



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport

Nagyfeszültségű távvezeték sérült védővezető javítása szerelő kocsiszékekkel

Szerző:

Göcsei Gábor

MSc II. villamosmérnök

gocsei.gabor@eszk.org

Konzulens:

Németh Bálint

Villamos Energetika Tanszék

nemeth.balint@vet.bme.hu

2011. október 27.

Tartalom

1. Témakiírás	3
2. A védővezető általános bemutatása	4
3. OPGW sodronyok károsodásának vizsgálata	7
4. A védővezető-sodrony felépítése	15
5. A hazai távvezetési sodronyok sérülései	18
6. Nemzetközi tapasztalatok OPGW sodronyokkal	19
7. Villámcsapás okozta károk	20
7.1. A károsodások okainak vizsgálata	21
8. Sérült védővezető sodronyok megközelítésének lehetséges technológiái	24
8.1. Magyarországi gyakorlat	27
9. Javítási módszerek	27
9.1. Sérült védővezető javítása elemi szálakkal történő körültekeréssel	27
9.2. Sérült védővezető javítása osztottsíkú javítóhüvellyel	28
9.3. Módszerek és technológiák összegzése	30
10. A védővezető koncentrált terhelésének vizsgálata	31
10.1. A számítás menete	32
10.2. OPGW sodrony koncentrált terhelése	37
10.3. Számítási algoritmus megvalósítása MATLAB felhasználásával	37
10.4. A számítási algoritmus bemutatása	39
10.5. Eredmények	49
11. Oszlopképek vizsgálata	50
12. A szimuláció paramétereinek változtatása	54
13. Összefoglalás, kitekintés	57
14. Irodalomjegyzék	58

1. Témakiírás

A nagyfeszültségű távvezetékek környezetükből kiemelkedve haladnak, ezért villámcsapások által fokozottan veszélyeztetettek. A távvezetéseket – több funkciója mellett – villámcsapásoktól is védő védővezető elemi szálai a villámáram termikus hatásának következtében megolvadhatnak, emiatt gyakran fellép az ún. szálkiszodródás jelensége. Ilyen esetekben a szálkiszodródott védővezető funkcióit (villámvédelem, földelési ellenállás csökkentése az oszlopok párhuzamosan kapcsolásával, villamos- és optikai jelátvitel) már nem tudja megfelelően ellátni, ezzel veszélyeztetve az üzembiztonságot.

Az egyre növekvő nemzetközi villamosenergia-transzfer hatására – a villamosenergia-rendszer stabilitásának megőrzésének érdekében – egyre kevésbé engedhető meg egy nagyfeszültségű távvezeték kikapcsolása. Lehetséges megoldást jelent a javítási művelet feszültség alatti munkavégzéssel (FAM) történő kivitelezése. A magyarországi gyakorlatban jelenleg a nagyfeszültségű hálózaton nem végeznek feszültség alatt munkát. A jövőben – a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően – az üzembiztonság növelése mellett gazdasági szempontok figyelembe vételével hazánkban is várható ennek a technológiának az ismételt megjelenése.

A sérült védővezető javításának egyik legelterjedtebb módja a szerelő kocsiszék alkalmazása. A különböző sodronytípusok korlátozott mechanikai teherbírása miatt azonban a távvezetékek oszlopközeiben ez a technológia nem minden esetben alkalmazható az oszlopköz teljes hosszában. A munkavégzés során a napjainkban széles körben alkalmazott optikai szálás védővezetők (OPGW – optical ground wire) esetében problémát jelent továbbá, hogy a védővezető legkisebb hajlítási sugara erősen korlátozott, ezért a javításhoz használható szerelőkocsi – annak tömege miatt – bizonyos védővezető-típusok esetén nem alkalmazható. A TDK dolgozat részét képezi a távvezetési sodronyokra ható erők részletes vizsgálata. A matematikai és fizikai háttér áttekintése mellett cél egy, a gyakorlati munkavégzést nagyban megkönnyítő számítási algoritmus megvalósítása és az ehhez kapcsolódó szimulációk elvégzése MATLAB alkalmazásával.

A bemutatásra kerülő vizsgálati módszerek segítségével átfogó kép kapható a magyarországi nagyfeszültségű távvezetékek védővezetőinek teherbíró képességéről, a számítások elvégzéséhez szükséges idő jelentősen csökken, a szimuláció összes jellemző paramétere pedig tetszőlegesen változtatható. Az eredmények grafikus formában szemléletesen reprezentálják a vizsgált távvezeték mechanikai tulajdonságait.

2. A védővezető általános bemutatása

A nagyfeszültségű távvezetékek esetében a védővezető több feladatot is ellát:

- a távvezeték villámvédelme,
- a földelési ellenállás csökkentése,
- kommunikáció az alállomások között, optikai összeköttetés.

A védővezető fontos feladata a távvezeték védelme a légköri eredetű túlfeszültségekkel – villámcsapásokkal – szemben. Ennek megfelelően a fázisvezetőknél magasabban, a távvezeték-oszlop legmagasabb pontján húzódik, és általában fémes kapcsolatban van az oszlopszerkezettel.

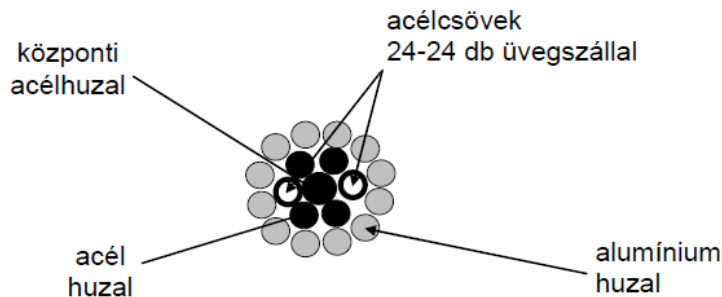
A védővezető méretezésekor fontos szempont, hogy a jelentős villámáramokat károsodás nélkül, a legkisebb ellenálláson át vezesse le. Nagyfeszültségű távvezetékek esetén a villámvédelem kiemelt fontosságú, mivel a távvezeték nagy magasságban, gyakran teljesen sík területen, a környezetből jelentősen kiemelkedve halad.

A védővezetőnek nagy jelentősége van a távvezeték eredő földelési ellenállásának csökkentésében is. Az oszlopokkal fémes kapcsolatban levő védővezető az oszlopok egyedi földelési ellenállásait egymással párhuzamosan kapcsolja, jelentősen csökkentve ezzel a villámáram, illetve zárlat, meghibásodás hatására létrejövő potenciál-emelkedést a távvezeték-oszlop környezetében.

A távközlés fejlődésével rohamosan terjednek a védővezetőben futó optikai szálak megoldások is. Az optikai szál megvalósítja az alállomások közti védelmi, irányítástechnikai és távközlési jelátvitelt, melyhez a vezető belsejében futó monomódusú üvegszálakat használnak.

Ma Magyarországon a nagyfeszültségű távvezetékek védővezetőinek típusai rendkívül változatos képet mutatnak. Az egymástól mind mechanikai, mind villamos paraméterekben nagymértékben különböző OPGW sodronyok esetében ezért kiemelten fontos azokat az adott sodrony fizikai jellemzőinek figyelembe vételével, az adott távvezeték nyomvonalának jellegét is szem előtt tartva vizsgálni.

Hazánkban jelenleg legnagyobb számban az Alcatel AA/St 59/25 - 11,8 típusú OPGW üzemel. Ennek szerkezetét az 1. mutatja be.



1. ábra. Alcatel AA/St 59/25 - 11,8 típusú OPGW szerkezete

Ahogy az ábrán is látható, az ACSR OPGW sodrony általában három fő részből áll:

- alumínium elemi szálak,
- acél elemi szálak,
- optikai szálak.

A zárlati vagy villámáram védővezetőn folyó részének jelentős hányada az **alumínium szálakon** át jut a földbe. Mivel ezek az áramok gyakran több kiloamper nagyságrendűek, az alumínium szálak összességének megfelelő keresztmetszettel kell rendelkeznie ahhoz, hogy az ezáltal okozott rövid idejű, de igen erőteljes hőhatás ne károsítsa azokat. Legtöbbször a sodrony ezen része sérül meg a becsapás helyén a sodronyt érő villamos töltésmennyiség által létrehozott áram hőhatásának következtében (elemi szál-szakadás, „szálkisdoródás”).

A sodrony mechanikai szilárdságáért az **acél szálak** felelősek. Ha ezek is megsérülnek, a védővezető mechanikai teherbíró-képessége jelentősen csökken, ezért a szerelő kocsiszékkal történő javítás ebben az esetben tilos.

Az **optikai szálak** a védővezető segítségével megvalósított kommunikációt biztosítják. Ezek – a megengedettnél nagyobb – terhelés hatására az acél és alumínium részekhez hasonlóan nyúlhatnak, csavarodhatnak és megtörhetnek [1].

A működés szempontjából kritikus paramétereket a sodronygyártók a sodrony adatlapján megadott határértékekkel szabják meg. Fenti hatások közül az OPGW törésére vonatkoznak a legszigorúbb előírások, melyet a gyártók „minimális hajlítási sugár” adattal határoznak meg.

Az utóbbi években központi kérdéssé vált a nagyfeszültségű távvezetékek nyomvonalának kommunikációs célokra történő felhasználása. Az átviteli hálózati távvezetékek a telekommunikációs ipar számára költséghatékony alternatív útvonalat jelentenek, miközben a vezetékek tulajdonosai jelentős bevételi forráshoz jutnak. A villamosenergia-iparban a megbízható belső kommunikáció alapvető a védelmi és irányítástechnikai igények kielégítéséhez. Ezt a kommunikációt az OPGW sodronyok megjelenése előtt a távvezetéseken átvitt nagyfrekvenciás jelekkel vagy mikrohullámokkal oldották meg. Jelenleg ez a technológia már kiegészül vagy helyettesítésre kerül optikai kábeles kapcsolat felhasználásával. A mai modern, digitális védelmi és irányítástechnikai rendszerek egyre nagyobb információsűrűséget igényelnek, ezek számára az optikai kábeles kapcsolat az egyetlen elfogadható megoldást jelenti. A leggyakoribb megoldás az OPGW védővezető alkalmazása. Az OPGW sodronyok általában rendelkeznek a rugalmasság és mechanikai szilárdság megfelelő kombinációjával, amely által e sodronyok fizikai paraméterei a legtöbb feszítőközre megközelítik a hagyományos vezetők belógását és feszességét [3].

A viszonylag új gyakorlat ugyanakkor néhány technikai és biztonsági problémát is felvet: OPGW sodronyok esetén számos hibaesemény ismert, melyek igen nagy valószínűséggel pozitív töltést kisütő villámcsapásokhoz köthetők.

Az optikai szálak nélküli védővezető villámcsapással szembeni ellenálló képessége fontos, de nem kritikus tulajdonság. A védővezető meghibásodása ekkor is felléphet ugyan, azonban az esetleges sérülésekből adódó hibák a távvezeték üzemét csak kis mértékben veszélyeztetik és általában elegendő a javítást a normál karbantartás keretében elvégezni. Az OPGW sodronyok alkalmazásával a meghibásodások sokkal kritikusabbá válnak, mert ekkor egy esetleges hiba esetén az optikai összeköttetés is sérülhet, az üzemeltetőnek pedig gyakran szerződés alapján kell garantálnia a

kommunikációs csatorna rendelkezésre állását. A hosszan kisodródott elemi szálak földrövidzárlatot okozhatnak a legközelebbi áramvezetőt átütési távolságon belül megközelítve, emiatt a szálkisodródás az észlelést követően sürgősen elhárítandó [4], [5].

A távvezetési hibák elemzése azt mutatja, hogy a hálózaton elvégzett rekonstrukciók következtében a meghibásodások az utóbbi három évben eltolódtak az áram- és a védővezetők és szerelvényeik irányába, mintegy fele-fele részben. Ezek alapján az üzemviteli technológiának nem elsősorban a szigetelő-, hanem az áram- és védővezető sodrony-sérülések javítására kell felkészülnie. A sodronyhibák 2006-ban és 2008-ban ugrásszerűen, 2007-ben pedig jelentősen megemelkedtek, az adott időszakban előforduló távvezetési hibák 78%-a sodronysérülés. A sodrony és szerelvényeik sérüléseinek helye 55-45% arányban oszlik meg a védővezető és az áramvezető között. Az utóbbiak esetében a legtöbb hibát a szerelvények (rezgécscillapítók, köteg-távolságtartók), míg a védővezetők esetében a sodronysérülések okozzák.

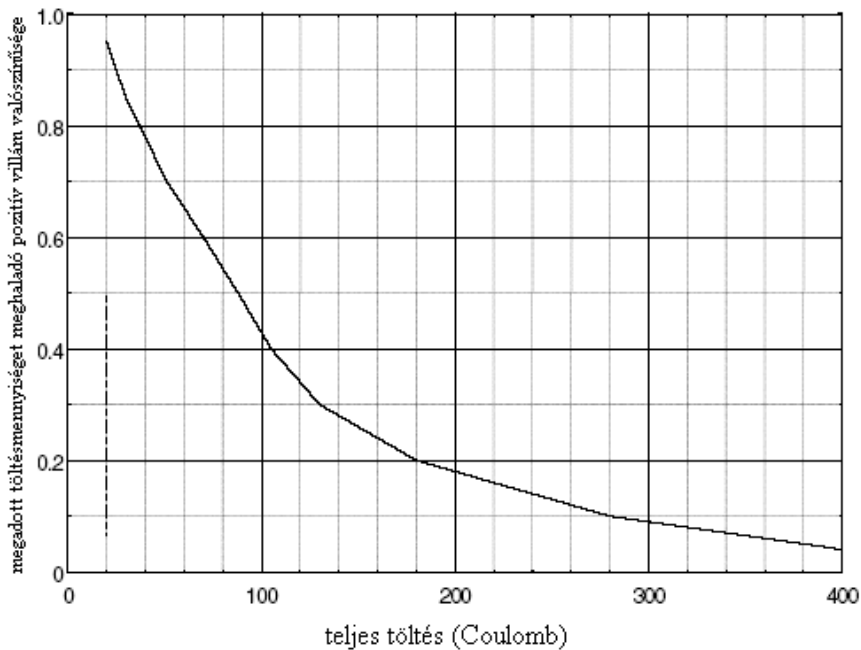
A védővezetők anyaguktól függetlenül villámtól, légköri túlfeszültségtől, anyagkifáradástól is megsérülhetnek, külső rétegük elemi szálai elszakadhatnak, kisodródhatnak [6].

Nagyfeszültségű távvezetékek - egy vagy két - védővezetője, acélalumínium (ACSR – aluminium conductor steel reinforced), vagy üvegszálat tartalmazó (OPGW) acélalumínium, illetve alumínium (ASC – aluminium stranded conductor) vagy nagy terhelhetőségű, ötvözött alumínium (AASC – aluminium alloy stranded conductor) anyagú lehet.

3. OPGW sodronyok károsodásának vizsgálata

A védővezető villámcsapás következtében történő sérüléséről vezetett statisztikák alapján Angliában 0,02 villámcsapás/100 km×év gyakorisággal, Japánban pedig 0,08 villámcsapás/100 km×év gyakorisággal sérül a védővezető. Az eltérés abból adódhat, hogy a különböző szabványok alapján különböző mértékűnek számíthatnak akár az azonos meghibásodások is.

