

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

A 2013. márciusi VER üzemzavar helyreállítási lehetőségeinek vizsgálata

Készítette:

Kántor Tímea, YPM4W4

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamosmérnök BSc., V. évfolyam

Konzulens:

Németh Bálint

egyetemi adjunktus

BME Villamos Energetika Tanszék

a Nagyfeszültségű Laboratórium vezetője

Budapest, 2013. október 25.

Összefoglaló

A 2013. március 15-i hétvége rendkívül emlékezetes maradt a szokatlan időjárásáról és az annak következtében fellépő villamosenergia-rendszerbeli üzemzavari eseményekről. A hosszúhétvége során mintegy százezer ember maradt áram nélkül, tízezreknél majdnem egy hétig szünetelt a villamosenergia-ellátás.

A tavasszal megszokottal ellentétben március 14-én egy olyan ciklon érte el Magyarország területét, amelyben a mediterrán térségből hozott nedves légáramlat keveredett az északi hideg levegővel, és ennek nyomán erős havazás kezdődött, először csak a nyugati, északnyugati területeken, majd később keleten is. A havazás néhol esővel keveredett, azonban a nagyobb problémát az azt kísérő rendkívül erős, néhol 90 km/h-s szél okozta, aminek következtében a csapadék ráfagyott a távvezeték sodronyokra, túlterhelve a tartószerkezeteket. Számos távvezeték oszlop megsérült, kidőlt, valamint rengeteg oszlop csúcsa letört.

A hóviharak károsították mind az átviteli, mind pedig az elosztó hálózatot, a leginkább érintett környéken, Északkelet-Magyarországon több mint 90 ezer ember villamosenergia-ellátását megszüntetve. Munkám során a régióban található Ibrány térségét vizsgáltam, ahol a 220 kV-os rendszeren hat egymás utáni tartóoszlop dőlt ki, amiből kettő egy mocsárban állt.

A helyreállítás során a legnagyobb problémát e két oszlop pótlása jelentette, amelyre több helyreállítási lehetőség is született.

Dolgozatomban vizsgálom továbbá a hóviharak okozta, a tartószerkezetekre ható terheléseket, valamint bemutatásra kerül az Amerikai Egyesült Államokban, 2009-ben hasonló körülmények között bekövetkezett üzemzavar, aminek nyomán körülbelül 3 millió ember maradt áram nélkül napokra.

Abstract

On the weekend of 15th March, 2013 a cyclone reached the territory of Hungary in which the wet Mediterranean air meshed with the cold, arctic weather. This cyclone caused serious snowing first in the west, then in whole Hungary, especially in the Northeast territory.

The falling snow was escorted by strong wind, which caused the moisture to freeze on the wires. It overloaded the towers of the electricity network, lots of them was damaged or collapsed. The outages caused by the weather conditions affected both the transmission and distribution network, the most affected territory was Ibrány, where about 90 thousand people were left without power for days. It is situated in the Northeast, where the 2 systems transmission line of Munkács-Sajószöged 220 kV can be found.

Around Ibrány six tension towers next to each other collapsed, where two of them were situated in the moorland. In the work the conditions of the outages were investigated, the weights caused by the snow and the wind were calculated, and the options for the reconstruction were introduced.

On the other hand it was compared to the outages happened in the U.S., in 2009, which left 3 million people without power for days. For thousands of them, power has been restored only one week after the snowstorm.

The two outages were compared in the work, and the recommendations of the American example were introduced.

Tartalomjegyzék

Összefoglaló.....	2
Abstract	3
1. Bevezetés	6
1.1 A magyar villamosenergia-rendszer átviteli hálózata	6
1.2 A Munkács-Sajószöged 220 kV-os kétrendszerű távvezeték	7
2. Rendkívüli üzemzavar az USA-ban, 2011. október 29-31. [5].....	10
2.1 Időjárási körülmények.....	13
2.2 Károk és helyreállítás.....	15
2.3 Ajánlások	19
2.3.1. A növényzet gondozásához kapcsolódó ajánlások.....	19
2.3.1.1 A veszélyes távolságon belül növekedő fák eltávolítása.....	19
2.3.1.2 Best practice-k alkalmazása a határok meghatározásánál	20
2.3.1.3 Új távvezeték létesítésekor előre lefektetett szabályok alkalmazása.....	20
2.3.2 Egyéb ajánlások	20
2.3.2.1 A felkészülés javítása és tervek előkészítése azonnali beavatkozásra.....	20
2.3.2.2 A növényzet által okozott üzemzavarok jelentése a NERC felé	20
2.3.2.3 A zavarjelentések legyenek teljesek és egyértelműek.....	20
3. Rendkívüli üzemzavar Magyarországon, 2013. március 14-17.....	21
3.1 Az események ismertetése	21
3.1.1 Időjárás [7]	24
3.2. A távvezeték oszlopokra ható, sodronyokról átadódó terhelések [8].....	28
3.2.1. Szél- és pótteher számítás	28
3.2.1.1. Pótteher.....	28
3.2.1.2 Szélteher	31
3.2.1.3 A szél- és pótteher együttes hatása.....	35
3.3 A terület [9].....	37
3.4 Helyreállítási lehetőségek	37

3.4.1 A nyomvonal megtartása, az eredeti oszloptípus alkalmazása.....	38
3.4.2 A nyomvonal megtartása, új oszloptípus alkalmazása.....	39
3.4.3 A távvezeték kitérítése új nyomvonalra.....	41
3.4.4 Összehasonlítás.....	43
4. A magyar és amerikai üzemzavarok összehasonlítása.....	44
5. Összefoglalás, nyitott kérdések.....	46
6. Hivatkozások, irodalomjegyzék.....	47

