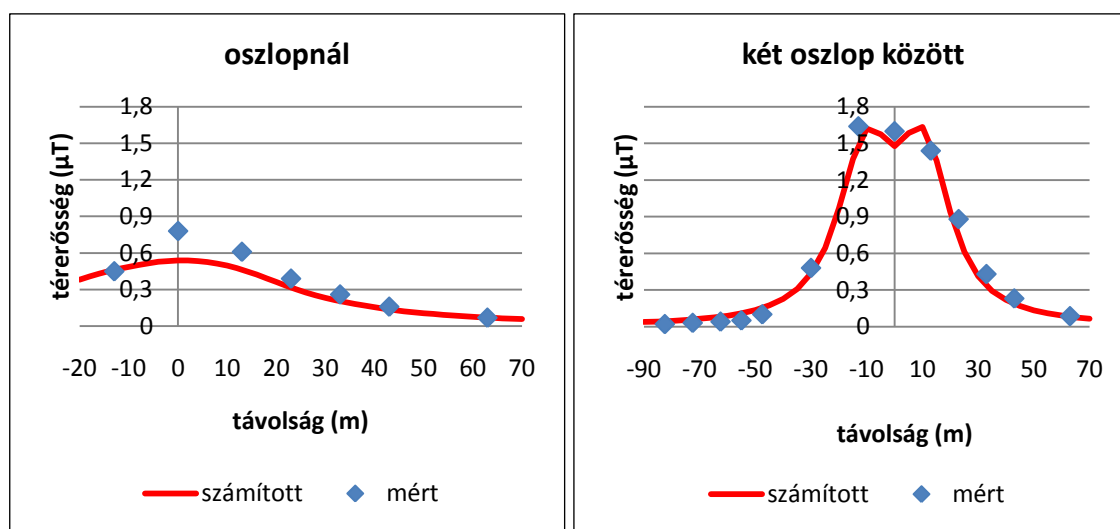
két oszlop között				
távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)
-82,5				0,02
-72,5				0,03
-62,5				0,04
-55				0,05
-47,5	0,08	0,01	0,1	0,1
-30	0,35	0,27	0,02	0,48
-13	1	1,1	0,1	1,64
0	1	1,3	0,09	1,6
13	1,1	1	0,1	1,44
23	0,62	0,64	0,08	0,88
33	0,34	0,23	0,02	0,43

43	0,14	0,1	0,01	0,16	43	0,18	0,13	0,01	0,23
63	0,06	0,04	0,01	0,07	63	0,06	0,06	0	0,08

5. táblázat: 400kV-os Albertirsa–Martonvásár és Albertirsa–Göd vonal párhuzamos szakaszán mért mágneses térerősség értékei a távolság függvényében

A tapasztalt térerősségből látható, hogy a martonvásári vonalnak jóval kisebb a terhelése (ill. lehet, hogy éppen használaton kívül volt), ezért tőle 30 m-re eltávolodva már nullához közeli értékeket mértem, valamint alatta is csak a gödi vonalon folyó áramnak megfelelő térerősséget tapasztaltam. Később kiderült, hogy a vezetékszakaszt éppen felújítják –teljes hosszában kétáramúvá építik át–, ezért valóban ki volt kapcsolva a mérés időpontjában. Így a két vezeték együttes hatását nem tudtam vizsgálni. A gödi vonal alsó vezetékének magassága az oszlopnál 24 m, a legnagyobb belógásnál pedig 12,2 m volt; ez utóbbi adat megegyezik a martonvásári vonal alsó vezetékének magasságával.