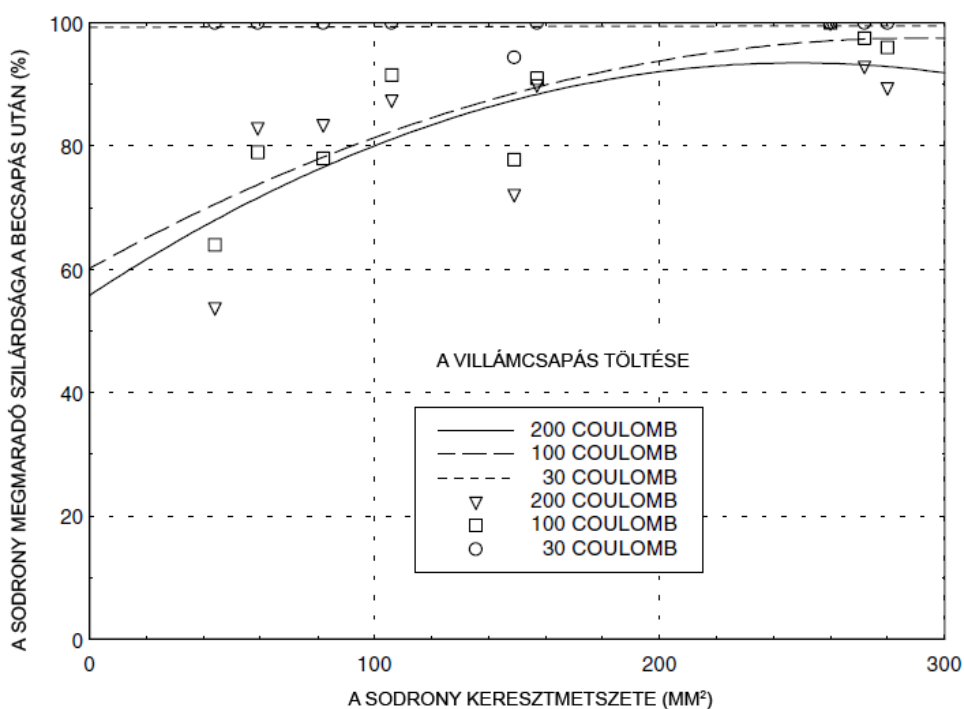
A sérülések mértékét a sérülés okozó villám karakterisztikája is befolyásolja. A semlegesített töltés előjele alapján megkülönböztetünk negatív, illetve pozitív villámot, utóbbi az összes villámcsapás 5-30%-a. A sodronyon villámcsapások következtében kialakuló sérülések pozitív villámok esetén nagyobb mértékűek. Ennek oka, hogy a pozitív villám áramának amplitúdója nagyobb a negatív villáménál – elérheti akár a 200 kA-t is – továbbá a villámáram csúcsát viszonylag hosszú, kb. 1 kA nagyságú, 500 ms idejű lecsengés követi. Ebben az esetben a villámáram által semlegesített töltés akár 400 coulomb is lehet (Japánban mértek már 1000 coulomb töltést kisütő villámot is). A villámáramok karakterisztikája továbbá függ a földrajzi elhelyezkedéstől is: az USA középnnyugati részén például az ország többi területéhez képest kiemelkedően sok a pozitív villám. A villámcsapás típusa nem független az évszakoktól sem: a pozitív villámok télen gyakoribbak, mint nyáron.



2. ábra. Pozitív villámok töltésmennyiségének valószínűségei

A legjelentősebb villámcsapás általi OPGW károsodást (Nebraska Public Power District) is nagy valószínűséggel pozitív villámcsapás okozta. Ennek során 1997-ben egy 1,4 cm átmérőjű sérülés keletkezett és 12 elemi szál sérült. A villámáram csúcserője 63,8 kA, töltése pedig 100-200 Coulomb volt (a sérült OPGW gyártója az adott sodronyra 50 Coulomb töltést adott meg határértékként). Az USA-ban több, villámcsapás következtében sérült sodronyról is készült jelentés. 1998-ban Georgia-ban egy OPGW a nebraskaihoz hasonló mértékben sérült [7].

A villámcsapások hatásait laboratóriumi vizsgálatok segítségével is elemzik [8]. A szabványos villámáram alakja 1,2 μ s felfutási idejű, és 50 μ s-on belül - nullátmenet nélkül - a csúcserték felére csökken [9]. Negatív villám esetén ugyan még 85 coulomb töltésnél is csak minimális a sodrony sérülése, viszont a sodrony élettartama jelentősen csökkenhet. Ez annak tudható be, hogy a felületi réteg sérülésének hatására levegő és nedvesség hatol be a sodrony belsejébe, ahol ez korróziót indíthat el [10].



3. ábra. A sodrony maradó szilárdságának változása az azt érő töltésmennyiség és a keresztmetszet függvényében

Az 1. táblázat összefoglalja a villámcsapások üzem közben, illetve laboratóriumi körülmények mellett dokumentált különböző paramétereit és az általuk okozott távvezetéki sodrony-sérülés mértékét.

1. táblázat. OPGW sodronyok károsodási szintjének vizsgálata

Referencia	Laboratóriumi (L), vagy üzemi (Ü) körülmények	OPGW kereszt-metszet [mm ²]	Rövid impulzus (<1 ms) hatására létrejövő áramcsúcs [kA]	Hosszú impulzus (>1 ms) során közölt töltés [C]; (időtartam [ms])	Károsodás mértéke
NPPD	Ü	49	64	100-200 (becslés)	szakadás
GA	Ü	nem ismert	nem ismert	nem ismert	szakadás
AEP	L	84	150	nem végeztek	égésnyomok
AEP	L	105	150	nem végeztek	égésnyomok
AEP	L	91	150	nem végeztek	égésnyomok
AEP	L	125	150	nem végeztek	égésnyomok
Sumitomo	L	80	8	320 (40)	olvadt alumínium
Barthrop	L	nem ismert	100	nem végeztek	elszíneződés

1. táblázat. OPGW sodronyok károsodási szintjének vizsgálata (folytatás)

Referencia	Laboratóriumi (L), vagy üzemi (Ü) körülmények	OPGW kereszt-metszet [mm ²]	Rövid impulzus (<1 ms) hatására létrejövő áramcsúcs [kA]	Hosszú impulzus (>1 ms) során közölt töltés [C]; (időtartam [ms])	Károsodás mértéke
BICC	L	nem ismert	150	nem végeztek	nincs
Carter	L	nem ismert	175	nem végeztek	ív általi erózió
Németország	L	149	nem végeztek	200 (500)	5 szakadt elemi szál
Alcatel	L	44	220	200 (500)	7 szakadt elemi szál
Alcatel	L	59	220	200 (500)	2 szakadt elemi szál
Alcatel	L	82	220	200 (500)	2 szakadt elemi szál
Alcatel	L	106	220	200 (500)	8 szakadt elemi szál

1. táblázat. OPGW sodronyok károsodási szintjének vizsgálata (folytatás)

Referencia	Laboratóriumi (L), vagy üzemi (Ü) körülmények	OPGW keresztmetszet [mm ²]	Rövid impulzus (<1 ms) hatására létrejövő áramcsúcs [kA]	Hosszú impulzus (>1 ms) során közölt töltés [C]; (időtartam [ms])	Károsodás mértéke
Alcatel	L	157	220	200 (500)	6 szakadt elemi szál
Alcatel	L	280	220	200 (500)	9 szakadt elemi szál
Alcatel	L	272	220	200 (500)	5 szakadt elemi szál
Japán	L	260	nem végeztek	500 (50)	5 szakadt elemi szál

A sérülések minimalizálásának érdekében fejlesztenek speciális, ún. villámmal szemben ellenálló OPGW-eket [11]. Ezeknek a megnövelt keresztmetszetű sodronyoknak az elemi szálai speciális cink-ötvözetből készülnek és különleges formájúak. Ez a speciális védővezető-fajta jelenleg Japánban üzemel egy 500 kV-os távvezetéken, de sorozatgyártásba még nem került. Alkalmazásával még 200 Coulomb töltés esetén is jelentősen csökkent a sérülések száma és mértéke.



1. ábra. Szálkisodródott védővezető 0

Laboratóriumi vizsgálatok alapján megállapították, hogy az OPGW villámcsapással szembeni ellenálló képessége a sodrony átmérőjétől és felépítésétől függ, a villámáram csúcsértéke jelentősen nem befolyásolja a sérülés mértékét. A statisztikák alapján a távvezetékeket érő villámcsapások kb. 40%-a éri a védővezetőt, kb. 60%-a pedig az oszlopot. Megállapítható továbbá, hogy 20%-nyi mechanikai szilárdság-csökkenés már komolyan befolyásolhatja az OPGW névleges jellemzőit.

OPGW sodronyok esetében a sodronyra ható erők következtében létrejövő nyúlás hasonló az áramvezetőknél tapasztalható nyúlás-értékekhez. Megállapítható, hogy a villámcsapás következtében létrejövő jelentős hőhatás, és a gyakran ezzel járó - az alumínium elemi szálakat érő - sérülés nem befolyásolja jelentősen az optikai jelátvitelt 0.

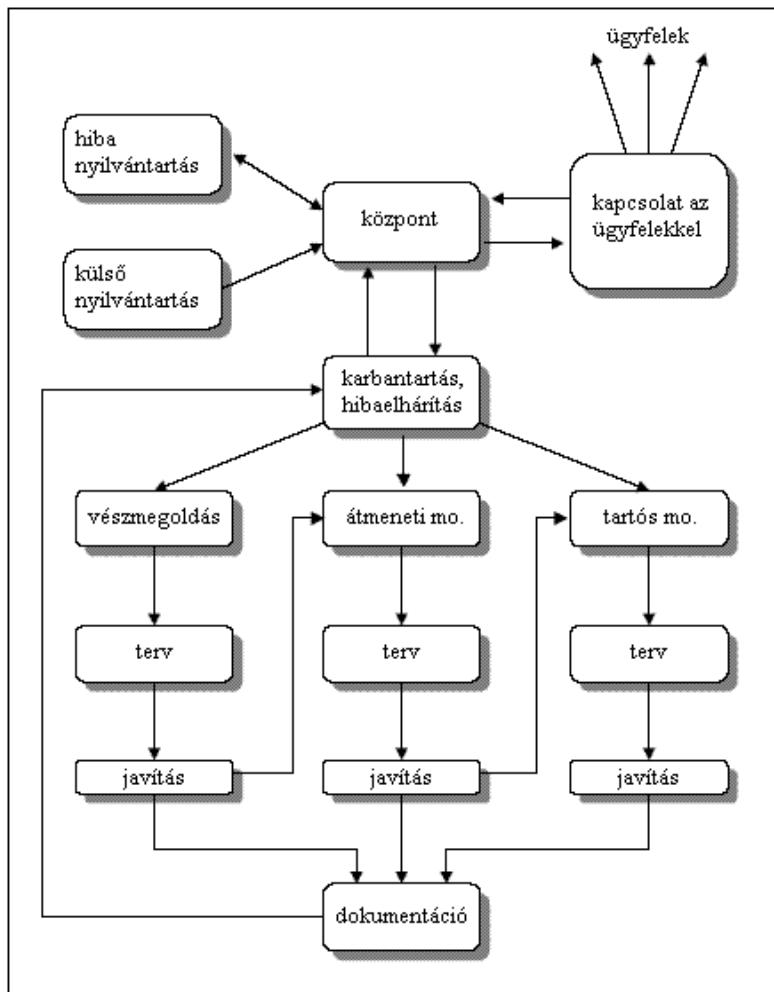
2. táblázat. Sodronyok relatív nyúlása a szakítószilárdság 15, illetve. 25%-ának megfelelő húzó igénybevételnél

	Nyúlás értékek (22,57 mm átmérőjű vezető)					
	Szakítószilárdság 15%-a			Szakítószilárdság 25%-a		
	10 év (%)	20 év (%)	30 év (%)	10 év (%)	20 év (%)	30 év (%)
ACSR	0,050	0,056	0,060	0,097	0,109	0,116
AAAC	0,075	0,084	0,090	0,146	0,164	0,174
AAC	0,101	0,114	0,121	0,198	0,221	0,236
ACAR	0,081	0,091	0,097	0,158	0,177	0,189
AW	0,010	0,011	0,012	0,019	0,022	0,023
EHS	0,008	0,008	0,009	0,015	0,016	0,017
HS	0,009	0,010	0,011	0,017	0,020	0,021

Az OPGW-k esetében a villámcsapások által okozott károsodások nemzetközi tanulmányok szerint is kiemelt figyelmet érdemelnek [8]. Ezek alapján megállapítható, hogy az OPGW sodronyok megfelelő kezelése az üzemeltető szempontjából az alábbi feltételek teljesülését követeli meg [14]:

- megelőző állapotvizsgálatok, felmérések (rendszeresen, a távvezeték állapotvizsgálatával egybekötve),
- sérülések kategorizálása a hiba súlya alapján,
- különböző mértékű és jellegű sérülésekhez különböző javítási technológiák kidolgozása.

Az OPGW sodronyok adatbázisának kezelése, felülvizsgálata, karbantartása az 2. ábraán szemléltetett diagram segítségével modellezhető [15]:



2. ábra. OPGW sodronyok vizsgálatának és hibaelhárításának sémája

4. A védővezető-sodrony felépítése

Magyarországon a nagyfeszültségű távvezetékek jelentős részén a fázisvezető ACSR, a védővezető pedig ACSR, ill. OPGW felépítésű.

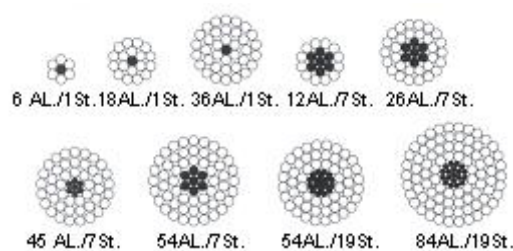
Az ACSR sodrony fő jellemzője, hogy az áramvezetést biztosító alumínium szálak a sodrony külső részén helyezkednek el, a sodrony mechanikai stabilitását biztosító acél szálak pedig annak közepén futnak. Mivel a skin-hatás miatt a sodrony közepének közvetlen környezetében nincs áramvezetés, az alumínium helyett alkalmazott acél szálak nem befolyásolják jelentősen a vezetőkön belüli árameloszlást.

Ez azért is fontos, mert az alumínium szálak fajlagos ellenállása, így vesztesége egy nagyságrenddel kisebb az acélszálakénál (alumínium: $2,8 \cdot 10^{-8}$ - $4 \cdot 10^{-8}$ Ωm , acél: 10^{-7} - $2,5 \cdot 10^{-7}$ Ωm).