1. Bevezetés

1.1 A magyar villamosenergia-rendszer átviteli hálózata

Az átviteli hálózat a villamosenergia-rendszernek azon része, amely az erőművekben megtermelt villamos energiát nagyfeszültségű távvezetéseken és alállomásokon keresztül eljuttatja az elosztóhálózat csomópontjaiba, valamint lebonyolítja az országok közötti villamosenergia-cserét. [1]

Magyarországon az átviteli távvezetékek nyomvonalhossza 3810 km, rendszerhossza pedig 4726 km, a legnagyobb feszültségszintet pedig 1960-ban 120 kV-ról 220 kV-ra, 1968-ban 400 kV-ra, 1978-ban pedig 750 kV-ra növelték (lásd 1. ábra). A hálózaton a fogyasztói csatlakozást 29 nagyfeszültségű alállomáson keresztül biztosítja a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR Zrt.), ahol a beépített transzformátorkapacitás 14.940 MVA. [2]



1. ábra: A magyar villamosenergia-rendszer átviteli hálózata, nemzetközi összeköttetésekkel 2011-ben [2]

Az 1990-es évek közepén elkezdődött a magyar villamosenergia-rendszer fejlesztése, korszerűsítése. Emellett a Magyar Villamos Művek Zrt. (MVM Zrt.) megfogalmazta a hálózat

bővítésének elemeit is, amely során az európai villamosenergia-rendszerre (ENTSO-E, European Network of Transmission System Operators for Electricity) is vonatkozó n-1 elvet is biztosítani lehet. Ennek az egyesülésnek 34 európai ország 41 rendszerirányítója a tagja, ahol 532 millió ember villamosenergia-fogyasztását, körülbelül 3200 TWh-t biztosítják.

Az n-1 elv szerint egy tetszőleges rendszerelem (kivéve közös oszlopsorú vezetékek és gyűjtősínek) kiesésének hatására nem léphet fel határérték-túllépés sehol a hálózaton, vagyis a rendszer kellően hurkolt ahhoz, hogy egy távvezeték üzemzavara után ne omoljon össze sorban a többi is.

1.2 A Munkács-Sajószöged 220 kV-os kétrendszerű távvezeték

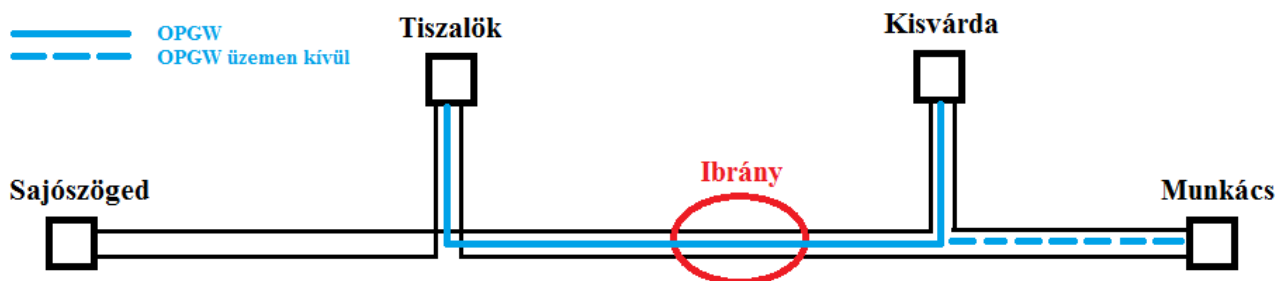
A munkám alapjául szolgáló, későbbiekben bemutatásra kerülő 2013. márciusi üzemzavar leginkább az északkeleti országrészt érintette, ezen belül is többek között a Munkács-Sajószöged 220 kV-os kétrendszerű távvezetékét, így a továbbiakban erre térek ki bővebben. A hóviharak, mint ahogy a későbbiekben látható is lesz, károsították mind a Sajószöged-Kisvárdai, mind a Tiszalök-Országhatár vezetékeket, a leginkább érintett terület pedig Ibrány térsége volt (lásd 2. ábra).

A távvezeték magyarországi részének sajószögedi 400/220/120 kV-os alállomását 1962 májusában helyezték üzembe annak érdekében, hogy az Oroszországból (a volt Szovjetunióból) importált villamos energiával el tudják látni a keleti országrész fogyasztóit, ugyanis ez a vonal biztosítja a villamosenergia-rendszerek együttműködésének keretében a keleti irányú szállítást. A Munkács-Sajószöged 220 kV-os távvezeték egyik rendszerét 1975-ben hasították fel a Kisvárdai 220/120 kV-os alállomás megépülésével. Másik rendszerét 1976-ban hasították fel, és csatlakoztatták hozzá a Tiszai Vízerőmű I. és II. számú 220 kV-os blokkját, majd 1997-ben a Sajószögedi Gázturbinás Erőművet.

A távvezeték a kelet-nyugati irányú nemzetközi szállítás mellett elosztó hálózati szempontból is fontos, ugyanis alállomásai a 120 kV-os elosztó hálózati csatlakozási pontként biztosítják Magyarország északkeleti részének villamosenergia-ellátását, valamint Kisvárdai alállomás felel a Nyíregyháza-Záhony közötti vasúti betáplálásért két 120/25 kV-os transzformátorával. [3]

Mindemellett Tiszalök és Kisvárdai között OPGW (Optical Ground Wire) kábel található a távvezeték oszlopokon, amely a védővezetői feladatok mellett távközlési összeköttetést is létesít a vonalon. Kisvárdai és az országhatár között is fel vannak szerelve az OPGW kábel, azonban ez jelenleg üzemben kívül van.