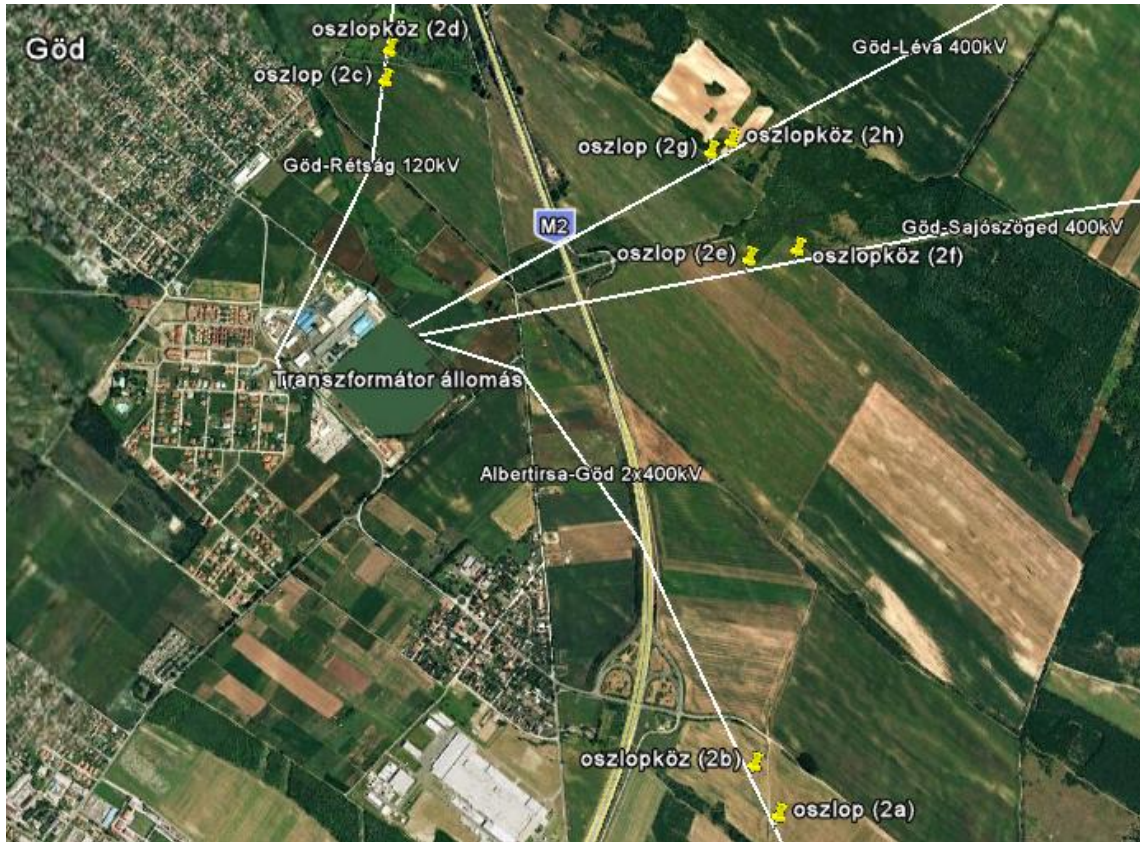
Az alábbi grafikonokon a modellszámítással kapott, és a mért értékek összehasonlítása látható az oszlopnál, és a két oszlop között:



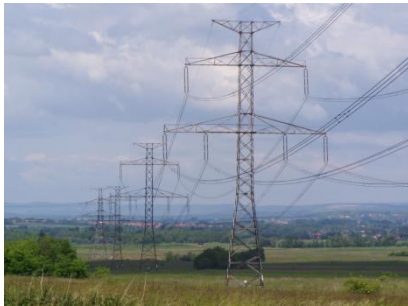
3. grafikon: Számított és a mért értékek összehasonlítása a kétáramú 400 kV-os Albertirsa–Göd vezeték esetében

Látható hogy az oszlop közelében nem mutatnak jó egyezést a mért és a számított értékek, noha a számítások során több féle fázis elrendezés erőterét vizsgáltam, és a fenti görbe illesztés bizonyult a legjobbnak 120 A áramerősség mellett. A különbséget nem csak a korábban említett pitagoraszi összegzésből származó hiba adja, mivel ennél nagyobb eltérést láthatunk.

A második mérés helyszíne a gödi transzformátor állomás környéke, ideje 2010.10.25. koradélután.



2. kép: A Gödi Transzformátor-állomás környékének képe Google Earth felvételen



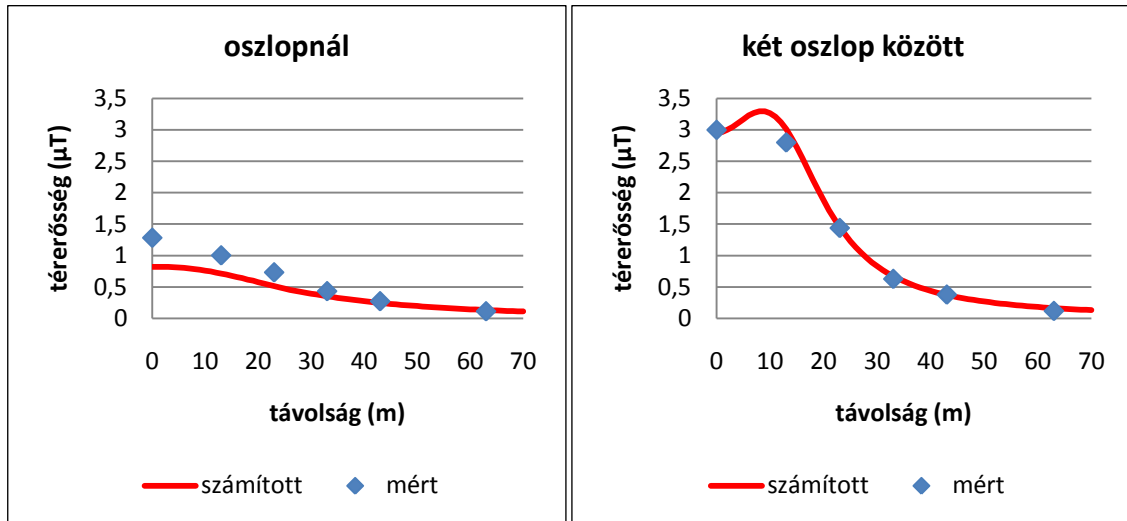
Ezen a helyszínen szintén megtaláltam az Albertirsa – Göd I.-II. vonalat, melyet az M2-es autótút gödi lejtőjéről először keletnek, majd délnek fordulva egy földúton értem el. Itt a 167-es számú oszlopnál (É 47°40'42; K 19°10'50; „2a”), és a 167-es és 168-as oszlop között (É 47°40'47,5; K 19°10'46; „2b”) végeztem méréseket. Ennek adatait a következő táblázat tartalmazza:

oszlopnál				
távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)
0	0,83	0,98	0,13	1,28
13	0,77	0,68	0,04	1
23	0,48	0,49	0,03	0,73
33	0,31	0,31	0,01	0,43
43	0,21	0,18	0	0,27
63	0,08	0,09	0,01	0,11

két oszlop között				
távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)
0	1,76	2,36	0,12	3
13	2,08	1,8	0,1	2,8
23	0,95	0,98	0,03	1,44
33	0,48	0,36	0,09	0,63
43	0,27	0,26	0,01	0,38
63	0,06	0,1	0	0,12