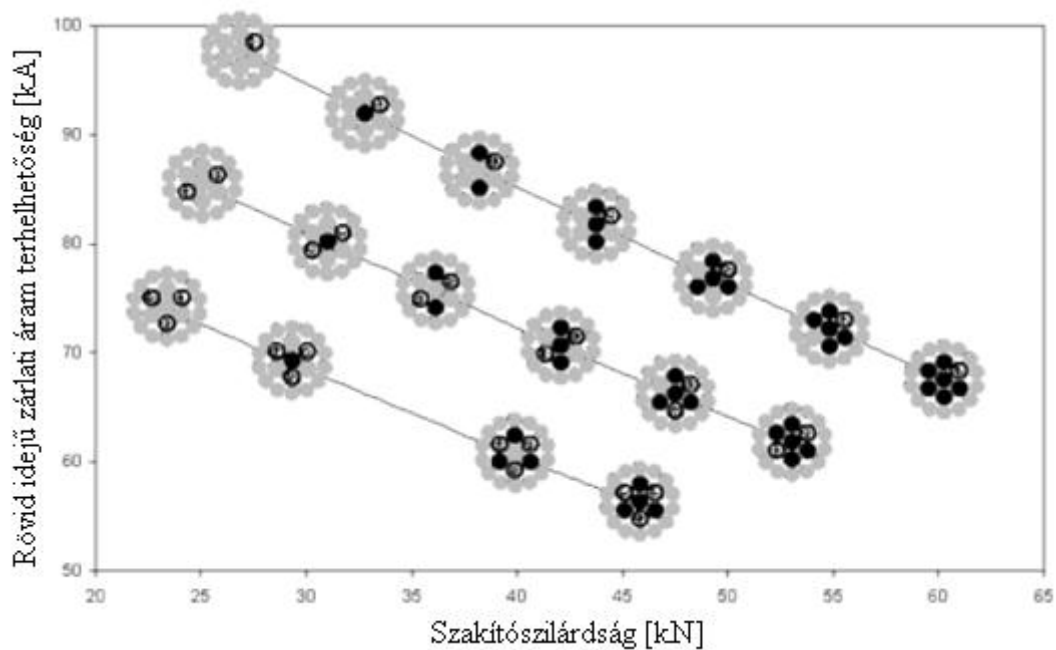
3. ábra. ACSR sodrony felépítése

Az ACSR sodronyok egyik fő jellemzője a bennük található alumínium, illetve acél elemi szálak száma. Az általános jelölés szerint pl. a *12 Al/7 St* jelű ACSR sodronyban 12 szál alumínium és 7 szál acélvezető található. Az ACSR sodronyok emellett jellemezhetők egyéb paraméterekkel is. Magyarországon általános az *ACSR 500/65* sodronyú fázis-, ill. az *ACSR 95/55* sodronyú védővezető alkalmazása, de védővezetőként használnak *50/30* jelű ACSR sodronyt is 0.



4. ábra. Különböző méretű ACSR sodronyok felépítése

Az ACSR sodrony optimális távvezetékek létesítésére, mivel segítségével kis veszteségű és nagy mechanikai szilárdságú összeköttetés építhető nagy távolságokra, gazdaságosan



5. ábra. ACSR sodronyok húzószilárdság-rövid idejű áramterhelhetőség görbéi

Hazánkban is alkalmazott OPGW védővezető sodronytípusra példa a nemrégiben átadott Békéscsaba-Országhatár (RO) 400 kV-os távvezetéken húzódó Alcatel típusú, 24 szálal 59/25 OPGW 0, illetve a Győr-Szombathely 400 kV-os összeköttetés esetében alkalmazott IPROEB típusú, 48 optikai szálal tartalmazó megoldás. Ez utóbbi távvezeték jellemzője a 90-48S optikai szálal tartalmazó védővezető $1 \times 50/30 \text{ mm}^2$ geometriai paraméterekkel 0.

A védővezető szálkiszodródásának javítása történhet a távvezeték feszültségmentes állapotában. Az országos átviteli és elosztóhálózat nagyfeszültségű ($U_{\text{névl}} \geq 120 \text{ kV}$) távvezetékek kikapcsolása azonban nem mindig lehetséges, a hálózatkép nagymértékű megváltoztatását követeli, és egy fontos összeköttetés kiesése nagyban gyengíti az egész villamosenergia-rendszert és általában növeli a hálózati veszteséget is.

Figyelembe véve, hogy a nagyfeszültségű távvezetékekkel kapcsolatos karbantartási munkák jelentős részét a védővezető-szálkiszodródás javítása alkotja, megállapítható, hogy nagy igény mutatkozik a szálkiszodródás feszültség alatti – FAM technológiával történő – javítására.

5. A hazai távvezetési sodronyok sérülései

Az átviteli hálózatra vonatkozó különböző adatbázisokban rendelkezésre állnak eredmények a távvezetési sodronyok vizsgálatairól. A védővezetők sérüléseit tekintve összesíteni lehet az egyes védővezető-gyártók esetén az egy kilométeres vezetékszakra jutó hibák számát, ezzel a különböző sodronygyártók egységes minőségi mutatóval jellemezhetők.

Szintén az átviteli hálózat adatai alapján készíthető statisztika a védővezetők károsodásának mértékével kapcsolatban is: a 9. ábra grafikonja az egyes sérülések következtében kialakuló elemi szál-károsodások mértékét szemlélteti.



9. ábra. Elemi szálak sérüléseinek szemléltetése

Fentiekén kívül védővezető sérülésekor – a távvezetési oszlopközök geometriáját is figyelembe véve – fontos paraméter a hiba elhelyezkedése az oszlopköz mentén.

6. Nemzetközi tapasztalatok OPGW sodronyokkal

A nagyfeszültségű távvezetékek védővezetőit érő károsodások gyakorlati vizsgálatával egy nemrégiben elkészült kínai tanulmány foglalkozik. Kínában több ezer kilométernyi OPGW típusú védővezetővel ellátott nagyfeszültségű távvezeték található. Az utóbbi években készített felmérések tanúsítják, hogy ezeknek a védővezetőknek a külső szálai a villámcsapások következtében nagy számban olvadnak meg, rongálódnak. Ez mind a villamosenergia-rendszer, mind pedig az OPGW segítségével megvalósuló kommunikációs rendszer biztonságát veszélyezteti, így a probléma megoldása egyre fontosabbá válik.

A spanyolországi Red Eléctrica De España (REE) áramszolgáltató 1997 óta készít felméréseket a hálózatán alkalmazott több mint 8000 kilométernyi optikai szálak védővezetővel kapcsolatban. Az e védővezető-típussal kapcsolatos kedvező tapasztalataik alapján új létesítésű távvezetékek esetében minden esetben OPGW sodronyokat alkalmaznak. A 8000 kilométeres optikai hálózat jelentős részét – 5898 km-t – OPGW alkotja. A szükséges vizsgálatokat és karbantartásokat egy speciális egység, az ún. Management Centre ütemezi. Egyik fontos feladatuk a megelőző karbantartás az előre meghatározott éves karbantartási terv alapján. Az állapotfelmérés két részből áll: a sodrony fizikai vizsgálatából és az átviteli jellemzők vizsgálatából. A fizikai állapot felmérésének több fajtája létezik:

- időszakos felülvizsgálat a távvezeték alatt („on foot”),
- időszakos felülvizsgálat helikopterrel,
- rendkívüli vizsgálat (elrendelhető pl. feltételezhető sérülés esetében).

A vizsgálatok annak alapján is kategorizálhatók, hogy szükséges-e a távvezeték, illetve az optikai összeköttetés kikapcsolása, vagy megszakítása azok elvégzéséhez. Amennyiben szükséges, akkor a munkálatoknak pontos menetrend alapján, a fogyasztóknak is előre bejelentett módon kell folyniuk. A javítások során megkülönböztethetünk átmeneti, illetve végleges megoldásokat. Minden javítási műveletnél kiemelt fontosságú azonban a megfelelő biztonság (ellenőrző mérések, biztonsági távolságok betartása, földelések elhelyezése, stb.).

A REE optikai hálózatáról a statisztikák alapján az alábbi kijelentések tehetők:

- a hibák - azok fajtájától függően - 1-5 nap alatt javításra kerültek;
- megfelelő képzéssel a karbantartó személyzet decentralizáltan, az ország egész területén szakszerű javítási munkálatokat tud végezni;
- a javításhoz szükséges anyagokból kellő mennyiséget szükséges raktárakban tartani, így a javítási idő minimalizálható;
- a számítógépes adatbázis fejlesztésével a statisztikák és felmérések nagyban megkönnyítik az egyes sodronytípusok jellemző hibáinak megállapítását, azok javítási módszereinek továbbfejlesztését;
- megelőző vizsgálatok szükségesek a hibák korai felderítésére;
- igény mutatkozik egy speciális laboratórium létrehozására az optikai összeköttetéseket érő sérülések vizsgálatára.

7. Villámcsapás okozta károk

A Kínában található Dou-Bay 500 kV-os távvezeték 275 km hosszú. Üzembe helyezése utáni első négy hónapban hat villámcsapás érte, melyek a sodrony külső – alumínium – szálainak jelentős károsodását okozták [20]. Legtöbb esetben három-hat vezető szál sérült egy villámcsapás alkalmával, de előfordult olyan eset is, amikor egyszerre tíz szál rongálódott meg a sodronyban 0. Egy másik, 1998 óta üzemelő 500 kV-os távvezeték esetében a tanulmány statisztikai adatok alapján megállapította, hogy az összeköttetést 1999-től 2004-ig minden évben érte villámcsapás, 2002-ben pedig a sodronyban egy villámcsapás következtében tíz elemi szál sérült meg. Az vizsgálatok rámutattak, hogy az alumínium szálak az olvadóbiztosítóhoz hasonlóan képesek megolvadni. Hasonló jelenséget figyeltek meg egy másik (Guangdong) 500 kV-os távvezeték esetében is, melyet három egymást követő évben ért villámcsapás. Itt a villámcsapások olyan területeken húzódó távvezetékek védővezetőit is nagy számban károsították, ahol viszonylag kicsi a villámcsapások gyakorisága [21].

A jelenségek nagy száma bizonyítja, hogy a védővezetőt érő villámcsapásokkal kapcsolatos kutatásoknak nagy jelentőségük van mind az áramszolgáltatók, mind pedig a sodrongyártók szempontjából.

7.1. A károsodások okainak vizsgálata

Az általánosan elfogadott álláspont alapján a villámáram által okozott termikus hatások megolvasztják a külső elemi szálakat, károsítva ezzel a belsőbb szálakat is. A villámcsapás a villámáram alakja alapján két részre osztható: egy nagy amplitúdójú, de rövid időtartamú impulzus jellegű részre és egy kisebb amplitúdójú – néhány száz amperes –, de hosszabb ideig – néhány ms-ig – terjedő tartományra. A védővezetők villámcsapás által történő megolvasztásáért ez utóbbi felelős.

A villámáram által okozott hőhatás következtében az alumínium és acél szálakat megolvasztó hőenergia mennyiségét az alábbi összefüggés alapján lehet meghatározni:

$$E = [c_{Al} (T_{Al} - T) + \delta_{Al}] \cdot \sigma_{Al} + [c_{Fe}(T_{Fe} - T) + \delta_{Fe}] \cdot \sigma_{Fe}$$

(1. egyenlet)

ahol:

E a folyamatot jellemző hőenergia

$c_{Al/Fe}$ az alumínium/acél fajhője

$T_{Al/Fe}$ a környezet hőmérséklete

$T_{Al/Fe}$ az alumínium/acél olvadáspontja

$\delta_{Al/Fe}$ az alumínium/acél olvadási hője

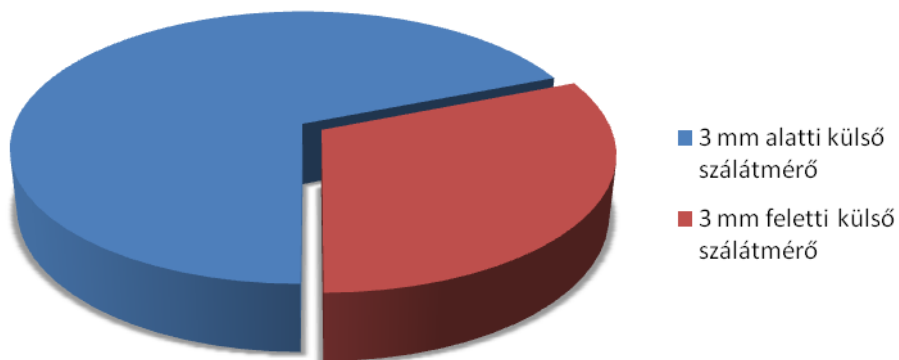
$\sigma_{Al/Fe}$ az alumínium/acél súlya az OPGW sodronyban

Fenti összefüggés alapján meghatározható, hogy mekkora hőenergia szükséges az adott OPGW sodrony elemi szálainak megolvasztásához. Kísérletek alapján megállapították, hogy egy 2,55 mm-es külső szálátmérőjű OPGW sodrony esetén 50 Coulomb töltéssel rendelkező villám már elegendő a sodrony külső szálainak komoly sérüléséhez, több elemi szál szakadásához.

A rendelkezésre álló adatok alapján kijelenthető, hogy a villámcsapás által gyakran sújtott területeken az OPGW védővezető külső szálait ajánlatos legalább 3 mm szálátmérővel készíteni. A magasabb olvadáspontú ötvözetek felhasználásával készült sodronyok alkalmazása lehetővé teszi, hogy az OPGW vezető hatásosabban, kisebb károsodással álljon ellen a villámcsapások okozta sérüléseknek.

Hazánkban a védővezetők felépítése rendkívül változatos képet mutat. Általánosságban megállapítható, hogy a ma Magyarországon alkalmazott OPGW védővezető-sodronyok külső rétegének elemi szálai átlagosan 2,69 mm átmérőjűek. A hazánkban alkalmazott OPGW-knek a sodronyok külső elemi szálainak átmérője alapján történő csoportosítását a 60. ábra szemlélteti.

Magyarországi OPGW-k külső elemi szálainak átmérője





60. ábra. A magyarországi OPGW-k csoportosítása azok külső elemi szálainak átmérője szerint

A hagyományos és OPGW védővezetők összehasonlítása alapján következtetni lehet annak okaira, hogy az OPGW sodrony a hagyományosnál gyakrabban sérül a villámcsapások következtében.

A hagyományos védővezető hosszegységre eső ellenállása általában nagyobb, mint az OPGW vezetőé. A távvezetéseket védő OPGW sodrony minden oszlopon földelve van, de más módszerrel, mint a hagyományos védővezető. Az OPGW sodrony eredő földelési ellenállása emiatt kisebb a hagyományos védővezető sodronyéénál. Ennek a villámáramok levezetésekor is kedvező hatása van [22].

A védővezető károsodása és a szálkisodródás mértéke a villám által levezetett töltés nagyságától függ, mivel ez határozza meg a villámáramot és az annak következtében jelentkező hőhatást. A 11. ábra az 50, illetve 189 C töltést kisütő villám esetén a védővezető felületén jelentkező károsodás mértékét szemlélteti.

Töltés nagysága	Védővezető sérülésének mértéke
50 C	 <p>4 sérült elemi szál</p>
189 C	 <p>2 szakadt elemi szál</p>

11. ábra. A védővezető sérülésének mértéke különböző töltésű villámok esetén 0

8. Sérült védővezető sodronyok megközelítésének lehetséges technológiái

A nagyfeszültségű távvezetékeken húzódó védővezető sodronyát – az azt érő nagyszámú villámcsapás következtében – viszonylag gyakran kell javítani. Míg középvezetési szinten hazánkban is elterjedt módszer a (fázisvezető) szálkiszodródás FAM technológiával történő javítása, nagyfeszültségű hálózatok esetén jelenleg nem történik FAM tevékenység.