A 2. ábra az említett távvezeték leegyszerűsített rajzát mutatja, amelyen látható annak két felhasítása, az északi vonal Kisvárdánál, a déli pedig Tiszalöknél, továbbá megmutatja az általam vizsgált üzemzavar helyét, Ibrány térségét.

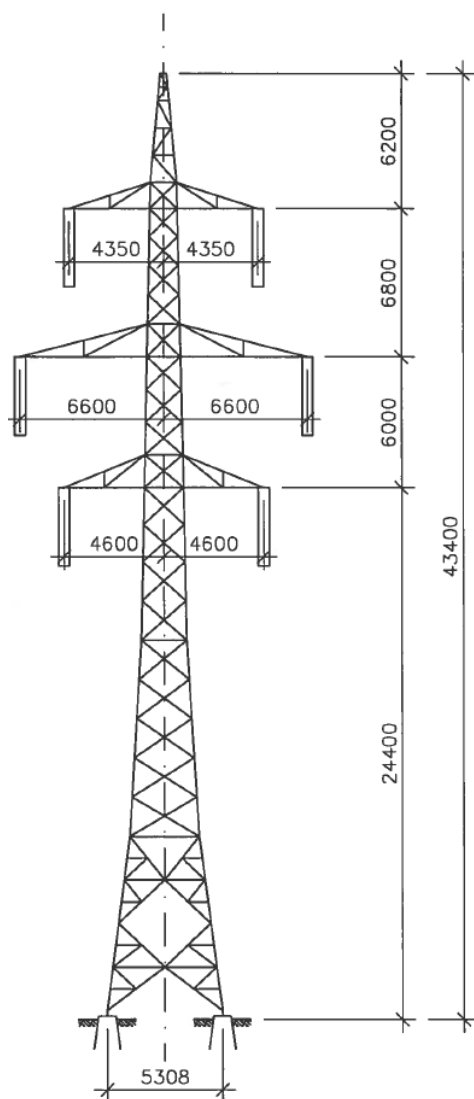


2. ábra: A Sajószöged-Munkács kétrendszerű, 220 kV-os távvezeték és az üzemzavar egyszerűsített rajza

A Munkács-Sajószöged 220 kV-os távvezeték kétrendszerű, az itt található tartószerkezetek „Soroksár” típusúak. Az oszloptípus névleges oszlopköze 350 méter, és 2x3x350/50 mm²-es ACSR áramvezető, és 1x95/55 mm²-es ACSR védővezető sodrony okozta terhelések elviselésére méretezett.

1. táblázat: A Soroksár típusú oszlop jellemzői

	Soroksár OT+0
áramvezető	2x3x350/50 ACSR
védővezető	1x95/55 ACSR
oszloptávolság	350 m
alsó oszlopkar magasság	24,4 m
teljes oszlop magasság	43,4 m



3. ábra: A "Soroksár" típusú 220 kV-os távvezeték-oszlop[3]

Az MVM által, 1993-ban megfogalmazott alaphálózati (akkori nevén) fejlesztési stratégia megalkotásakor a rendszer rekonstrukciója és az ellátásbiztonság növelése volt a cél. Az átviteli hálózat 2010-ig történő felújítása és bővítése során 2001-ben a Tiszalök és Munkács közötti szakasz távvezeték oszlopaire, érintve a felhasítást is Kisvárdánál, OPGW kábeleket szereltek fel a távvezeték védelmi jelátviteli rendszerének korszerűsítése érdekében, megteremtve ezzel egy távközlési összeköttetés lehetőségét is a környező

települések között.

A Munkács-Sajószöged 220 kV-os távvezeték szakasz rekonstrukciója a terveknek megfelelően 2010-ig be is fejeződött. A Magyar Energia és Közmű-szabályozási Hivatal (korábban MEH) szabályozása alapján minden második évben a rendszerirányítónak hálózatfejlesztési tervet kell benyújtania, és abban rögzíteni az elkövetkezendő évek fejlesztési és rekonstrukciós munkáit. A legutóbbi, 2012-es tervben a MAVIR Zrt. már csak a Munkács-Sajószöged 400 kV-os távvezetékét említi; például annak felhasítását Nyíregyházánál, vagy a Sajószöged 400 kV-os alállomás bővítését a Tisza II. Erőmű repowering miatt. [4]

A továbbiakban először egy nemzetközi példa bemutatásával folytatom a dolgozatomat: 2011 októberében az Amerikai Egyesült Államokban okozott súlyos üzemzavart az erős havazás és az azt kísérő nagysebességű szél. Ezután a 2013. márciusi események bemutatásával, a körülmények ismertetésével és a helyreállítási lehetőségek leírásával a két esemény összehasonlítását végzem el.

2. Rendkívüli üzemzavar az USA-ban, 2011. október 29-31. [5]

Az elmúlt évek történelmét vizsgálva, nemzetközi viszonylatban mindössze egy olyan üzemzavart találtam, ami nagyon hasonlít, bizonyos szempontból azonosságokat mutat a 2013. márciusi példára. Ebben a fejezetben ennek az amerikai példának a hátterét, okait gyűjtöm össze, valamint feldolgozom az ajánlásokat, amiket az illetékes szervezetek szakemberei tettek az események után.

2011. október 29-30. között egy rendkívül erős vihar érte el Amerika partjait, hatalmas pusztítást végezve, ami végérvényben 3 millió embert érintő üzemzavart okozott az USA villamosenergia-rendszerében.