6. táblázat: 400 kV-os Albertirsa–Göd távvezeték alatt mért mágneses térerősség értékei a távolság függvényében

Ennél a mérésnél kb. kétszer nagyobb értékeket tapasztaltam azonos oszloptípus, és közel azonos vezeték magasság mellett a két nappal korábbiakhoz képest, ami valószínűleg a teljesítmény napi, ill. heti ritmusával magyarázható. Az alsó vezeték magassága az oszlopnál 27,4 m a legnagyobb belógásnál pedig 12,1 m volt.



4. grafikon: Számított és a mért értékek összehasonlítása a kétáramú 40V-os Albertirsa–Göd vezeték esetében

Korábban már láthattuk, hogy kétáramú vezeték esetén nem volt tökéletes a mért és a számított adatok egyezése. Ez a probléma a vezeték ezen részén is fennáll, az oszlopnál mért adatokra nem illeszkedik jól a számított görbe. Az eltérés itt is nagyobb, mint ami a Pitagorasz-tétel alapján történő számolásból eredő hibából adódhatna.



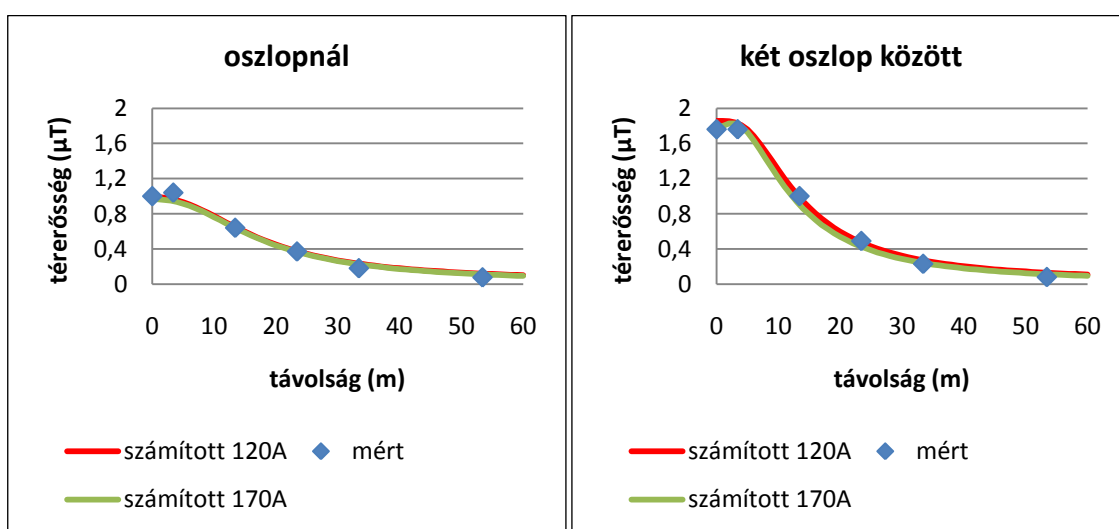
A 120 kV-os Göd–Rétság vezetékét az állomástól északi irányban egy földúton értem el, és itt az első „Vác vidéki” típusú oszlop közelében (É 47°42'04,5; K 19°09'44; „2c”) mértem. A két oszlop közötti mérést azonban nem a legnagyobb belógás helyén, hanem attól 25 m távolságban (É 47°42'08; K 19°09'45; „2d”) végeztem, mert a terepviszonyok miatt itt volt a legkisebb a magassága (9,6 m) az alsó vezetéknek föld felszínéhez viszonyítva. A következő táblázat ezek értékeit tartalmazza:

oszlopnál					két oszlop között				
távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)	távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)
0	0,25	0,99	0,07	1	0	0,61	1,72	0,08	1,76
3,4	0,42	0,9	0,03	1,04	3,4	0,8	1,6	0,05	1,76
13,4	0,61	0,2	0,01	0,64	13,4	0,94	0,2	0,03	1
23,4	0,35	0,08	0,01	0,37	23,4	0,42	0,24	0,05	0,49
33,4	0,15	0,09	0	0,18	33,4	0,16	0,17	0,03	0,23
53,4	0,04	0,05	0,012	0,076	53,4	0,052	0,072	0,012	0,082
78,4	0,028	0,02	0	0,032	78,4				
103,4	0,012	0,004	0	0,012	103,4				
153,4	0,004	0	0	0,004	153,4				
170	0	0	0	0	170				

7. táblázat: 120kV-os Göd-Rétság távvezeték alatt mért mágneses térerősség értékei a távolság függvényében

Ennél a vezetéknél egy próbát végeztem arra vonatkozóan, hogy mekkora távolságban csökken a térerősség értéke a műszer kijelzési határa alá. A mérésből az állapítható meg, hogy a nyomvonalról 170 m távolságban már nincs kimutatható hatása ennek a távvezetéknek.