Védővezető szálkiszodródásának javítása FAM technológiával alapvetően négyféle módszerrel történhet:

- a munkát a védővezetőhöz legközelebbi fázisvezetőről, szigetelő rudakkal végezve
- a védővezetőn szerelő kocsiszékekkel haladva
- erősen meggyengült védővezető esetén a védővezetővel párhuzamosan kifeszített segédsodronyról
- kosaras gépjármű segítségével

A különböző technológiák előnyeit és hátrányait a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat. A védővezető javítási technológiáinak áttekintése

Technológia típusa	Előnyök	Hátrányok
fázisvezetőről végzett munka	+ fázisvezetőn végzett NaF FAM ismert típus technológiái + kötegelt fázisvezető, stabil szerelési pozíció + az OPGW sodrony nem törik meg a megengedettnél erősebben	- nehézkes munkavégzés a hosszú szigetelőrudak miatt - nagy villamos, illetve mágneses térerősség

3. táblázat. A védővezető javítási technológiáinak áttekintése (folytatás)

Technológia típusa	Előnyök	Hátrányok
szerelő kocsiszék	<ul style="list-style-type: none"> + kényelmes munkavégzési lehetőség + gyors munkavégzés + könnyen ellenőrizhető a javítókötés minősége 	<ul style="list-style-type: none"> - az OPGW sodrony a megengedettnél erősebben törhet meg - erősen rongálódott, vagy nem pontosan felmért állapotú védővezető szakadása
segédsodrony	<ul style="list-style-type: none"> + kényelmes munkavégzési lehetőség + segédsodrony kifizítése után gyors munkavégzés + könnyen ellenőrizhető a javítókötés minősége + OPGW sodrony nem törik meg a megengedettnél erősebben 	<ul style="list-style-type: none"> - segédsodrony kifizítése szükséges (időigényes) - oszloptípus függő, hogy a feszültség alatti munkavégzés módszereivel a segédsodrony kifizíthető-e - nagymértékű szálkisodródás esetén a segédsodrony görgői nem tudnak átjutni a kisodródáson

3. táblázat. A védővezető javítási technológiáinak áttekintése (folytatás)

Technológia típusa	Előnyök	Hátrányok
kosaras gépkocsiról végzett munka	<ul style="list-style-type: none"> + kényelmes munkavégzési lehetőség + gyors munkavégzés + stabil munkavégzési pozíció + könnyen ellenőrizhető a javítókötés minősége + az OPGW sodrony nem törik meg a megengedettnél jobban 	<ul style="list-style-type: none"> - a javítás kivitelezhetősége nagyban függ a terepviszonyoktól - a módszer alkalmazhatóságát korlátozza a határoló oszlopképek geometriája

A védővezetőről feszültség alatt történő javítás esetén fontos szempont az adott védővezető-típus megengedett legkisebb hajlítási sugara. Ez a paraméter a jelenleg Magyarországon üzemelő távvezetékek védővezetőin 158 és 330 mm között változik. A sodronyra függeszthető szerelő kocsiszék alkalmazásakor tekintettel kell lenni arra, hogy a kocsiszék – mint koncentrált terhelés – által kifejtett erő következtében létrejövő meghajlás sugara nagyobb legyen, mint az adott sodronyra megengedett minimális hajlítási sugár. Ez legegyszerűbben a szerelő kocsiszék súlyának felfüggesztő görgők közötti elosztásával valósítható meg, több – sorban elhelyezett – felfüggesztő görgő segítségével.

8.1. Magyarországi gyakorlat

Hazánkban jelenleg kis- és középfeszültségen is jelentős FAM tevékenység folyik. A nagyfeszültségű hálózaton történő feszültség alatti munkavégzés ismételt bevezetése – több évtizedes szüneteltetés után – jelenleg előkészítés alatt áll.

Az előkészítési munkálatok magukba foglalják a NaF FAM szükséges eszközeinek és korszerű technológiáinak áttekintését, összefoglalását és a nagyfeszültségű távvezetéseken történő munkavégzéshez elengedhetetlen szakszerű és alapos oktatás feltételeinek megalapozását. Szükség van továbbá megfelelő NaF FAM próbapályák létesítésére is, ilyen létesítmény jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nagyfeszültségű Laboratóriumában készül.

9. Javítási módszerek

A sérült védővezető javítása alapvetően két módszer segítségével történhet:

- védővezető megerősítése elemi szálakkal történő körültekeréssel
- védővezető megerősítése osztottsíkú javítóhüvely markolóprésses felsajtolásával

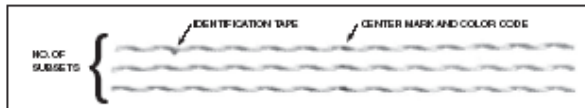
9.1. Sérült védővezető javítása elemi szálakkal történő körültekeréssel

Az elemi szálakkal történő körültekerés technológiájához számos gyártótól állnak rendelkezésre a munkavégzéshez szükséges eszközök. A 12. ábraán az amerikai PREFORMED cég katalógusa látható, az OPGW sodronyok javításához szükséges elemi szálak adataival.

Az elemi szálakkal történő javítás gyorsabb a markolóprésses javítóhüvely-felsajtolásnál és nem szükséges hozzá speciális felszerelés, amely további súllyal terhelné a sodronyokat. A módszer hátránya azonban, hogy szigetelőrudas technológiával nem lehetséges kivitelezni, illetve a markolóprésses sajtoláshoz képest a spirális elemi szálak villamos szempontból nagyobb ellenálláson át kapcsolódnak az ép vezetőhöz.

Optical Ground Wire Repair Rods

NOMENCLATURE



Substrate:
Individual aluminum clad steel rods assembled into groups. The bore is coated with conductive grit.

Center Mark:
Establishes recommended alignment of rods during application.

Color code:
Provides identification for application of OPGW size that corresponds to tabular information appearing on catalog page.

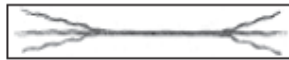
Identification Tapes:
Shows catalog number, nominal sizes.

GENERAL RECOMMENDATIONS

FIBERLIGN Repair Rods are designed as a single-component, outer layer assembly for use on OPGW and are intended for repair of the outer mechanical strand members on an OPGW cable. This is not an optical repair product.

These OPGW Repair Rods are not designed or tested as splices for use on all-metal overhead shield wire and are not intended for that application.

Restorative Repair:
These Repair Rods will provide varying levels of mechanical and electrical repair depending upon the specific construction, stranding and material of the OPGW.



The extent of mechanical damage that the product can repair for single layer OPGW is up to 50% of the cable rated strength. The 50% rating is established by PLP based on repair rod performance. Contact the OPGW cable manufacturer to verify the extent of damage that the specific cable design can survive without jeopardizing the performance of the fiber optic elements. If the cable manufacturer limits the repair level to less than 50%, limit the use of the repair rod to the lower level for that specific cable. Consult PLP for further details.

Lay direction of the Repair Rods should be the same as the outer strands of the OPGW. Left-hand lay is standard, consult PLP for right-hand lay designs.

Catalog Number	Repair Rods					Color Code
	Discrete Range (mm)	Discrete Range (mm)	Length (mm)	Length (mm)		
3900100	354-385	9-10	45	1140		Red
3900101	396-422	10-11	48	1216		Black
3900102	423-460	11-12	50	1270		Orange
3900103	461-505	12-13	54	1372		Green
3900104	506-550	13-14	61	1546		Blue
3900105	551-602	14-15	65	1651		Yellow
3900106	603-660	15-17	70	1779		Brown
3900107	661-716	17-19	74	1880		Purple
3900108	720-785	19-20	80	2032		Pink
3900109	796-850	20-22	86	2184		Red
3900110	851-922	22-24	94	2386		Black
3900111	924-1020	24-25	102	2591		Orange

Left-hand lay standard

12. ábra. OPGW elemi szálakkal történő javítása (katalógus, PREFORMED [US])

9.2. Sérült védővezető javítása osztottsíkú javítóhüvellyel

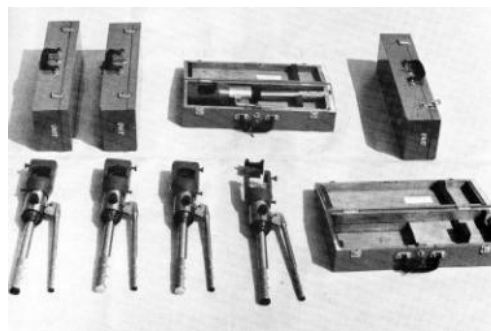
A markolóprésses felsajtolású, osztottsíkú javítóhüvelyes javítás technológiája az elemi szálak javításnál időigényesebb, azonban biztosabb villamos és mechanikai kötést biztosít [24].



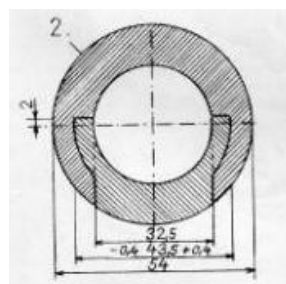
13. ábra. Osztottsíkú javítóhüvellyel megerősített szálkisodródott sodrony

A száltöréses, kisodródott, kopott, kidörzsölt, roncsolt, beégett, de ép alsó alumínium rétegű és acélmagú alumínium-acél sodrony markolópréses javítására alkalmas osztottsíkú, összetolható alumínium javítóhüvelynek két változata van:

- egy szerszámmal húzható, azonos keresztmetszetű,
- két szerszámmal húzható, eltérő keresztmetszetű, egymásba tolható és a sodronyon záródó alumínium javítóhüvelyek [25], [26]



14.a ábra. Szálkisodródás javítására használható markolóprések



14.b ábra. Alumínium javítóhüvely keresztmetszeti képe

A markolóprések alkalmasak a magasban, szerelő kocsiszékből, illetve az áramvezető sodronyról végzett munkavégzésre is. A sérülési helyek a sodrony leeresztése, elvágása és toldása nélkül javíthatók.

9.3. Módszerek és technológiák összegzése

Fenti összefoglaló alapján megállapítható, hogy – bár napjainkban az áramvezető sodronyok javítása során leggyakrabban az előre formált szálakkal történő megerősítés módszerét alkalmazzák – a kedvezőbb mechanikai és villamos tulajdonságok miatt a markolóprézés technológia használata is megfontolandó a szükséges szerszámok miatti többletsúly és a technológia nagyobb időigénye ellenére is.

A védővezető szálkiszodródásának fázisvezetőről történő javítása az elemi szállal történő körültekerés módszerével rendkívül nehézkes.

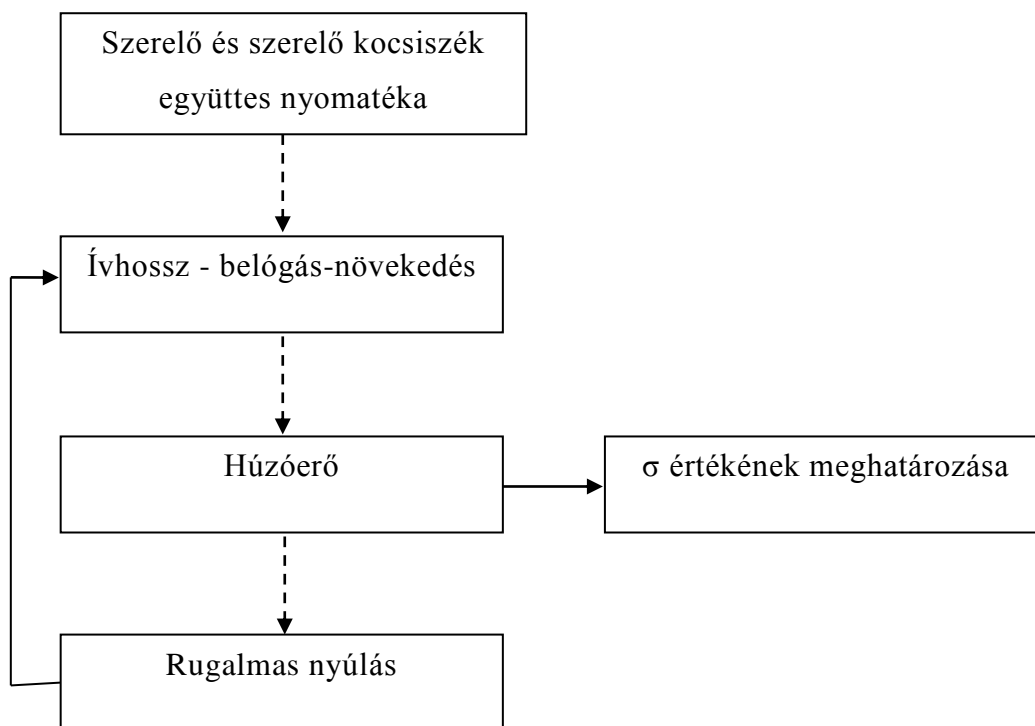
A védővezető közvetlen, illetve segédsodrony segítségével történő javítása a fenti módszernél sokkal könnyebb munkavégzést és ellenőrzést tesz lehetővé. Mindkét védővezető-közeli módszer során a javítás történhet elemi szállal történő körültekerés módszerével és javítóhüvellyel egyaránt.

Bár 0 alapján „nem szabad korrodált, száltöréses, beégéses sérült vagy toldott egyes áramvezetőn vagy védővezetőn a szakadás veszélye miatt munkát végezni”, az ACSR, illetve OPGW sodronyok esetében azonban megfelelő állapotfelmérés után, a mechanikai szilárdságot biztosító acélmag épsége esetén körültekintően végezhető védővezető-javítás.

10. A védővezető koncentrált terhelésének vizsgálata

Két rögzített, tetszőleges pont között kifeszített, homogén anyagú, egész hosszában egyenlő keresztmetszetű, teljesen hajlékony, terhelés alatt megnyúló (rugalmas) vezető végig egyenletesen eloszló, függőlegesen ható terhelés hatására felvett alakját rugalmas láncgörbének nevezzük 0. A számítások alapját e láncgörbék képezik.

A sodrony igénybevételének számítási módszerét a 15. ábra szemlélteti. A szerelő kocsiszek maximális kiengedésének mértékét az így meghatározott igénybevételek alapján lehet meghatározni.



157. ábra. A sodrony maximális húzófeszültségének meghatározása a szerelési terhelés hatására

A számítás során a szuperpozíció elvét alkalmaztam. Először a vezeték önsúlya hatására bekövetkező állapotot vizsgáltam a vezetékmechanika összefüggései alapján, majd a súlytalannak tekintett sodronyra helyezett, koncentrált tömegként kezelhető szerelő kocsiszék hatását vettem figyelembe.

Ezek alapján először egy közelítő összefüggéssel a sodrony belógását, majd ennek alapján a közelítő húzóerőt és a rugalmas nyúlást határoztam meg.

Második lépésben a rugalmas nyúlás mértékével megnövelt vezeték-hosszra végeztem el a belógás növekedésének újraszámítását, melyből meghatározható a pontos húzóerő mértéke. Ebből az értékből számítható a vezetéket jellemző „ σ ” sodrony igénybevétel, melynek alapján a szerelő kocsiszék oszloptól mért maximális kiengedhetőségének mértéke meghatározható.

10.1. A számítás menete

A védővezetőre vonatkozó számítások $\sigma=110 \text{ N/mm}^2$ értékre vonatkoznak.

Az oszloptól „ s ” távolsáig kiengedett szerelő kocsiszék és az abban tartózkodó szerelő által az oszlopköz tetszőleges pontjában létrejövő nyomaték mértéke a forgatónyomaték definíciója – $M=Qs$ – alapján, arányossági tényezővel kifejezve [29]:

$$M = \frac{Q(a-s)s}{a}$$

(2. egyenlet)

ahol „ a ” a vizsgált oszlopköz,

„ s ” a szerelő kocsiszék oszloptól mért távolsága,

„ Q ” a szerelő kocsiszék és a szerelő együttes súlya.