1896 óta, amióta az amerikai meteorológiai szolgálat (National Weather Service) rögzíti az időjárással kapcsolatos rendkívüli eseményeket, rekordokat, nem tapasztaltak ekkora volumenű pusztítást. Észak-Amerikában egyébként egyáltalán nem szokásos az ilyen időjárás, Hálaadás előtt nem szokott havazni, pláne nem Halloween idején, hiszen általában nem elég hideg a levegő a területen ahhoz, hogy egy ilyen hóvihar kialakulását segíteni tudja. Ebben az esetben azonban egy területen – a magyarországi eseményekhez hasonlóan – magas légnyomás alakult ki délkelet-Kanadánál, majd dél felé indult, ahol a hideg, nedves levegővel keveredve alakította ki a rendkívüli helyzetet.



4. ábra: Életkép a szokatlan októberi hóvihár után

A hóvihár az USA keleti felén lévő államok közül ötöt, és Kanada egy részét is érintette. Az események 13 áldozatot követeltek, közülük egy, a húszas éveiben járó férfi egy távvezeték miatt halt

meg, ugyanis nem vette figyelembe a hatóságok által lezárt veszélyes területet, így hozzáért egy távvezeték nem kikapcsolt részéhez.

Magyarországhoz hasonlóan az Amerikában történeteket is súlyosbította, hogy 60 mph (100 km/h) sebességű szél kísérte a havazásokat, így okozva hatalmas hótorlaszokat, hóátfúvásokat. A legrosszabb helyzet Massachusetts, Rhode Island és Connecticut területén volt.

Az 2. táblázat a leesett hó mennyiségét mutatja. A hóvihár által rengeteg rekord megdőlt az államokban. New Yorkban 1925-ös feljegyzéseket múlt felül az, hogy azon a napon 1,3 inch (3,3 cm) leesett hó mennyiséget mértek a Central Parkban, de az is rendkívülinek számít, hogy Pennsylvania, Connecticut és New Jersey államokban 24 óra leforgása alatt több mint egy láb (~30 cm) hó hullott. Továbbá West Milfordban (NJ) 19 inch (48 cm) csapadékot észleltek mindössze 45 perc alatt, valamint Concord (NH) településen a lehullott 13,6 inch (34,4 cm) hó a korábbi 3 inches (7,59 cm), és Worcesterben (MA) mért 11,4 inch (28,8 cm) az ezelőtti 7,5 inches (18,97 cm) rekordot döntötte meg.

2. táblázat: A 2011-es hóvihár során hullott hó mennyisége az egyes településeken

Település	Leesett hó mennyisége	
Peru, MA	32 inch	81 cm
Jaffrey, NH	31,4	79,5 cm
Plainfield, NJ	27 inch	68,6 cm
Windsor (Kanada)	26 inch	66 cm
West Milford, NJ	19 inch	48 cm
Pennsylvania, Connecticut, New Jersey	1 láb	~ 30 cm
Manhattan, NY	10 inch	25,3 cm

A nem mindennapi események nem mindennapi helyzetet eredményeztek az USA keleti részén. Több államban – Connecticutban, Massachusettsben, New Hampshire-ben, és New York bizonyos részein – szükségállapotot rendeltek el, iskolákat zártak be, és felszólították a lakosságot, hogy ne induljanak útnak.

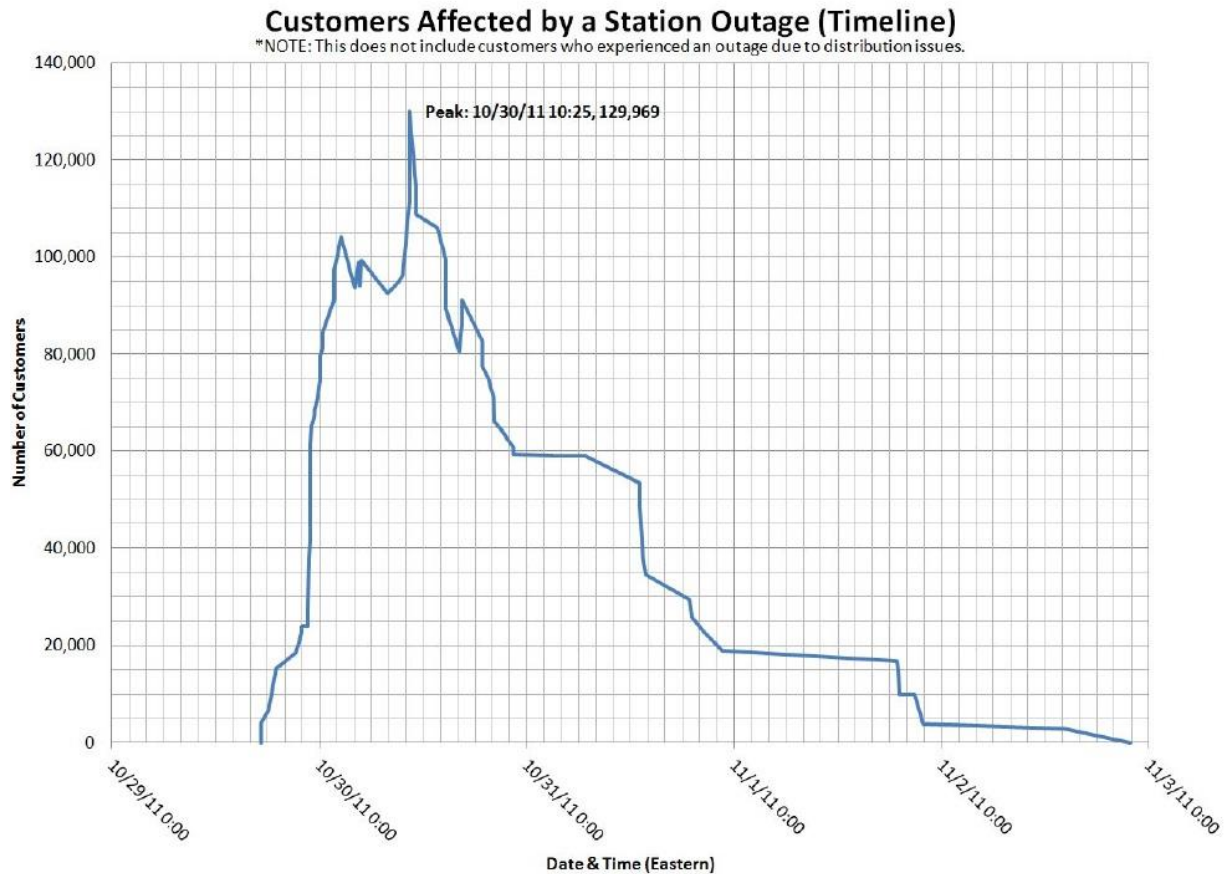
Rengeteg háztartás és vállalat, összesen több mint 3 millió fogyasztó marad áram nélkül a rendkívüli időjárásnak, és az általa okozott kis- és közép feszültségű üzemzavaroknak köszönhetően.