Szimmetrikus fáziselrendezés mellett 120 A áramerősséggel, ill. kedvezőbb fáziselrendezés mellett 170 A áramerősséggel számolva hasonló lefutású görbét kaptam. Mivel nem tudtam eldönteni, hogy a valóságban milyen fáziselrendezést alkalmaztak, ezért ezt a két szélső esetet ábrázoltam:



5. grafikon: Számított és a mért értékek összehasonlítása a kétáramú 120 kV-os Göd-Rétság vezeték esetében különböző fáziselrendezéseket feltételezve



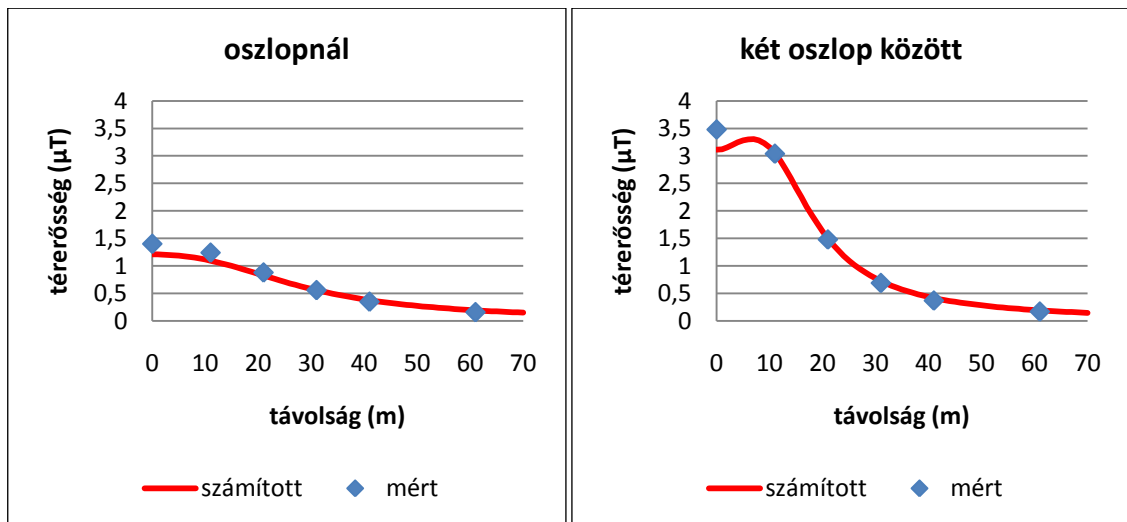
A 400 kV-os Göd–Sajószöged vezeték a transzformátor állomástól észak-északkelet felé eső, M2 út felett átvezető hídon áthajtva, a második lehetőségénél, az erdőben jobbra fordulva egy földúton értem el. Itt az első Mátra típusú portáloszlop közelében (É 47°41'44; K 19°10'45,5; „2e”), és az első két portáloszlop között (É 47°41'45; K 19°10'54; „2f”) az alábbi értékeket mértem:

oszlopnál				
távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)
0	1,24	0,38	0,05	1,4
11	0,9	0,92	0,03	1,24
21	0,13	0,87	0,03	0,88
31	0,16	0,52	0,01	0,56
41	0,19	0,29	0	0,35
61	0,13	0,1	0	0,16

két oszlop között				
távolság (m)	Bx (μT)	By (μT)	Bz (μT)	B (μT)
0	2,88	1,88	0,12	3,48
11	1,68	2,56	0,14	3,04
21	0,7	1,24	0,21	1,48
31	0,54	0,43	0,02	0,69
41	0,34	0,17	0	0,37
61	0,16	0,05	0	0,17

8. táblázat: 400 kV-os Göd–Sajószöged távvezeték alatt mért mágneses térerősség értékei a távolság függvényében

A vezeték magassága az oszlopnál 22,4 m, a legnagyobb belógásnál 11,5 m volt. Az alábbi grafikonon a mért, és 180 A áramerősségre számolt térerősség-távolság görbe lefutása látható:



6. grafikon: Számított és a mért értékek összehasonlítása a 400 kV-os Göd–Sajószöged vezeték esetében