A sodrony terhelés nélküli belógása a sodronyt feszítő erő által létrehozott húzófeszültség alapján:

$$b_0 = \frac{a^2 \gamma}{8\sigma}$$

(3. egyenlet)

ahol „ b_0 ” sodrony szerelő kocsiszék nélküli belógása [m],

„ γ ” 1 m hosszú vezető 1 mm² keresztmetszetére ható súlyerő [N],

„ σ ” a sodronyt feszítő húzófeszültség [N/mm²].

A sodrony belógása miatt keletkező ív hosszának közelítő számítása az alábbi összefüggéssel történik:

$$i = a \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{b_0}{a} \right)^2 \right]$$

(4. egyenlet)

ahol „ i ” a sodrony ívhossza

A meghatározott ívhossz alapján a sodrony közelítő belógásának számítása:

$$i = \sqrt{b_1^2 + s^2} + \sqrt{b_1^2 + (a-s)^2}$$

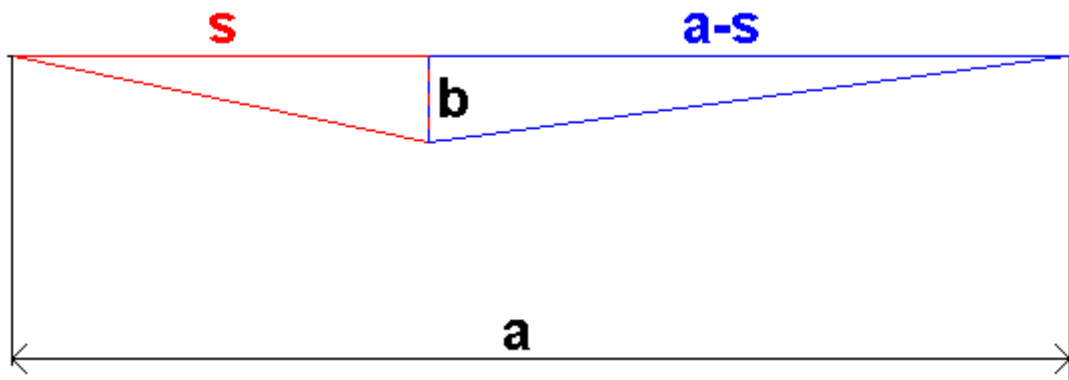
(5. egyenlet)

melyből

$$b_1 = \frac{\sqrt{(a^2 - i^2)(a^2 - 4as - i^2 + 4s^2)}}{2|i|}$$

(6. egyenlet)

ahol „ b_1 ” a sodrony belógásának közelítő értéke.



16. ábra: a sodrony belógásának közelítő számítása

A 16. ábrán szemléltetett „ a ” oszlopközben a szerelő kocsiszék a bal oldali határoló oszloptól „ s ” távolságra helyezkedik el és ebben a pontban „ b ” belógás-növekményt okoz.

A közelítő belógás alapján – a forgatónyomaték definíciója alapján, a húzóerőt kifejezve – meghatározható a sodronyra ható közelítő húzóerő:

$$H_1 = \frac{M}{b_1}$$

(7. egyenlet)

ahol „ H_1 ” a közelítő húzóerő nagysága.

Fentiek alapján meghatározható a sodrony rugalmas nyúlásának mértéke, mellyel a sodrony eredeti hosszát megnövelve a számítás pontos eredményt ad.

$$H = \sigma \cdot A$$

(8. egyenlet)

$$E = \frac{\sigma}{\lambda}$$

(9. egyenlet)

A fenti összefüggésekből σ -t kifejezve és behelyettesítve, λ -ra a következő összefüggés adódik:

$$\lambda = \frac{H_1 i}{EA} \cdot \frac{H_{1(a/2)}}{H_{1(s)}}$$

(10. egyenlet)

ahol „ λ ” a rugalmas nyúlás mértéke,

„ E ” a sodrony rugalmassági modulusa,

„ A ” a sodrony keresztmetszete.

A rugalmas nyúlás alapján megnövelt ívhosszt alkalmazva a pontos belógás a következők alapján számítható:

$$i + \lambda = \sqrt{b_2^2 + s^2} + \sqrt{b_2^2 + (a - s)^2}$$

(11. egyenlet)

melyből

$$b_2 = \frac{\sqrt{(a^2 - i^2 - 2i\lambda - \lambda^2)(a^2 - 4as - i^2 - 2i\lambda - \lambda^2 + 4s^2)}}{2|i + \lambda|}$$

(12. egyenlet)

ahol „ b_2 ” a sodrony belógásának pontos értéke.

Fentiek alapján számítható a pontos húzóerő értéke:

$$H_2 = \frac{M}{b_2}$$

(13. egyenlet)

ahol „ H_2 ” a pontos húzóerő nagysága.

A pontos húzóerő ismeretében meghatározható a koncentrált terhelés hatására létrejövő sodrony-igénybevétel:

$$\sigma_1 = \frac{H_2}{A}$$

(14. egyenlet)

ahol „ σ_1 ” a sodrony terhelés által létrehozott többlet igénybevételének nagysága.

Fentiek alapján számítható a sodronyban ébredő maximális húzófeszültség mértéke:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1$$

(15. egyenlet)

ahol „ σ_0 ” a sodrony szerelő kocsiszék nélküli húzófeszültségének mértéke,

„ σ ” a sodronyban létrejövő maximális húzófeszültség mértéke.

Az így megállapított maximális húzófeszültség értékét össze kell vetni az MSZ 151-1:2000 szabvány 2. táblázata, illetve a 16. egyenlet eredménye közül a kedvezőtlenebbel. Ezen kívül maximális húzófeszültségre vonatkozó határérték szerepelhet még a sodrony adatlapján is, ebben az esetben ezt is össze kell hasonlítani a fenti adatokkal.

σ definíciója alapján:

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\text{szak}}}{AB}$$

(16. egyenlet)

ahol „ σ_{\max} ” a megengedhető maximális sodrony-igénybevétel,

„ P_{szak} ” a sodrony számított szakítóereje,

„ B ” a biztonsági tényező, melynek értéke legalább 4.

Fenti számítások alapján meghatározott, a sodronyt terhelő húzófeszültségnek az előzőekben megállapított maximális megengedhető igénybevételnél kisebbnek kell lennie ahhoz, hogy a sodronyon folyamatosan haladhasson a szerelő kocsiszék.

10.2. OPGW sodrony koncentrált terhelése

A bemutatott számítási módszer OPGW sodronyok esetében is alkalmazható. A szereléshez használt szerelő kocsiszékkel kapcsolatban azonban ebben az esetben néhány különleges feltételnek is teljesülnie kell.

A szerelő kocsiszék alkalmazása során törekedni kell a teher egyenletes átadására. Legalább kétgörgős felfüggesztés szükséges, a görgők futófelületének átmérője pedig legalább a sodrony átmérőjének ötszöröse kell, hogy legyen. Ezen kívül ügyelni kell arra, hogy a sodrony a munkavégzés során ne hajoljon meg jobban, mint az adott OPGW minimális hajlítási sugara. A jelenleg védővezetőkön használatos szerelő kocsiszék kétgörgős felfüggesztésűek.

10.3. Számítási algoritmus megvalósítása MATLAB felhasználásával

A MATLAB segítségével megvalósított algoritmus futtatása előtt a megadott távvezeték paramétereit egy Excel-táblázatban kell megadni (17. ábra). A számításhoz szükséges vektor a táblázat „MATLAB_export” lapján generálódik, a számítások eredménye pedig a „MATLAB_import” lapról automatikusan a megadott oszlopközre vonatkozó adatok alá kerül. A „MATLAB_text” lap a script futásához szükséges szöveges adatokat tartalmazza.

Az adatbázis feltöltésekor csak a „Sodrony adatok” lap felső táblázatát szükséges kitölteni, a többi mező automatikusan számított. Egy példának választott sodrony Excel-formátumú adatlapját a 17. ábra szemlélteti.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Hely	0000					
2		Leírás	Távvezeték, A-B, 220 kV					
3		Státusz	Üzemelő					
4		Virtuális terület	A-B					
5		Védővezető típusa	60/20 Ay/St 2x24 SM					
6								
7		MATLAB lépték (oszlopköz)			MATL_ok	1		[m]
8		MATLAB lépték (számítás)			MATL	1		[m]
9		Szerelő és kocsi együttes súlya			Q	1500		[N]
10		Átlagos oszlopköz			a	290		[m]
11		Számolási tartomány			+/-	230		[m]
12		Sodrony átmérője			d	12,5		[mm]
13		Teherviselő keresztmetszet			At	80,8		[mm ²]
14		1 m hosszú vezető 1 mm ²						
15		keresztmetszetére ható súlyerő /10			γ	4,63E-03		[N/mm ² m]
16		Rugalmassági modulus			E	87,8		[kN/mm ²]
17		Számított szakítóerő			Pszak	4,40E+04		[N]
18		Biztonsági tényező			b	4		[-]
19		Megengedett húzófeszültség (MSZ151-1)			σMSZ	215		[N/mm ²]
20		Megengedett húzófeszültség (sodrony)			σS			[N/mm ²]
21		Sodronyfesztítő húzófeszültség			σ0	110		[N/mm ²]
22					Adatok	290 m oszlopközre		
23		Belógás			b0	4,420028409		[m]
24		Szerelő és kocsi által létrehozott nyomaték			M	108750		[Nm]
25		Ívhossz			i	290,1796474		[m]
26		Közelítő belógás			b1	5,104599541		[m]
27		Közelítő húzóerő			H0	21304,31567		[N]
28		Rugalmas nyúlás			λ	0,871422282		[m]
29		Sodrony keresztmetszete			As	122,718463		[mm ²]
30		Számítási keresztmetszet			A	80,8		[mm ²]
31		Pontos belógás			b2	12,35642691		[m]
32		Pontos húzóerő			H	8801,087954		[N]
33		Többlet húzófeszültség			σH	108,9243559		[N/mm ²]
34		Megengedett húzófeszültség (számított)			σC	136,1386139		[N/mm ²]
35		Maximális húzófeszültség			σSZ	218,9243559		[N/mm ²]
36		Legkedvezőtlenebb húzófeszültség			σMax	136,1386139		[N/mm ²]
37								
38		Kocsizhatóság			IGEN			
39		Kiengedhetőség			K	4		[m]
40								
41		MATLAB fájlnev:			A-B.fig			
42								
43								
44								
45								
46								
47								

17. ábra. A sodronyparaméterek megadása

10.4. A számítási algoritmus bemutatása

Az egyes magyarországi távvezetékekre az átviteli hálózat adatai alapján meghatároztam az átlagos oszlopközt, illetve a legkisebb és legnagyobb oszlopköz-értékeket. Ezekre azért volt szükség, hogy a MATLAB script az Excel-táblázatokba az adott távvezetékre jellemző átlagértékekkel térhessen vissza, de egy adott távvezeték esetén mind a legkisebb, mind pedig a legnagyobb oszlopközökre vonatkozóan lefuthasson a számítás.

A védővezetők vizsgálatát a Magyarországon üzemelő összes átviteli hálózati távvezetékre elvégeztem.

A számítások során először az adott sodronytípusra vonatkozó adattáblát töltöttem ki. A számításokhoz szükséges adatok az alábbi források alapján érhetők el:

- sodrony-adatlap
- MSZ 151 szabvány
- az átviteli hálózat sodrony-adatai
- az átviteli hálózat távvezeték-adatbázisa
- kocsizhatósági vizsgálatok eredménye
- MKM kábelkatalógus

Az adattáblák fejlécét az átviteli hálózat távvezetékekre vonatkozó adatai alapján töltöttem ki. Ennek alapján a vizsgált távvezeték helyére, leírására, státuszára, a virtuális területre, illetve az alkalmazott védővezető típusára vonatkozó adatok rendelkezésre álltak. Mivel a MATLAB script elsődleges célja egy átfogó kép létrehozása a kocsizhatósági vizsgálatokkal kapcsolatban, ezért mind a vizsgált oszlopközt, mind pedig az oszlopközön belüli léptéket 1 méteres pontosságra állítottam.

A szerelő kocsiszek (szerelővel együtt értelmezett) tömegét 150 kg-nak választottam, ezért ennek súlya $Q=mg$ összefüggés alapján 1500 N értékűre adódott. Ez a súly a BME Nagyfeszültségű Laboratóriumában kiépített - nagyfeszültségű feszültség alatti munkavégzés (NaF FAM) oktatására létesült - tanpálya távvezeteki sodronyon történő munkavégzést lehetővé tevő szerelő kocsiszekének (ld. 18. ábra) tömege alapján került megállapításra és összhangban van a nemzetközi gyakorlattal.



18. ábra. Szerelő kocsiszek a BME Nagyfeszültségű Laboratóriumában

A sodrony átmérője és teherviselő keresztmetszete az adott sodrony adatlapja, illetve az átviteli hálózat adatai alapján álltak rendelkezésemre. Az adott sodronytípus adatlapjának hiányában a megengedett húzófeszültség az MSZ 151 szabvány 2. táblázata alapján került meghatározásra. A táblázatban minden esetben a kedvezőtlenebb – biztonság javára tévedő – keresztmetszet-arányokat vettem figyelembe (a ténylegesnél kisebb arányú acél-keresztmetszet arány az alumínium-keresztmetszethez képest). A rugalmassági modulus, a számított szakítóerő és a sodrony-adatlap alapján megengedett maximális húzófeszültség szintén a sodrony-adatlap, illetve a központi adatok alapján kerültek megállapításra.

A biztonsági tényezőt minden számítás során 4-nek választottam. Ez azt jelenti, hogy a számított – az adott sodronytípus elszakításához szükséges – szigma értékek $\frac{1}{4}$ -e engedhető meg. Minden esetben a számított, a sodrony adatlapján található, illetve az MSZ 151 szabvány előírásai alapján megengedett maximális szigma értékek közül a legkedvezőtlenebbet (legkisebb értékűt) vettem figyelembe.

A szükséges adatok kitöltése után az Excel-táblázat átadható a MATLAB-nak, amely elvégzi a szükséges számításokat. Az Excel-táblázat fejléce a fent ismertetett módon, a rendelkezésre álló adatok alapján kitölthető:

Hely	00000			
Leírás	Távvezeték, C-D, 120 kV			
Státusz	Üzemelő			
Virtuális terület	C-D			
Védővezető típusa	35B78z-24M 9,3+(7+7)×2,52			
MATLAB lépték (oszlopköz)	MATL_ok	1	[m]	
MATLAB lépték (számítás)	MATL	1	[m]	
Szerelő és kocsi együttes súlya	Q	1500	[N]	
Átlagos oszlopköz	a	240	[m]	
Számolási tartomány	+/-	220	[m]	
Sodrony átmérője	d	14,34	[mm]	
Teherviselő keresztmetszet	At	113,1	[mm ²]	
1 m hosszú vezető 1 mm ² keresztmetszetére ható súlyerő /10	γ	4,56E-03	[N/mm ² m]	
Rugalmassági modulus	E	95,6	[kN/mm ²]	
Számított szakítóerő	Pszak	6,01E+04	[N]	
Biztonsági tényező	b	4	[-]	
Megengedett húzófeszültség (MSZ151-1)	σ_{MSZ}		[N/mm ²]	
Megengedett húzófeszültség (sodrony)	σ_S	106	[N/mm ²]	
Sodronyfesztő húzófeszültség	σ_0	110	[N/mm ²]	

19.a ábra. A számítás menete

Ezt követően az Excel-táblázatot a vezeték virtuális területének neve alapján mentettem (C-D.xlsx), így az eredmények a MATLAB-ban az alábbi utasítás segítségével számíthatók:

```
clear all;fajlnev='C-D.xlsx';sigma
```

A „*clear all*” utasítás a MATLAB workspace minden korábbi változóját törli az adatok konzisztenciájának megőrzése érdekében. A „*fajlnev=*” kezdetű utasítás után a vizsgált távvezetéknek, és sodronyának adatait tartalmazó Excel-fájl nevét kell megadni (kiterjesztéssel együtt). A „*sigma*” utasítás végzi a tényleges számítást a *sigma.m* script futtatásával, a korábban bemutatott algoritmus alapján.