Közülük tízezrek több mint egy hétig, de sokan voltak, akik 11 napig kellett várjanak a visszakapcsolásra. A károk többségében (95%-ban) az elosztóhálózatot érintették, de kisebb részben az átviteli hálózat is sérült. 74 távvezeték és 44 alállomás hibásodott meg, azonban ezek mindössze 130.000 fogyasztót érintettek 6 állam területén, és közülük a legtöbbet kevesebb, mint 2 nap alatt megszüntették; egynek a kiküszöbölése sem tartott tovább 5 napnál. Az átviteli hálózaton keletkezett kiesések több mint háromnegyed részének a vezetékekre dőlő fák voltak: csak Connecticut államban 24.000 fa okozott hibát a távvezetékeken.

A 3. táblázat az egyes államokra vonatkoztatva megmutatja, hogy körülbelül hány áram nélkül maradt fogyasztót számoltak az üzemzavaros napokon, az 5. ábra pedig napokra bontva mutatja az adatokat. A kiesett, körülbelül 3,2 millió fogyasztó közül 2,2 millió esetben még hétfő reggelre (2011.10.31.) sem állt vissza a rend, legtöbbjüknel 5 nap után, azaz a hétvégére sikerült visszakapcsolni az áramszolgáltatást. A helyreállítás ütemét lassították a továbbra is fennálló, rendkívüli időjárási körülmények, hiszen az erős szél miatt nehezen lehetett megközelíteni az egyes távvezetékeket.

3. táblázat: Az áram nélkül maradt fogyasztók száma az egyes államokban

Település	Kiesett fogyasztók száma
Massachusetts	670.000
New Jersey	600.000
New Hampshire	290.000
Connecticut	287.943
Pennsylvania	214.000



5. ábra: A 2011. októberi hóviharban érintett, átviteli hálózati hiba miatt áram nélkül maradt fogyasztók száma az egyes napokon [5]

2.1 Időjárási körülmények

Mivel ekkora számú fogyasztói kiesést okozott a 2011. októberi hóvihár, nagy érdeklődés övezte az okokat vizsgáló bizottság tanulmányát, amelynek címe: „Report on Transmission Facility Outages During the Northeast Snowstorm of October 29-30, 2011 – Causes and Recommendations”. A vizsgálatot az USA Szövetségi Energiaügyi Szabályozási Bizottsága (FERC, Federal Energy Regulatory Commission) és az Észak-Amerikai Villamossági Megbízhatósági Tanács (NERC, North American Electric Reliability Corporation) végezte, akik kitértek a vihar okozta károk következtében, a kis-és közepesfeszültségű hálózatokon kialakult üzemzavarok okaira, majd ajánlásokat tettek a jövőre nézve.

Ebben a beszámolóban is említésre került, hogy az időjárás-jelentések már 2011. október 27-én, csütörtökön arról szóltak, hogy egy szokatlan vihar fog lesújtani New England és a Közép-atlanti államok területére szombaton, október 29-én. Az is elhangzott, hogy rövid idő alatt akár 15 inch (közel 40 cm) csapadék is hullhat majd a késő délutáni, esti órákban. A közszolgáltatói vállalatok már ekkor elkezdtek felkészülni a nem mindennapi viharra, készenlétbe állították alkalmazottaikat.



6. ábra: A National Weather Service által előre jelzett lehulló csapadék mennyisége a területen

Október 29-én, szombaton valóban el is kezdett hullani a hó, ami itt is a keleti, nedvesebb és az északi, hidegebb légtömegek találkozásából alakult ki. Közel 150 éve nem tapasztaltak ilyen mértékű hóvihart, amelynek kapcsán körülbelül 2,5 láb (közel 80 cm) csapadékot mértek az USA egyes részein.

Kialakulásának okai között meg kell említeni, hogy az Amerikai Egyesült Államokat 2011-ben számos természeti katasztrófa sújtotta, ugyanis többek között ebben az évben, augusztus 20-28. között ért partot az Irene névre keresztelt hurrikán is, majd a Lee nevezetű is követte azt. Ez a későbbiekben szokatlanul meleg és csapadékos szeptember és október hónapokat eredményezett, így a területen fejlődő fák nem hullajtották le lombjaikat. A jelentés erre is kitért, ugyanis az átviteli hálózat meghibásodásának nagy részét olyan fák okozták, amiket a körülbelül 100 km/h erősségű szél könnyedén fel tudott kapni, hiszen gyökereik meggyengültek a nedves talajon.