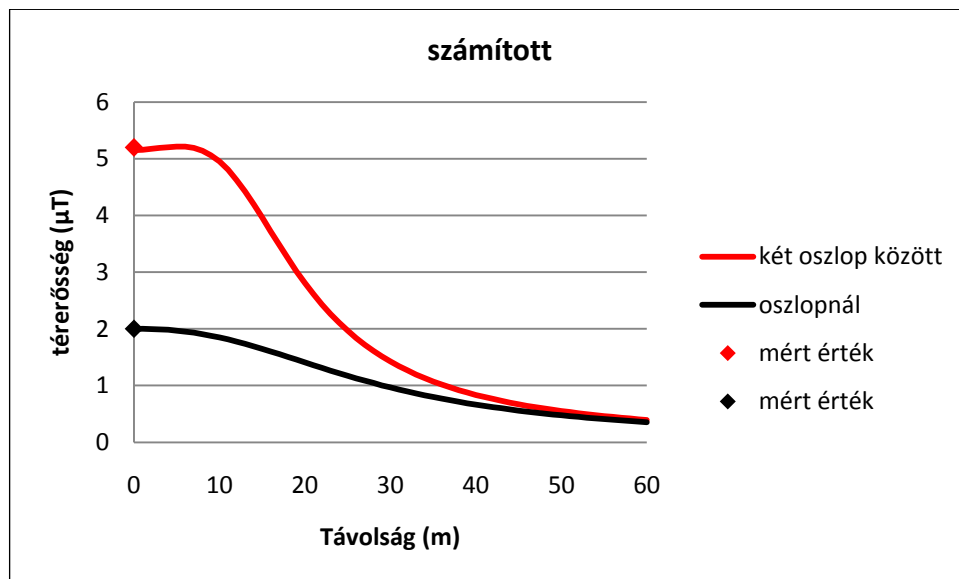
4.3.5 További mérési eredmények távvezetéseknél

Továbbiakban olyan mérési eredményeket adok meg, ahol csak egy-egy mérési ponton mértem, és így nem tudjuk összehasonlítani a térerősség-távolság függvényét a számítottakkal, de ha elfogadjuk a modell helyességét, akkor a vezeték alatt mért értékekből is vonhatunk le következtetéseket.



2010.10.25-én, szintén a gödi állomás környékén a 400 kV-os Göd–Léva vezeték egyik oszlopánál (É 47°41'56; K 19°10'39; „2g”) 2 μT -t, míg az oszlopköznél (É 47°41'57; K 19°10'43; „2h”) 5,2 μT -t mértem. E két ponton a vezeték magasságok ismeretében (oszlopnál 24,1 m, oszlopköznél 12,7 m)

és 330 A áramerősséget választva a modellprogramban, a számított térerősség nagysága megegyezett a tapasztaltakkal. Így a térerősség alábbi lecsengése valószínűsíthető a modell alapján:



7. grafikon: A vezeték alatt mért értékekből valószínűsíthető lecsengés a 400 kV-os Göd–Léva vezeték esetében

Ugyanez alatt a vezeték alatt 2010.10.30-án az Ősagárd és Nőtincs között vezető út északkeleti oldalán (É 47°52'12; K 19°10'39) 9 μT -t mértem. Ekkor nem állt rendelkezésemre lézeres távolságmérő műszer, ezért nincsenek a vezeték magasságára vonatkozó adataink. Így mért értékeket a számításokkal megközelítőleg sem tudtam összevetni. Mivel eddigi méréseim során ezen a ponton tapasztaltam a legnagyobb térerősséget távvezeték esetén, érdemesnek tartottam feljegyezni.

2010.11.06-án a 750 kV-os Albertirsa–Zapadnoukrainszkaja vezeték Tiszavidnél lévő Tisza-keresztezésénél (É 48°11'46; K 22°16'23) a vízen hajózva a legnagyobb belógásnál 1,48 μT -t mértem, míg az oszlopnál 1,56 μT -t. A vezeték magasságára vonatkozó adatokat itt sem ismerjük, de érdekességképpen egy vízfelszínhez közel mért adatot is feljegyeztem.

4.4 Mérési eredmények járművek környezetében

Villamos árammal működő közlekedési eszközökön utazva, ill. ezek peronjain állva szintén mértem 50 Hz-es változó mágneses indukciót. Mivel a troli, és a metró egyenárammal működik, ezért ezek közelében nem volt várható nagy változó mágneses térerősség. A villamos szintén egyenárammal működik, de aszinkron motorja változó frekvenciájú erőteret hoz létre, aminek az 50 Hz-es komponensét mértem. Ezek adatait a következő táblázatban gyűjtöttem össze:

jármű	mágneses térerősség (μT)	
	járművön utazva	peronon állva
villamos (Combino)	0-0,4	0,08-1,2
metró	0-0,2	0,05-0,7
troli	0-0,1	0-0,3
vonat	0-2,5	0,2-9

9. táblázat: Járművek közelében tapasztalható mágneses térerősség

A járművek és a peronok sokfélesége miatt nem tudok egységes viszonyítási pontokat adni a mérések pontos helyére, de igyekeztem olyan helyeken mérni, ahol egy „átlagos” utazó megfordul, ill. az utazás (és várakozás) idejének nagy részét tölti. A felsővezetékek kivételével kerültem az egyéb olyan vezetéseket, amelyek zavarhatják a mérést. Ilyenek lehetnek a lámpához, hangszóróhoz, vagy akár a jármű motorjához futó vezetékek, amelyekben ugyan csak viszonylag kis áram folyik, mégis ezek közvetlen közelében (néhány 10 cm) mérve nagy térerősséget tapasztalható. A 9. táblázatban az ilyen rövidtávú hatásokat kikerülő átlagértékek szerepelnek, de a továbbiakban bemutatok néhány példát, amikor a kiugró értékeket is megfigyeltem.