A script futása során ellenőrzésképp megjeleníti az éppen számított oszlopköz hosszát (19.b ábra).

```
oszlopkoz =  
    455  
  
oszlopkoz =  
    456  
  
oszlopkoz =  
    457  
  
oszlopkoz =  
    458  
  
oszlopkoz =  
    459  
  
oszlopkoz =  
    460  
  
fx >>
```

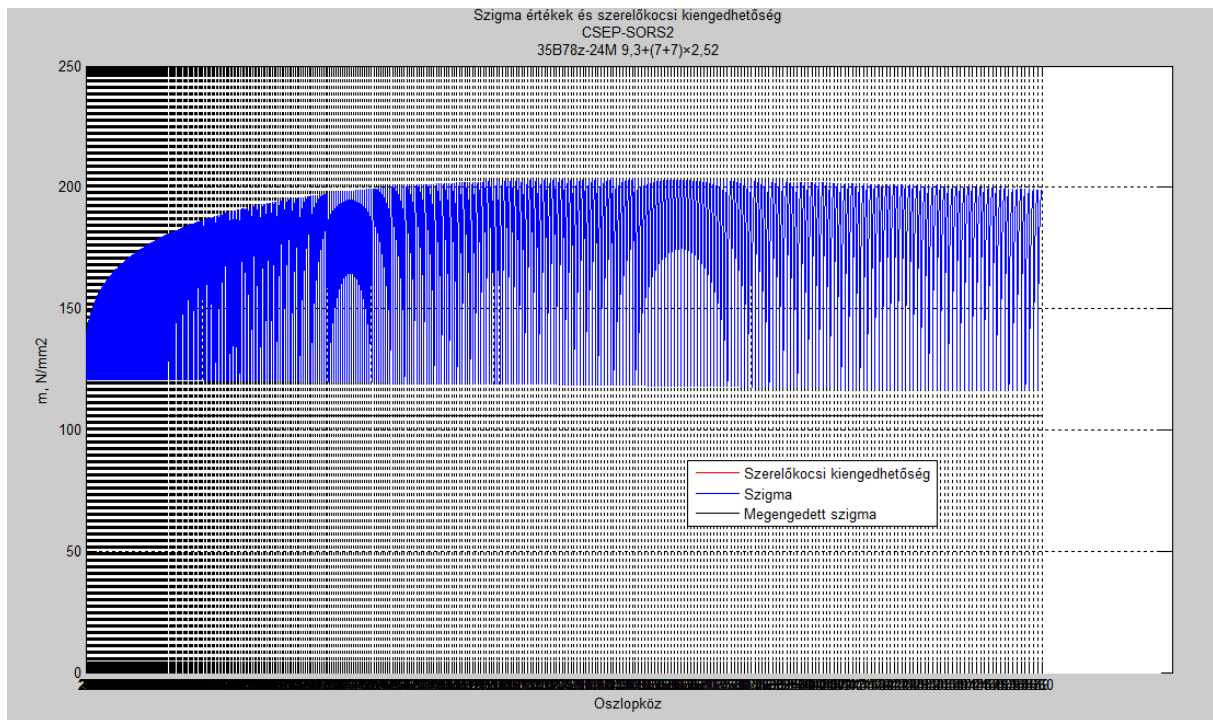
19.b ábra. A számítás menete

A MATLAB az Excelnek az átlagos oszlopközre vonatkozóan adja át az adatokat, azonban minden megadott oszlopközre elvégzi a számítást és az adatokat grafikusán ábrázolja. A példában szereplő belső változók értékei - melyek jelölései összhangban vannak a 10.1. fejezetben ismertetett számítási eljárásban előforduló fizikai változókkal – a 19.c ábrán láthatók.

Name ^	Value	Min	Max
A	113.1000	113.10...	113.10...
E	95.6000	95.6000	95.6000
H	1.0057e+04	1.0057...	1.0057...
H0	1.3616e+04	1.3616...	1.3616...
H0a2	1.3616e+04	1.3616...	1.3616...
M	172500	172500	172500
MATL	1	1	1
MATL_ok	1	1	1
Ma2	172500	172500	172500
Q	1500	1500	1500
a	240	240	240
a_kieng	<52810x1 double>	0	0
a_szigma	<52810x1 double>	116.48...	203.10...
a_szigma_max	<52810x1 double>	106	106
b0	10.9671	10.9671	10.9671
b1	12.6686	12.6686	12.6686
b1a2	12.6686	12.6686	12.6686
b2	17.1528	17.1528	17.1528
dat1	[1;1;1500;240;220;0.00...	0.0046	1500
dat2	<11x1 double>	0	90000
diff	220	220	220
fajlnev	C-D.xlsx		
gamma	0.0456	0.0456	0.0456
i	460.6973	460.69...	460.69...
kieng	0	0	0
lambda	0.5802	0.5802	0.5802
nme	<1x1 cell>		
oszlopkoz	460	460	460
s	230	230	230
s_graph	<441x1 double>	10	52810
sodrony	<1x1 cell>		
szigma_H	88.9184	88.9184	88.9184
szigma_Sz	198.9184	198.91...	198.91...
szigma_max	106	106	106
szigma_null	110	110	110
tmp	230	230	230
tmpo	52810	52810	52810
tx	<2x1 cell>		
ures	[]		
x	<1x52810 double>	1	52810

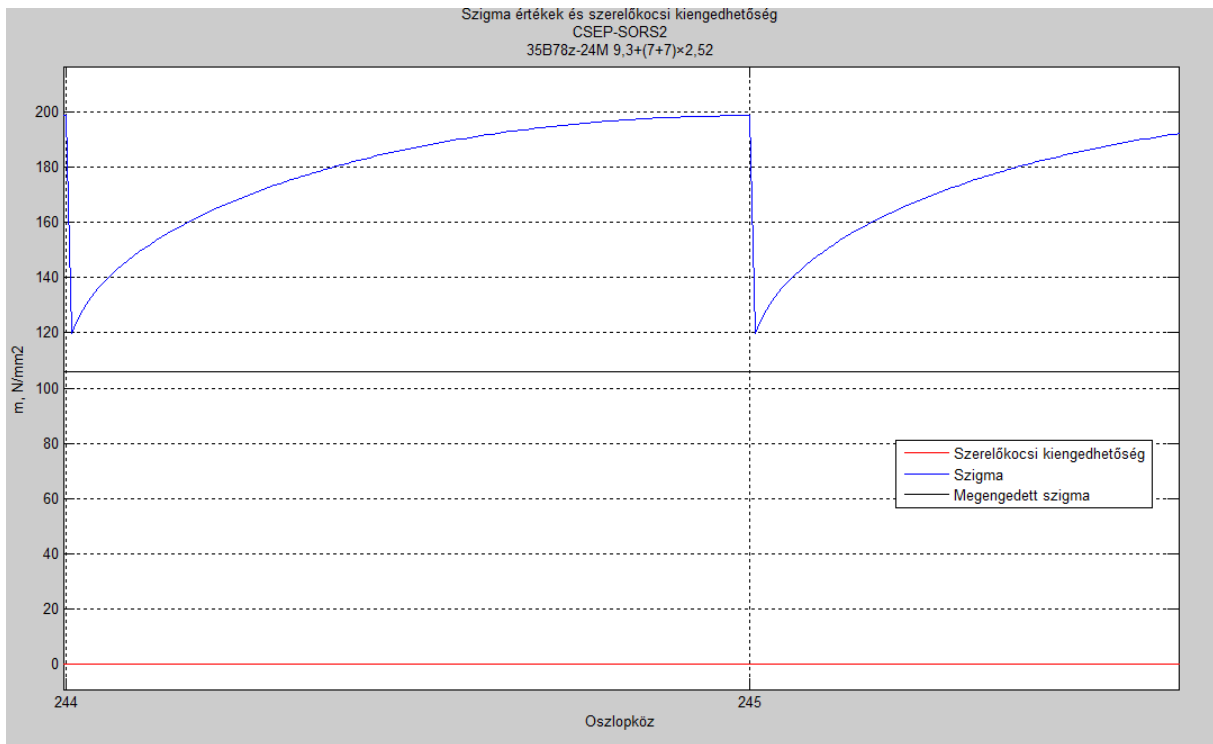
19.c ábra. A számítás menete

Az adatok alapján a MATLAB számítást végez. Az így kapott grafikont a 19.d ábra szemlélteti.



19.d ábra. A számítás menete

A grafikon egyszerre szemléltet több eredményt: a címben látható a vizsgált sodrony virtuális területének kódja, illetve a vizsgált távvezeték sodronyának megnevezése. **Kék színnel** a script az egyes oszlopközökben sorra ábrázolja az oszloptól való távolság változásának függvényében a szigma értékeket. A fekete szín a – számított legkedvezőtlenebb – maximálisan megengedhető szigma értéket jelöli. A script **piros színnel** meghatározott oszlopköz-hosszak esetén az oszloptól mérve megengedhető kocsihatóság határait ábrázolja. A számítások eredményét egy oszlopközre ábrázolva a 19.e ábra szemlélteti.



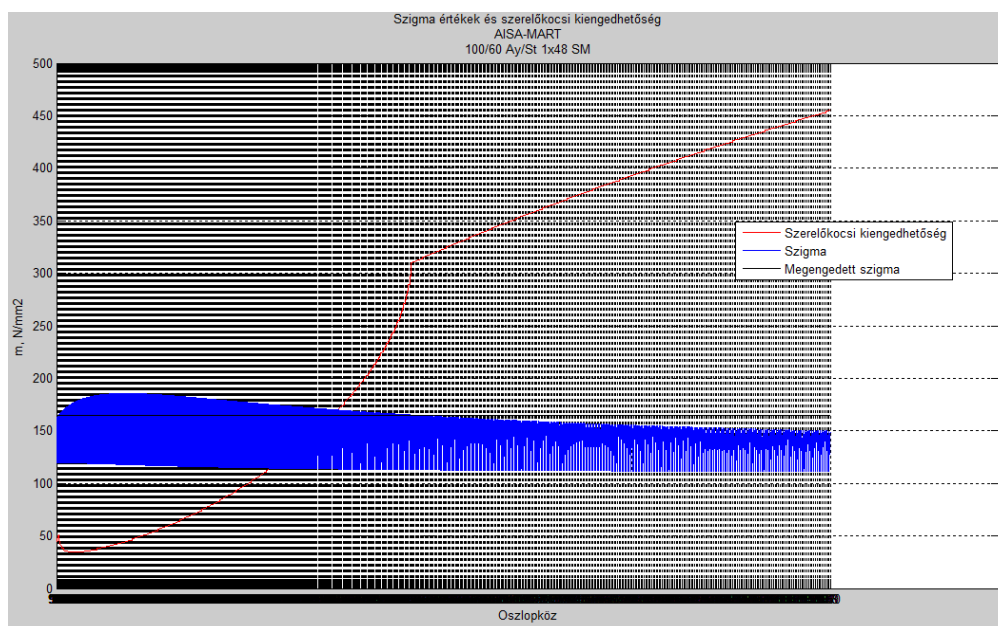
19.e ábra. A számítás menete

Az Excel-táblázatban megadott átlagos oszlopközre vonatkozó adatok ezután visszairásra kerülnek az Excel-táblázatba (19.f ábra).

		Adatok	240 m oszlopközre	
Belógás	b0	2,985381818	[m]	
Szerelő és kocsi által létrehozott nyomaték	M	90000	[Nm]	
Ívhossz	i	240,0990278	[m]	
Közelítő belógás	b1	3,447577569	[m]	
Közelítő húzóerő	H0	26105,28645	[N]	
Rugalmas nyúlás	λ	0,579693415	[m]	
Sodrony keresztmetszete	As	161,5058226	[mm ²]	
Számítási keresztmetszet	A	113,1	[mm ²]	
Pontos belógás	b2	9,031152471	[m]	
Pontos húzóerő	H	9965,505542	[N]	
Többlet húzófeszültség	σ_H	88,11233901	[N/mm ²]	
Megengedett húzófeszültség (számított)	σ_C	132,847038	[N/mm ²]	
Maximális húzófeszültség	σ_Z	198,112339	[N/mm ²]	
Legkedvezőtlenebb húzófeszültség	σ_{Max}	106	[N/mm ²]	
Kocsizhatóság	NEM			
Kiengedhetőség	K	0	[m]	
MATLAB fájlnev:				C-D.fig

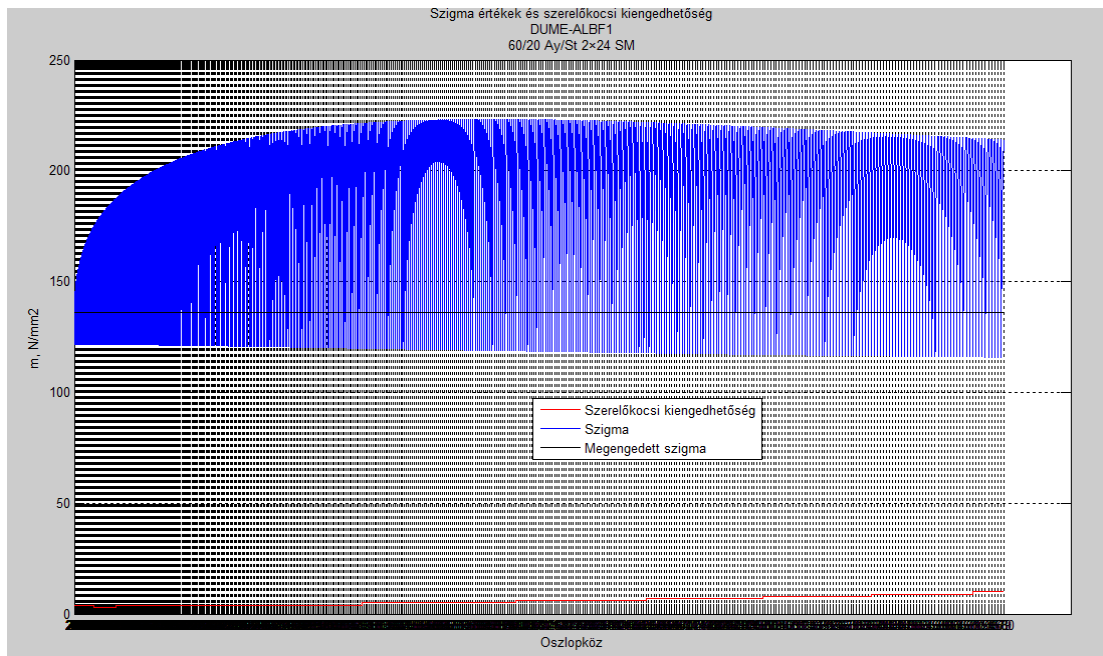
19.f ábra. A számítás menete

A fentiekben olyan távvezetéken mutattam be a számítások menetét, ahol a végeredmény alapján a szerelő kocsiszéket nem lehet kiengedni a sodronyon a túl nagy szigma-értékek miatt. A vizsgált sodronyok nagy részén azonban a szerelő kocsiszék bizonyos mértékig kiengedhető.