Augusztus volt a 2011-es év legcsapadékosabb hónapja az USA számára. A hosszan megmaradó nedves légtömeg okozta az amerikai partokon lesújtó hóvihart, ami keveredett a közel fagyos levegővel.

2.2 Károk és helyreállítás

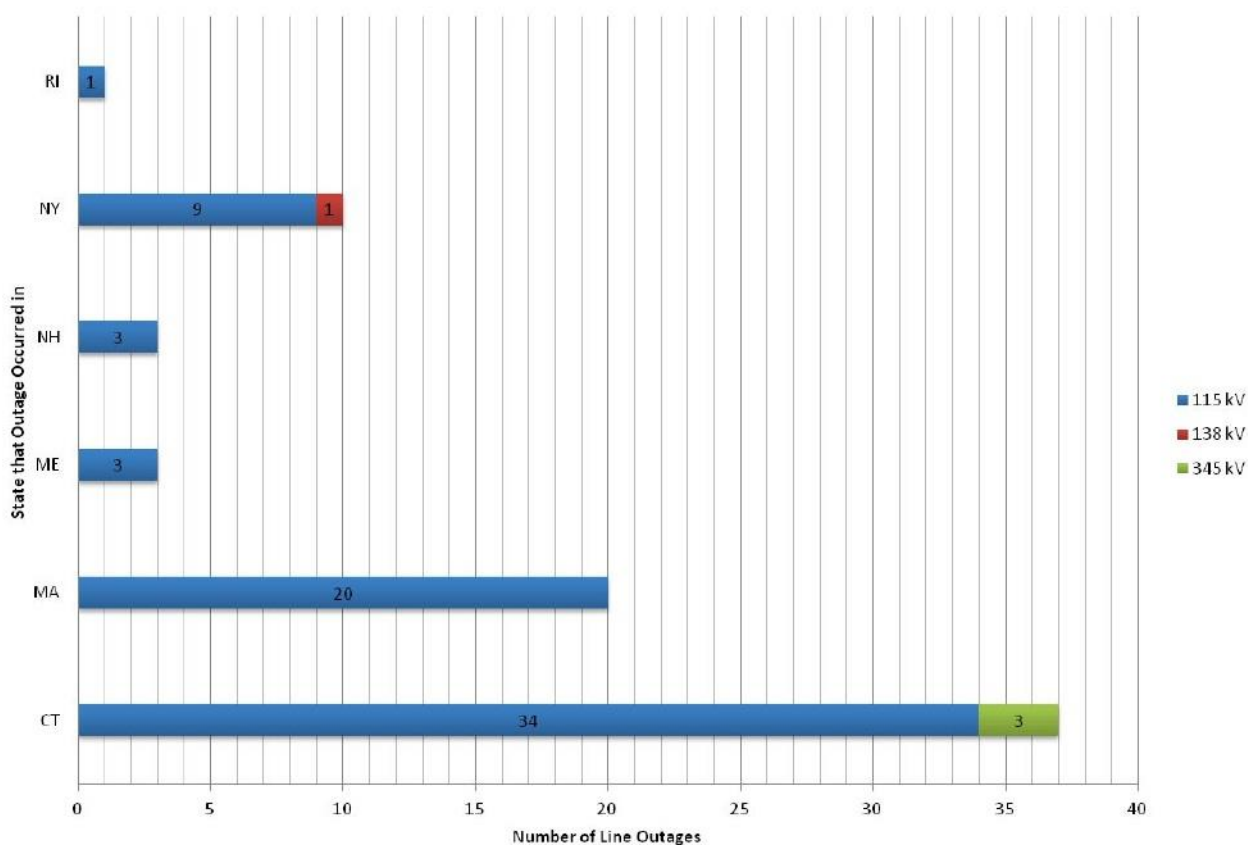
A FERC és a NERC együttműködése során megvizsgálta a keletkezett üzemzavarok kialakulásának okait. Az átviteli hálózat vezetői közül az amerikai 115 kV-os rendszeren esett ki a legtöbb: a 74 távvezeték közül 70 ezen a feszültség szinten működött, egy a 138 kV-os szinten, és a maradék három a 345 kV-os hálózaton.

A távvezeték a villamosenergia-rendszernek egy olyan eleme, amely az erőművekben megtermelt villamos energiát eljuttatja az alállomásokhoz, majd végérvényben további távvezetéseken keresztül a fogyasztókhoz. Éppen ezért egy vezeték kiesése az átviteli hálózaton üzemzavart okozhat az alállomásokban is. Így lehet, hogy 44 alállomásról jelentettek hibát az októberi hóvihár alatt vagy után.

Az alállomások kiesésével, mivel azok utána továbbítják a fogyasztókhoz a megfelelő mennyiségű villamos energiát, rengeteg ügyfélnek kellett várnia a helyreállítási munkálatok befejezésére.

A legnagyobb kieséseket Connecticut államban, Connecticut River Valley területén regisztrálták, azonban egy féltucatnyi államot, Connecticut, Maine, Massachusetts, New Hampshire, New York és Rhode Island területét érintette a hóvihár által okozott súlyos üzemzavari helyzet.