Villamoson (Combino) utazva az egyik kerék melletti ülés ablak felőli oldalán 70-80 μT mágneses térerősséget mértem, de ez az érték az ülés másik felén (≈ 40 cm-re az előbb említett ponttól) kb. a tizedére, 8-10 μT -ra csökkent. Mivel a térerősség változása

összhangban volt a villamos gyorsításával (ill. lassításával), ezért ennek forrását egy a burkolat mögött, a motorhoz futó vezetéknek tulajdonítottam. Természetesen az ezen az ülésen helyet foglaló ember lábára az említett 70-80 μT „hat”, de ez esetben rendkívül gyorsan lecsökken a térerősség a vezetéktől távolodva. Ráadásul ezek csak a gyorsításkor megfigyelhető csúcsok, amik nagyon rövid ideig állnak fenn. A fenti (9. táblázatban) szereplő maximum értékek is szintén a járművek gyorsításához köthetők.

A Keleti pályaudvar középső vágányai mellett sétálva egy ponton szintén jóval nagyobb térerősséget (13 μT -t) mértem a vártnál. Egy, a sínekre merőleges egyenes mentén javítás nyoma látszott a burkolaton, így azt feltételeztem, hogy egy a földben futó vezeték terét éreztem. Ezt igazolta, hogy a műszert a földhöz közelítve egyre nagyobb értékeket olvashattam le róla; a talajra (aszfalt burkolatra) helyezve már 17 μT -t mértem. Ez esetben is gyorsan csökkent a térerősség a távolsággal; a vezeték feltételezett helyétől 10 m-re már csak a vasúti felsővezetékek által létrehozott tér nagyságával (2-3 μT) megegyező értékeket mértem.

Természetesen ezek a források sokszor rejtve vannak előlünk, így hatásaikat nem tudjuk, de nem is célunk teljesen kiszűrni a mérési eredményeinkből! Mégis, ha egy adott ponton a vártnál nagyobb térerősséget mérünk, érdemes ettől a ponttól távolodva újabb méréseket végezni. Így sokszor egy adott vezeték hozzávetőleges helyét is meghatározhatjuk, és képet kaphatunk arról, hogy hol tudunk olyan mérést végezni, ahol kiküszöbölhetjük ezeket a direkt hatásokat.

5. Összefoglalás

5.1 A mérési eredmények összefoglalása

A program segítségével meghatározott áramerősségek –a vezetékek teljesítményének ismeretében– reális nagyságrendbe estek, ill. az abból számított görbék jól illeszkedtek a mért értékekre. Ez alátámasztotta a mérési eredményeim helyességét.

Az általam vizsgált vezetékek jellemző adatainak összefoglalása az alábbi táblázatban látható:

	U (kV)	I (A)	B _{max} (μT)	E _{max} (V/m)	B _{határérték} (μT)	E _{határérték} (V/m)
Albertirsa–Zapadnoukrainszkaja	750	450	7,4	10080	100	5000
Albertirsa–Szolnok–Békéscsaba	400	75	1,2	4600	100	5000
Albertirsa–Martonvásár	400 (0)	-	-	-	100	5000
Albertirsa–Göd I.-II. (Albertirsa környékén)	2x400	120	1,6	5920	100	5000
Albertirsa–Göd I.-II. (Göd környékén)	2x400	240	3	5920	100	5000
Göd–Rétság	2x120	120 (170)	1,76	1850	100	5000
Göd–Sajószöged	400	180	3,48	6200	100	5000
Göd–Léva	400	330	5,2	4700	100	5000
750 kV (maximális teljesítményt és 10,5m vezető magasságot feltételezve)	750	666	14,7	14740	100	5000

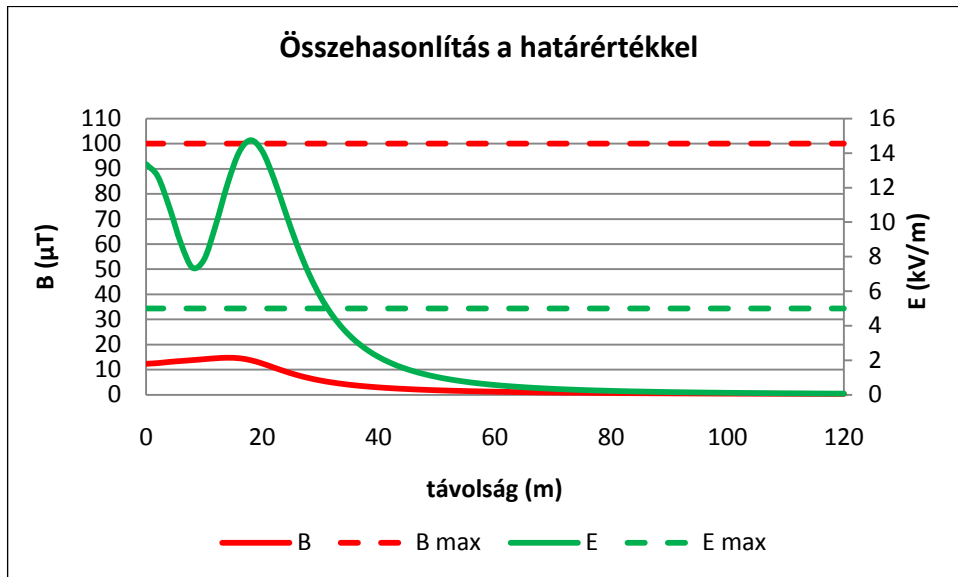
10. táblázat: Az általam vizsgált vezetékek jellemző adatainak összefoglalása