20.a ábra. Kocsizhatósági görbe

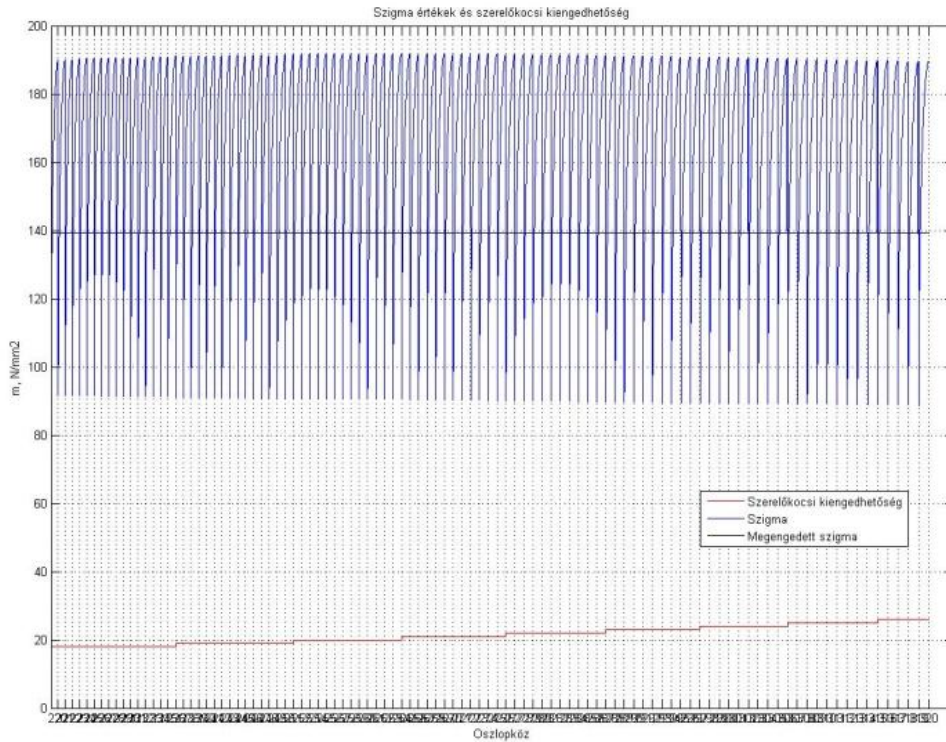
A 20. ábrán bemutatott esetben a maximális oszlopköz körülbelül 50%-áig a szerelő kocsiszék kiengedhetősége exponenciális jelleggel változik. Ezután – mikor a sodronyra ható szigma erő már minden esetben kisebb a megengedhető maximumnál – a kocsizhatóság mértéke lineárisan nő tovább az adott oszlopközökben megengedhető maximális értékeket felvéve. A görbe e szakaszán tehát az adott távvezeték adott sodronya folyamatosan kocsizható.



20.b ábra. Kocsizhatósági görbe

A 20.b ábra grafikonján egy – a vizsgált sodronyok nagy része esetében adódó – kocsizhatósági görbe látható. Az oszlopköz növekedésével a kocsizhatóság mértéke is növekedik, azonban nem közelíti meg a teljes oszlopközt. Fentiek miatt javítás előtt rendkívül nagy szükség van a hiba jellegének és mértékének megállapítása mellett a hiba helyének pontos ismeretére is.

A 20.c ábra egy, a fenti esethez hasonló távvezeték kocsizhatósági görbét mutatja olyan esetben, mikor a vizsgált oszlopközök nagyságának szórása kisebb, mint a 20.b ábrán bemutatott görbe esetében.



20.c ábra. Kocsizhatósági görbe

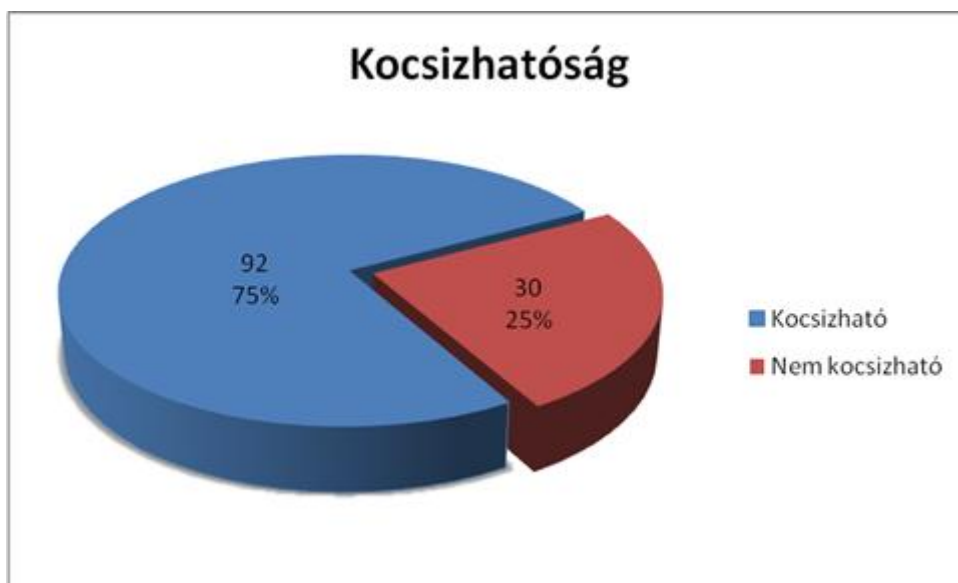
A hibahely pontos feltérképezése, valamint a sodronysérülés mértékének megállapítása a különböző optikai megoldások használatán kívül számos egyéb módszerrel is lehetséges: ilyenek az ultraibolya (UV), illetve infravörös (IR) frekvenciatartományban üzemelő berendezések, a helikopterről történő állapotfelmérés, a távvezetéki sodronyon haladó távirányítású robot, valamint a kamerákkal felszerelt távirányítású helikopter is.



21. ábra. Távirányítású helikopter alkalmazása a távvezeték állapotfelmérésére [30]

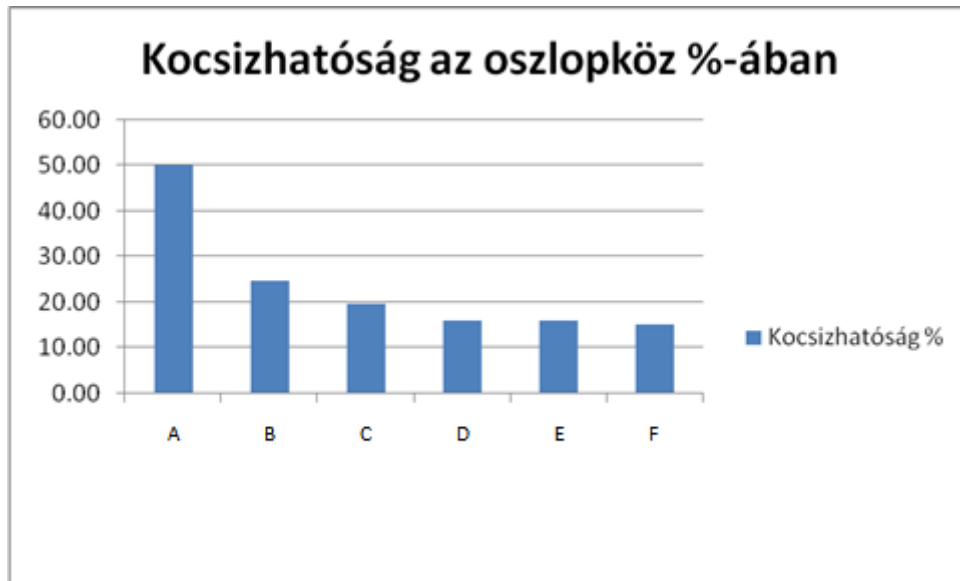
10.5. Eredmények

A fentiekben bemutatott számítási algoritmust a teljes magyarországi átviteli hálózat összes távvezetékére alkalmaztam. Az így elvégzett szimuláció eredményeinek összefoglalását a 22. ábra szemlélteti.



22. ábra. A kocsizhatósági vizsgálatok eredményei

Gyakorlati szempontból azt a sodronyt érdemes kocsizhatósággal javítás szempontjából figyelembe venni, ahol a szerelő kocsiszék az oszloptól az oszlopköz kb. 1/3 részéig, vagy annál tovább kiengedhető. Ezek alapján a - fenti határt meghaladó mértékben - kocsizható távvezeték-szakaszok kocsizhatóságát a 23. ábra grafikonja szemlélteti.



23. ábra. Az oszlopköz 1/3 részénél nagyobb mértékben kocsizható távvezeték-szakaszok összefoglalása

Az adatok alapján megállapítható, hogy a magyarországi védővezetők átlagos kocsizhatósága az oszlopköz teljes hosszára vetítve 3,47%.

11. Oszlopképek vizsgálata

Egy adott távvezeték védővezetőjének szerelő kocsiszékekkel történő javítása során a 10. fejezetben meghatározott húzófeszültség-értékek által szabott határok teljesülése a kocsizhatóság szükséges, de nem elégséges feltétele. A húzófeszültségek alakulásán túl vizsgálni kell azt is, hogy az érintett távvezeték hibás oszlopközének határoló oszlopai által meghatározott geometria lehetővé teszi-e a szerelő kocsiszékes javítási technológia alkalmazását. Ehhez teljesülnie kell a fázis (fázisvezető) és föld (védővezető, illetve az arra felfüggesztett szerelő kocsizék) között előírt biztonsági távolságoknak is.

A feszültség alatti munkavégzéshez szükséges védőtávolságok megléte - az egyes sodronytípusokra számított belógás-értékek alapján - az adott távvezetésekre jellemző oszlopképek vizsgálatával állapítható meg. A különböző feszültség-szintekhez tartozó szigetelési, illetve biztonsági távolságokat a 4.b táblázat foglalja össze [27].

Feszültség közeli munkavégzés esetén a szigetelési- és biztonsági távolságok közül utóbbi értékét kell figyelembe venni, mivel az a legkisebb szigetelési távolság értékén felül tartalmazza a szerelő véletlen mozdulataira jellemző ergonómiai összetevőt, valamint az emberi testnek és a munkát végző szerelő eszközeinek térerősség irányú méreteit is.

4.a táblázat. A szigetelési távolságok összefoglalása feszültség szintenként

Névleges feszültség [kV]	Legkisebb szigetelési távolság [m]	
	fázis-föld között	fázis-fázis között
750	4,3	7,5
400	2,7	3,7
220	1,6	2,0

4.b táblázat. A biztonsági távolságok összefoglalása feszültség szintenként

Feszültség [kV]	Levegőben szükséges legkisebb biztonsági távolság [m]			
	fázis és föld között		fázis és fázis között	
	vízszintesen	függőlegesen	vízszintesen	függőlegesen
120	2,2	3,1	2,5	3,4
220	2,9	3,6	3,5	4,1
400	4	4,5	5,1	5,6
750	5,9	6	9,1	9,2

Az 1/3 résznél nagyobb mértékben kocsizható védővezetőjű távvezeték-szakaszok leggyakoribb oszlopképeit az 5. táblázat foglalja össze.

5. táblázat. Jellemző oszlopképek összefoglalása

Jellemző oszloptípus	Feszültség szint
Paks - PTK+0	400 kV
Kaposvár - PTK+0	400 kV
Szolnok - OT+0	220 kV
Szolnok - OT+0	220 kV
Kaposvár - PTK+0	400 kV
1953 - PT+2	120 kV

Átlagos szennyezettség esetén 400 kV feszültség szinten 8,4 m kúszóút biztosítása szükséges. E kúszóút - az oszlopképek vizsgálatokor legkedvezőtlenebb esetet tekintve - kompozit szigetelő alkalmazásával érhető el, az így szükséges kompozit szigetelőlánc hossza 4 méter [31]. Fentiek alapján 120 kV-on 1 méteres, 220 kV-on pedig 2,5 méteres szigetelőláncokkal számolva (a biztonság javára tévedve) végezhetők a vizsgálatok.

A védővezető sodronyának maximális belógását a vizsgált távvezetéseken a 6. táblázat foglalja össze. A táblázatban az oszlopköz 1/3-ánál nagyobb mértékben kocsizható távvezetékek jellemző oszlopképei mellett az adott távvezetésekre jellemző átlagos belógás-értékek szerepelnek.

6. táblázat. Terhelt távvezetékek védővezetőinek átlagos belógása

Virtuális terület	Átlagos belógás
Paks - PTK+0	4,83
Kaposvár - PTK+0	5,12
Szolnok - OT+0	5,15
Szolnok - OT+0	5,15
Kaposvár - PTK+0	5,52
1953 - PT+2	4,49

A fentiek alapján az alábbiak állapíthatók meg:

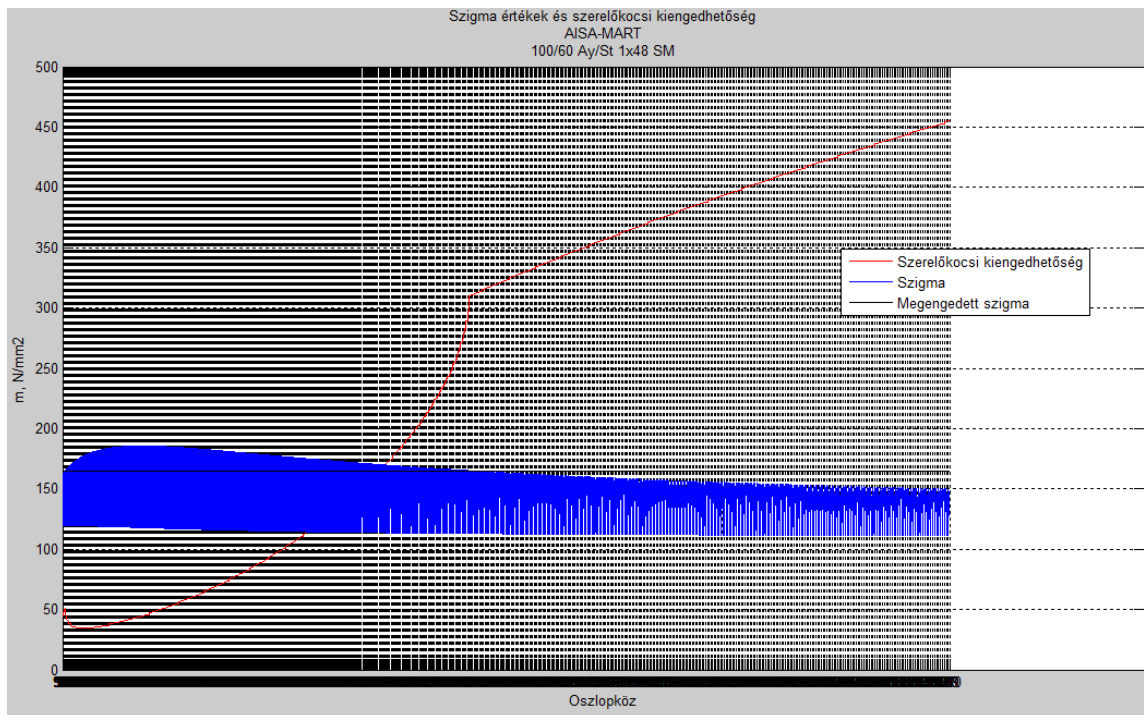
- **Paks – PTK+0** típusú oszlop esetén (400 kV) a védővezető és a fázisvezető függőleges távolsága 8 m. A vizsgált szakaszon az átlagos belógás 4,83 m, így ha a védővezető függőlegesen megközelíti a fázisvezetőt, a szükséges biztonsági távolság (4,5 méter) nem teljesül. Vízszintesen a védővezető és a hozzá legközelebbi fázisvezető távolsága 4,6 m, amely az adott feszültségszintre jellemző biztonsági távolságnál (4 méter) nagyobb érték, így a vizsgált távvezeték-szakasz **kocsizható**.
- **Kaposvár PTK+0** típusú oszlopkép esetén (400 kV) a védővezető és a fázisvezető függőleges távolsága 8 m. A vizsgált szakaszokon az átlagos belógás ennél kisebb ugyan, - 5,12 méter, illetve 5,52 méter – de a szükséges biztonsági távolság (4,5 méter) nem teljesül, a védővezetők emiatt függőlegesen nem közelíthetik meg a fázisvezetőt. Vízszintesen a védővezető és a hozzá legközelebbi fázisvezető távolsága 4,6 m, amely a biztonsági távolságnál nagyobb érték. A vizsgált távvezeték-szakaszok tehát ebben az esetben is **kocsizhatók**.