Line Outages by State and Voltage Level



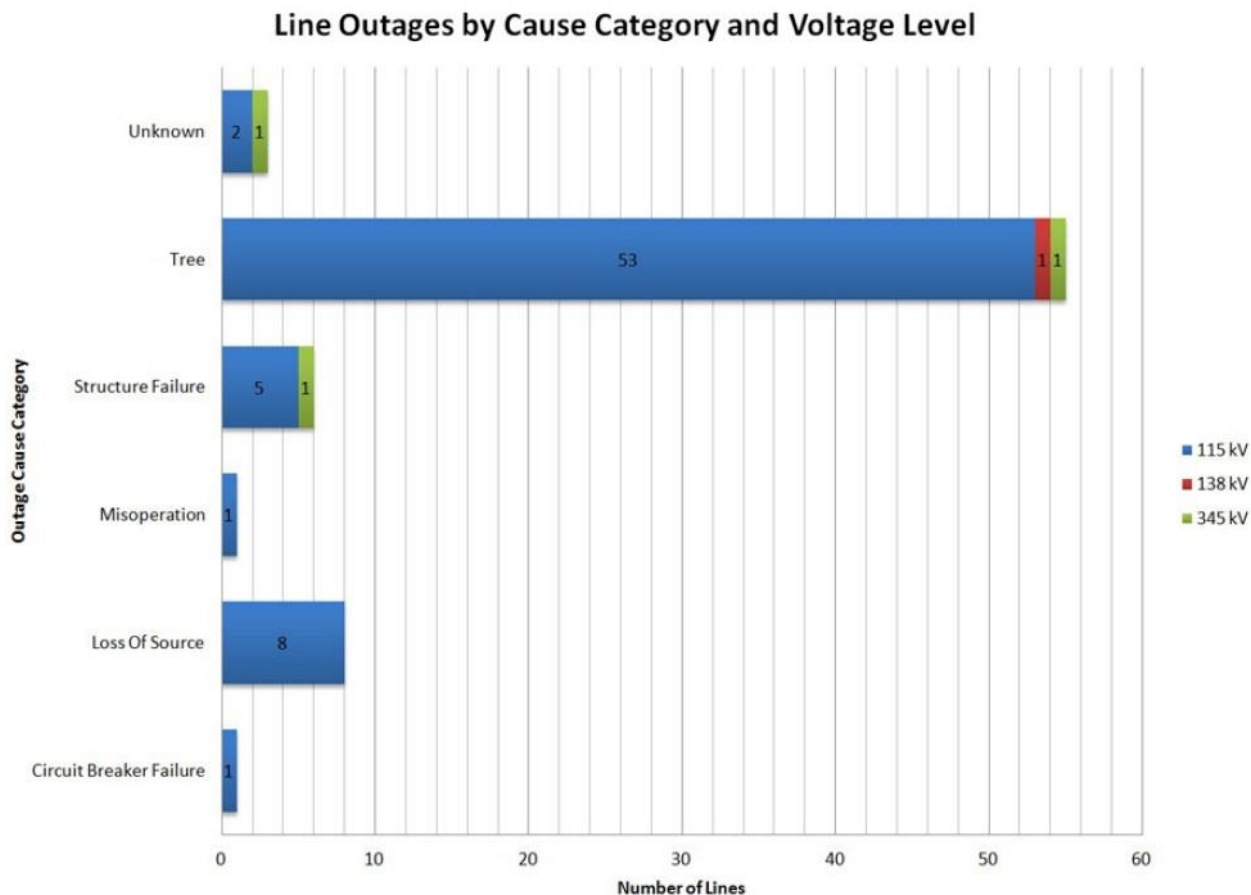
7. ábra: A kiesett távvezetékek megoszlása államok és feszültség szintek szerint [5]

A helyreállítás során, a magyarországi esethez hasonlóan, jelen esetben is egy prioritási listát állítottak fel, ami alapján a javítandó távvezetékek osztályozásra kerültek. Ebben a következő szempontokat vették figyelembe:

- 1) távvezeték, aminek a helyreállításával egynél több alállomás is helyreállítható lenne,
- 2) távvezeték, ami egy alállomásra van hatással,
- 3) 345 kV-os vonal,
- 4) távvezeték, ami egyetlen betáplálással csatlakozik az alállomáshoz, így ha a vonal kiesik, úgy az állomás is, és vele együtt az általa táplált fogyasztók is kiesnek,
- 5) minden más távvezeték szakasz.

A tanulmány készítése során azt is megvizsgálták a szakértők, hogy milyen okok milyen arányban játszottak közre abban, hogy ilyen súlyos helyzet alakuljon ki az USA keleti államaiban. A legtöbb esetben az átviteli hálózat egyes szakaszai kiesésének oka a vezetékekre dőlt fa volt. A 8. ábrán jól látható, hogy 53 üzemzavar a 115 kV-os hálózaton, és 1-1 a 138, illetve 345 kV-os hálózatokon keletkezett a kidőlt, hatalmas fák miatt. Sajnálatos módon ez betudható az Irene nevű

hurrikán által hagyott nyomoknak, hiszen a talaj túlságosan nedves volt, így elvesztette a stabilitását, valamint a 100 km/h sebességű szélnek is köszönhető, ami képes volt akár több tíz méter magas fákat is kicsavarni a földből.