Mint látható, távvezetékek környezetében, a mágneses tér mindenütt a határértékek alatt marad; a legnagyobb mért értékek is egy nagyságrenddel kisebbek annál. Az elektromos térerőségekre vonatkozóan nem végeztem méréseket, de a használt szimulációs program megmutatja az elektromos tér távolságfüggését is. Az elektromos térerősség a vezeték közelében meghaladhatja az előírt határértékeket, de még a védősávon belül (feszültségintől függően 13-40 m [12]) ez alá csökken.

Az Albertirsa–Göd vonalon, a két helyszínen mért áramok nem azonosak, ennek oka, hogy nem egyidőben mértem, és az áramerősség a fogyasztási igényeknek megfelelően változik. Az Albertirsa–Martonvásár vonal felújítás miatt ki volt kapcsolva a vizsgált időszakban, ezért annak környezetében sem mágneses sem elektromos erőter nem alakulhatott ki.

Ha a 750 kV-os vezeték esetén a maximális, 500 MW [13] teljesítménynek megfelelő 666 A áramerősséggel, és a szabványban előírt legkisebb, 10,5 méteres vezető magassággal számolva is csak 15 μT mágneses térerősség alakul ki fejmagasságban. Ez azonban csak a feltételezett legnagyobb áram, és a 60°C hőmérsékletű vezeték mellett kialakuló legnagyobb belógás egy idejű fennállásakor jön létre [14]. Ilyen eset nagyon ritkán –gyakorlatilag soha sem– fordul elő, és akkor is csak keskeny sávot érint a távvezeték nyomvonala mentén. Az alábbi grafikonon a

750 kV-os távvezeték legnagyobb áramára (666 A) számolt elektromos és mágneses térerősség lecsengése a távolság függvényében, valamint az egészségügyi határértékkel való összehasonlítás látható:



8. grafikon: A 750 kV-os távvezeték maximális terhelés mellett kialakuló erőterei, és az egészségügyi határértékek

A mágneses térerősség lecsengését folytonos, az egészségügyi határértéket szaggatott piros vonal jelzi. Az elektromos térerősség távolság függését folytonos, az egészségügyi határértéket szaggatott zöld vonal mutatja.

A járművek közelében mért legnagyobb mágneses térerősségek csak rövid ideig állnak fenn, ill. sokszor csak lokálisan fordulnak elő, és ezzel együtt sem lépik túl a megengedett határértékeket. Az elektromos tér nagyságára vonatkozóan nincsenek adataink, de a feszültség szinteket, és a vezetők közt lévő távolságokat ismerve –legyen az a felsővezeték és a föld, vagy szigetelt vezetékben futó kötegek távolsága– feltehetően jóval kisebb erőter alakul ki.

A mágneses erőteret tömör ferromágneses vagy jó elektromos vezetőképességű anyagokkal lehet árnyékolni. Mivel a határértéket jelentősen meghaladó mágneses térerősség kevés helyen alakul ki, ezért annak árnyékolására ritkán van szükség. Jellemzően transzformátorok környezetében használnak nagy vas, vagy réz lapokat árnyékolás céljából. Az elektromos erőteret már egy vékony téglafal is majdnem teljesen leárnyékolja, ezért a távvezeték közelében található épületekben, lakásokban annak hatásától nem kell tartani.

Jelen dolgozat nem terjed ki az erőterek esetleges biológiailag káros hatásának vizsgálatára, de ha elfogadjuk, és betartjuk a –WHO ajánlása alapján készült– rendeletben szereplő határértékeket és korlátozásokat, akkor minimálisnak mondható az ebből származó egészségügyi kockázat.

5.2 A munka során felmerült kérdések, továbblépési lehetőségek

Láthattuk a kétáramú vezetéknél történő méréseknél, hogy a mért adatokra nem sikerült jól illeszkedő számított adatsort találni. Ennek oka lehet, a szárnyon eltérő az áram nagysága, vagy az egyes szárnyak között $\varphi = n \cdot 120^\circ$ -hoz képest eltérő fáziskülönbség, ill. ha a frekvencia minimálisan is, de eltérhet egymástól, ezért az oszlop két oldalán a fáziskülönbség időben is változhat.

A modellezhetőség érdekében a távvezetékek mágneses erőterével foglalkoztam részletesebben, de további téma lehetőség lehet a háztartási eszközök által létrehozott, vagy a transzformátorok, ill. transzformátor-állomások közelében kialakuló mágneses térerősség mérése. A mérések alapján érdekesnek tartanám a villamos közlekedési eszközökön (villamos, villanymozdony) és transzformátor-állomásokon a szakszemélyzetet érő mágneses erőter nagyságának vizsgálatát is.

Habár az elektromos térerősség mérése technikailag jóval bonyolultabb feladat, megfelelő műszerrel ez is megoldható. Így ennek kimérése a távvezetékek környezetében, és a fent említett további esetekben szintén témája lehet egy tudományos alapú dolgozatnak.