- **1953 - PT+2** típusú oszlop esetén (120 kV) a védővezető és a fázisvezető függőleges távolsága 5,5 m. A vizsgált szakaszon az átlagos belógás ennél kisebb - 4,49 m - így a védővezető függőlegesen megközelíthetné ugyan a fázisvezetőt, az előírt biztonsági távolság (3,1 méter) azonban nem teljesül. Vízszintesen a védővezető és a hozzá legközelebbi fázisvezető távolsága 1 m, amely a biztonsági távolságnál (2,2 méter) kisebb érték, így a vizsgált távvezeték-szakaszon a szerelő kocsiszek túlzott belógást okoz, a biztonsági feltételek nem teljesülnek, emiatt az érintett szakasz **nem kocsizható**.
- **Szolnok - OT+0 típusú oszlop** esetén (220 kV) a védővezető és a fázisvezető legkisebb vízszintes távolsága 4,3 méter, mely nagyobb, mint az előírt biztonsági távolság (2,9 méter), így a vizsgált távvezeték-szakaszok **kocsizhatók**.

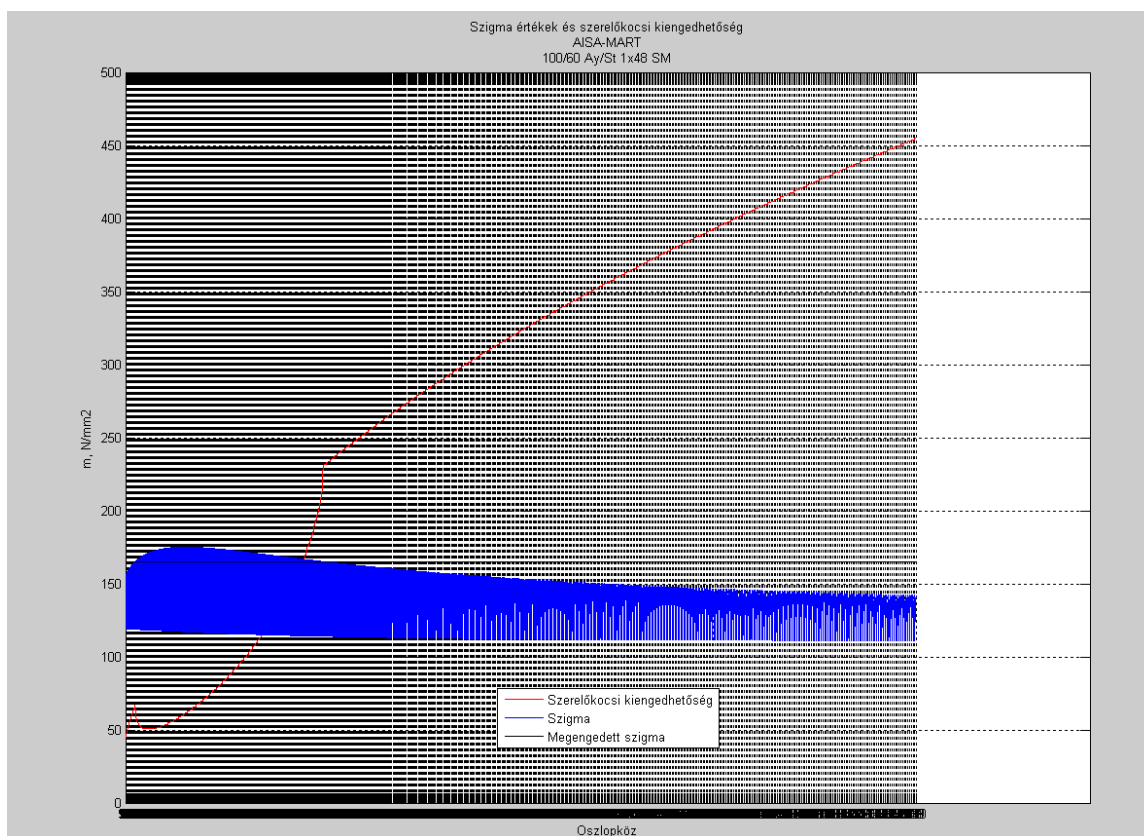
12. A szimuláció paramétereinek változtatása

A szimuláció során vizsgáltam azt is, hogy a szerelő kocsiszek súlya milyen mértékben befolyásolja a kocsizhatósági görbéket. Megállapítható, hogy ugyanazon oszlopközben – kis oszloptól mérhető kiengedhetőség mellett – a szerelő kocsiszek súlyának kb. 30%-kal való csökkentésével a kiengedhetőség az eredeti érték közel kétszeresére nőtt.

Abban az esetben, ha a vizsgált oszlopközben a szerelő kocsiszek - eredeti súlyával számolva is - jelentős mértékig kiengedhető a határoló oszloptól, a súly csökkentésével a kiengedhetőség ugrásszerűen növekedik. Ilyen esetben már a súly 20%-kal való csökkentése az eredeti érték több mint kétszeresére növelte a kiengedhetőséget. Ezt az esetet szemléltetik a 24. ábra grafikonjai.



24.a ábra. Kocsizhatósági görbe jelentős mértékű kiengedhetőség esetén 1500 N súlyú szerelő kocsizéssel



24.b ábra. Kocsizhatósági görbe jelentős mértékű kiengedhetőség esetén 1000 N súlyú szerelő kocsizéssel

A számítási eredményeket a 7. táblázat foglalja össze.

*7.a táblázat. Kocsizhatóság változása a szerelő kocsiszék súlyának függvényében
kismértékű kiengedhetőség esetén*

Szerelőkocsi súlya	Kocsizhatóság (oszloptól, m)	Kocsizhatóság (oszloptól, %)
1500 N	4	1,33%
1200 N	6	2,00%
1000 N	7	2,33%

*7.b táblázat. Kocsizhatóság változása a szerelő kocsiszék súlyának függvényében
jelentős mértékű kiengedhetőség esetén*

Szerelőkocsi súlya	Kocsizhatóság (oszloptól, m)	Kocsizhatóság (oszloptól, %)
1500 N	124	24,80%
1200 N	250	50,00%
1000 N	250	50,00%

13. Összefoglalás, kitekintés

A dolgozatban a védővezető szálkisodródási jelenség szerelő kocsiszékkel történő javítási módjának lehetőségeit vizsgáltam. Megállapítható, hogy a szálkisodródásra, mint gyakorlati problémára a magyarországi távvezetékek jelentős részén széles körben alkalmazható javítási mód a hiba szerelő kocsiszék alkalmazásával történő elhárítása.

A védővezetőnek, illetve sodronyának részletes bemutatása után vizsgáltam a villámcsapások fizikai hátterét és a villám által okozott jellemző sérüléseket a távvezetési sodronyokon. Sorra vettem a szálkisodródás javítása során szóba jöhető módszereket, technológiákat, és a Magyarországon alkalmazott gyakorlat mellett vizsgáltam a külföldi áramszolgáltatók által alkalmazott megoldásokat, eszközöket, illetve statisztikákat is. A különböző sodronytípusok teherbírásának fizikai vizsgálatait MATLAB környezetben megvalósított algoritmus segítségével szimuláltam.

Az elvégzett számítások alapján – a megfelelő mechanikai vizsgálatokat követően – lehetőség nyílik a nagyfeszültségű távvezetékek szerelő kocsiszék alkalmazásával történő javítási technológiájának kidolgozására.

A vizsgálatok eredményei fentiekén kívül támpontként szolgálhatnak a szerelő kocsiszék alkalmazhatósági feltételeinek felmérésében, valamint indokoltta tehetik további technológiák részletes kidolgozását (pl. kosaras kocsirol történő szálkisodródás-javítás).

Megállapítható, hogy a magyarországi távvezetékek jelentős részén a szerelő kocsiszék csak az oszlopközök viszonylag kis hányadában alkalmazható érdemben, azonban jelenleg nem létezik olyan technológia, mellyel a teljes átviteli hálózat bármely oszlopközében szükségessé váló javítási munkák hatékonyan, műszaki kompromisszumok nélkül, gazdaságilag optimálisan kivitelezhetők lennének. A védővezető szálkisodródásának javítása tehát - a hiba helyének és a károsodás mértékének pontos felmérését követően - minden esetben egyedi mérlegelést, és az adott hibahelyre jellemző, műszaki és gazdasági szempontból egyaránt optimális megoldást követel meg.

Fentiekén kívül a dolgozat átfogó képet ad a szerelő kocsiszékes technológia alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatával kapcsolatban, valamint rávilágít a módszer korlátaira is.

14. Irodalomjegyzék

- [1] Fiber Optic Cables in Overhead Transmission Corridors, A State-of-the-Art Review, Final Report, EPRI, 1997

- [2] EPRI Fiber Optic Cables in High Voltage Environments (Technical Progress), B. Clairmont, 2000.

- [3] EPRI Ergonomics Handbook for the Electric Power Industry: Overhead Distribution Line Workers Interventions (Technical Report), J. Yager, 2001.

- [4] G. Carlton, A. Bartlett, C. Carter and T. Parkin, "UK Power Utilities' Experience with Optical Telecommunications Cabling Systems," Power Engineering Journal, Vol. 9, pp. 7-14, February 1995.

- [5] Electric Power Research Institute, "Fiber Optic Cables in High Voltage Environments" Interim Report, EPRI Energy Delivery and Utilization Center, Lenox, MA, December 1998

- [6] Chisholm, W.A.; Levine, J.P.; Chowdhuri, P.: Lightning arc damage to optical fiber ground wires (OPGW): parameters and test methods, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vancouver, Canada 2001

- [7] Goda, Y.; Yokoyama, S.; Watanabe, S.; Kawano, T.; Kanda, S.: Melting and breaking characteristics of OPGW strands by lightning, IEEE Transactions on Power Delivery, Oct. 2004, Vol. 19 , Issue 4, pp 1734 – 1739

- [8] W. Zischank and J. Wiesinger, "Damages to Optical Ground Wires Caused by Lightning," 10th International Symposium on High Voltage Engineering, August 25-29, 1997, Montreal, Quebec, Canada.
- [9] "Simulated Lightning Test on FIBRAL Conductor," Report No. BHPL830201, Barthorp EMP Limited, England.
- [10] R. C. Madge, S. Barrett and H. Grad: Performance of Optical Ground Wires During Fault Current Tests, July 1989, IEEE Power Engineering Review
- [11] M. Yokoya et. al. , "Development of Lightning-Resistant Overhead Ground Wire," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, pp. 1517-1523, July 1994
- [12] A kép forrása: J. Lago, B. Bárta, J. Samaš: Characterisation of Climate Changes in the Environment by Monitoring of Parameters of Overhead Optical Cables on Overhead Lines, CIGRÉ Session 22-207, 2002.
- [13] EPRI Fiber Optic Cables in High Voltage Environments (A State-of-the-Art Review), M. Ostendorp, G. Gela, 1997.
- [14] Jeff Martin, Nick Bishop: Optical Fibre Cable Selection for Electricity Utilities Working Group 35.04, Task Force 03, CIGRÉ 2005.
- [15] Jeff Martin, Nick Bishop: Preventive and Corrective Maintenance for Optical Cables on Overhead Power Lines, Working Group 35.04, CIGRÉ 2000.

- [16] MAVIR ZRt. Átviteli hálózati projektek 2006; Győr-Szombathely 400 kV-os összeköttetés
- [http://regi.mavir.hu/domino/html/www/mavirwww.nsf/vAllPages/EE0C75B52FAD4CF7C1256F3900389A29/\\$FILE/szombathely_A4_0914_20060927.pdf](http://regi.mavir.hu/domino/html/www/mavirwww.nsf/vAllPages/EE0C75B52FAD4CF7C1256F3900389A29/$FILE/szombathely_A4_0914_20060927.pdf)
- (látogatás ideje: 2011. június 08.)
- [17] OVIT Híradó 2007/6. szám
- http://www.ovit.hu/artpics/hirado/OvitHirado_200706.pdf
- (látogatás ideje: 2011. június 03.)
- [18] Ming Anchi and Xie Banghua, Central Southern China Electric Power Design Institute, and Ming Ming: China Mitigates Lightning Damage
- http://tdworld.com/overhead_transmission/power_china_mitigates_lightning
- Transmission & Distribution World, 2006.
- [19] J. Muñoz, J. Mn. López: The Experience of Red Eléctrica De España in the Construction and Maintenance of its Fibre Optic Network, CIGRÉ Session 35-303, 2000.
- [20] T. Du, Y. Zhang, W. Xia: Study on the Problem of Lightning Strike of OPGW, International Conference on Power System Technology, Chongqing China, 2006

- [21] Jie Li, De-Dong Sun: Analysis on Lightning Strike Damages to Optical Fiber Composite Overhead Ground Wire, International Conference on Industrial and Information Systems, Sri Lanka, 2009
- [22] J.P. Bonicel et al. in the paper: "Lightning Strike Resistance of OPGW," International Wire and Cable Symposium Proceedings 1995.
- [23] A kép forrása: 3M Aluminum Conductor Composite Reinforced Technical Notebook
<http://multimedia.3m.com>
(látogatás ideje: 2011. július 14.)
- [24] Dr. Csikós Béla: 750 kV, 400 kV, 220 kV és 120 kV nagyfeszültség érintésével és közelében végzett munka technikája III./2. kötet, OVIT, 1967-1980.
- [25] Dr. Csikós Béla: 750 kV, 400 kV, 220 kV és 120 kV nagyfeszültség érintésével és közelében végzett munka technikája III./5. kötet, OVIT, 1984.
- [26] Dr. Csikós Béla: ML23/MM23 Műszaki Lapok/Műveleti MódoK, OVIT, 1987.
- [27] Dr. Csikós Béla: 750 kV, 400 kV, 220 kV és 120 kV nagyfeszültség érintésével és közelében végzett munka technikája III./1. kötet, OVIT, 1967-1980.

- [28] Pernecky Géza: Szabadvezetékek feszítése
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968
- [29] Verebély László: Kábelek és szabadvezetékek, III. kötet
Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1948
- [30] A kép forrása: Aerial Photography Services
- [31] MSZ-09-00.0248:1992: Nagyfeszültségű szabadvezetési szigetelők villamos méretezése
Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 1992.