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Horváth Ákosnak a rengeteg segítséget, amit tanácsaival és türelmével nyújtott a szakdolgozatom megírásában.

Köszönöm Dr. Horváth Tibornak a szakmai konzultáció lehetőségét, a téma villamosmérnöki alapjainak tudományos igényű átadását, a témához kapcsolódó irodalmak ajánlását, és a felhasznált program rendelkezéseimre bocsátását.

Köszönöm Dr. Berta Istvánnak a mágneses térerősség mérésére szolgáló műszer biztosítását.

Köszönöm Koch Józsefnek a lézeres távolságmérő eszköz biztosítását.

Köszönöm Czermann Mártonnak a sok gyakorlati segítséget mind a dolgozat megírásának, mind a mérések elvégzése terén.

Köszönöm Horváth Margitnak az alapos átolvasást, a stilisztikai tanácsadást, és a mérésekben való részvételt.

Vizsolyi Pál

7. Irodalomjegyzék

- [1] WERTHEIMER N.–LEEPER E. 1979: Electrical wiring configurations and childhood cancer. – *American Journal of Epidemiology*. Vol. 109., No. 3. 1979
- [2] 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet
- [3] <http://www.bazisallomas.com/index.php?m=eu> (egészségügyi háttér)
- [4] Dr. HORVÁTH T. 1990: Benne élünk az erőterben! I. – *Villamosság* 38. évf. 2. szám, 52-56.old. – *Magyar Elektrotechnikai Egyesület*
- [5] Dr. HORVÁTH T. 1994: Szabadvezetékek villamos és mágneses erőtere a VEREBELY.E2 program alapján. – *Elektrotechnika* 87. évf. 7. szám, 321-324. old. – *Magyar Elektrotechnikai Egyesület*
- [6] Dr. HORVÁTH T. 1994: Szabadvezetékek villamos és mágneses erőterének számítása. – *Elektrotechnika* 87. évf. 6. szám, 267-269. old. – *Magyar Elektrotechnikai Egyesület*
- [7] Dr. HORVÁTH T. 2006: Szabadvezetékek villamos és mágneses erőterének képe. – *Elektrotechnika* 99. évf. 7-8. szám, 5-7. old. – *Magyar Elektrotechnikai Egyesület*
- [8] A felhasznált programot (VEREBELY.E2) a BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar Villamos Energetika Tanszékén értem el.
- [9] J. D. JACKSON 2004: Klasszikus elektrodinamika. – *Typotex kiadó*, Budapest
- [10] Dr. GESZTI P. O. 1983: Villamosenergia-rendszerek I. – *Tankönyvkiadó*, Budapest 354-365.old.
- [11] FARKAS J.–ECSERI R. (szerk.) 2002: Oszlopkép Gyűjtemény. – *kiadta: Bilik József*
- [12] 11/1984. (VIII.22.) IpM sz. rendelet
- [13] KIMPIÁN A. 2010: Átviteli hálózati nagyberuházások; a 750 kV-os távvezeték és az Albertirsai 750/400 kV-os alállomás. – *BME VIK Villamos Energetika Tanszék Nagyfeszültségű Technika es Berendezések Csoport- Oktatási anyaga*
- [14] 750 kV-os távvezeték villamos és mechanikai számításai 1975. – *Építésügyi Tájékoztatói Központ*

További felhasznált irodalom:

- Békéscsaba – Országhatár 400 kV-os távvezeték és optikai összeköttetés tárgyú vezetékjogi engedély határozat kihirdetése. – *Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal; Ikt.szám: 3321/HÁLIG/2006 Határozat*

- HEVESI I. 1998: Elektromosság. – *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest
- Dr. HORVÁTH T. 1990: Benne élünk az erőterben! II., III., IV. – *Villamosság* 38. évf. 3., 4., 5. szám. – *Magyar Elektrotechnikai Egyesület*
- PAULUSZ M. 1988: A Göd–Kaszásdűlő 400 kV-os távvezeték közelében kialakuló elektromágneses erőter hatásai (tanulmány). – *Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Budapest*
- PAULUSZ M. 1991: Távvezetékek közelében kialakuló 50 Hz-es mágneses erőterek mérése. – *Elektrotechnika* 84. évf. 4. szám, 141-153. old. – *Magyar Elektrotechnikai Egyesület*
- <http://ion.elte.hu/~akos/kflab/mik/mik.html>
MIK – Háztartási eszközök által kibocsátott mikrohullámú sugárzások mérése
- <http://ion.elte.hu/~akos/kflab/mik/esz.html>
EMS – Háztartási eszközök által kibocsátott alacsonyfrekvenciás sugárzások mérése
- <http://www.mvm.hu/Engine.aspx>
Magyar Villamos Művek Zrt. honlapja

Nyilatkozat

Név: Vizsolyi Pál

ELTE Természettudományi Kar, szak: Környezettan BSc

ETR azonosító: VIPOAAT.ELTE

Szakedolgozat címe: Mágneses térerősség mérése távvezetékek közelében

A **szakedolgozat** szerzőjeként fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Budapest, 2010.12.20

a hallgató aláírása