8. ábra: A sérült távvezetékek megoszlása feszültség szint és a sérülés oka szerint [5]

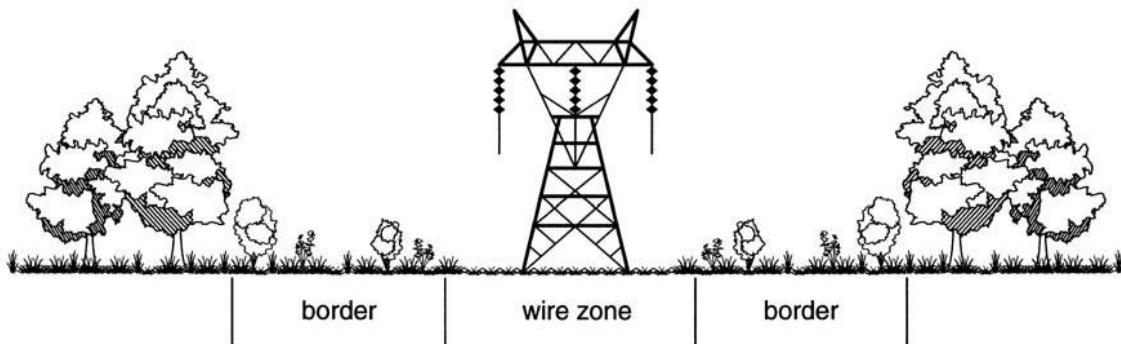
Az alábbiakban a tanulmányban található okokat fogom összefoglalni, amelyek között kitérek majd annak a néhány távvezeték-sérülésnek is az okaira, amelyekre még a szakértők sem tudtak megfelelő választ adni.

1. Fával kapcsolatba került távvezetékek

A 2003. augusztusi hatalmas üzemzavar¹ után számos intézkedés lépett életbe az Amerikai Egyesült Államok területén, ami a fakitermelés, illetve a magántulajdonban lévő zöld területek gondozására vonatkozik. Ezek közül a FAC-003-1 (Transmission Vegetation Management Program) nevet viselő standard kiemelendő, ugyanis ebben szabályozták azt, hogy az egyes távvezetékek közelében mi az a legkisebb távolság, ahol

¹ 2003. augusztus 14-én az Amerikai Egyesült Államok középnyugati és északnyugati részén, valamint Ontarióban (Kanada) egy közel 50 millió fogyasztót érintő üzemzavar alakult ki a túl magasra nőtt fák által okozott zárlat miatt.

engedélyezhető a növényzet szabad növekedése, és hol kell éves tervet készíteni arra, hogy hogyan szabályozza a terület tulajdonosa a fák növekedését.



9. ábra: A FAC-003-1 standard alapján meghatározott sávok a távvezetékek közelében [5]

2011. október 29-30. között a fák kapcsolatba kerülése a távvezetékekkel körülbelül 84.000 fogyasztó számára okozott kiesést a villamos energiához való hozzájutásban. Ezek közül 13.000 fogyasztó részére (15%), 12 átviteli hálózati vezetéken jegyezték fel az ilyen sérülést azon a területen belül, ami a szabályozás szerint karbantartást igényelt volna.

2. Szerkezeti hibák

Az üzemzavarokkal teli hétvége során a hőmérséklet 0°C körül volt, amely megteremtette a lehetőségét annak, hogy a víz és a hó rá tudjon fagyni a vezetékekre, aminek a súlya, egyesülve az erős szél okozta lökésekkel, számos esetben okozott sérülést a vezeték és az oszlop szerkezetében, szigetelők és kereszt-rudak törését. Ugyan a vihar során kidőlt, károsodott oszlopok több tízévesek voltak, néhány akár 50 évnél is idősebb, semmi jel nem utalt arra, hogy ezeket az oszlopokat a katasztrófa előtt karbantartani vagy javítani kellett volna.

Ebből az okból kifolyólag 6 távvezeték sérült, ami 32.000 fogyasztóra volt hatással.

3. Egyéb vagy nem ismert okok

- 8 távvezeték-szakasz fogyasztói azért nem jutottak villamos energiához, mert más távvezetékek kiestek, így a velük összeköttetésben lévők is hibát jelentettek. 16.000 ügyfél maradt így áram nélkül.
- Egy 115 kV-os vonalon okozott áramkimaradást egy védelem rossz működése körülbelül 5 óra időtartamra, ami azonban egy fogyasztót sem érintett. A védelem egy automatizált monitoring rendszer, ami képes kommunikálni a vonalon lévő megszakítókkal. Ebben az esetben egy kommunikációs hiba miatt nyitásra készítette az egyik megszakítót, ezzel okozva kiesést a távvezetéken.

- Egy másik esetben 4900 fogyasztó másfél óra időtartamra maradt áram nélkül, amikor egy megszakító beragadt. Ez a 115 kV-os vonal egy olyan távvezetékhez csatlakozott, ahol már kialakult a hiba, így a beragadt megszakító miatt itt is probléma alakult ki.
- Egy 345 kV-os és két 115 kV-os vonal azonban meghatározhatatlan okokból maradt ki a villamosenergia-rendszerből. A szakértők nem találtak károsodást az oszlopszerkezeteiken, nem tapasztaltak érintkezést a növényzettel, és annak sem volt nyoma, hogy bármely megszakító berendezés rosszul működött volna. A 345 kV-os vezeték miatt egy sem, azonban a két 115 kV-os szakasz miatt 3800 fogyasztó maradt áram nélkül 4-12 órára.

2.3 Ajánlások

A 2011. októberi, erős széllel kísért hóvihár számos véletlen körülménynek az összejátszása révén okozhatott ekkora mértékű kiesést Amerika keleti partjain. Nagyon ritkának számít az ilyen időjárás az évnek ebben az időszakában, ráadásul az sem mindennapi, hogy októberben még nem hullajtják le a leveleiket a fák.

A sok véletlen és ritka körülmény ellenére is a FERC és a NERC szakértői megtették ajánlásaikat, amelyet két csoportra osztottak: a növényzethez és annak gondozásához kapcsolódó megállapításokra, illetve az egyéb javaslatokra. Az észak-amerikai példa bemutatását ezeknek az ajánlásoknak a leírásával zárom.

2.3.1. A növényzet gondozásához kapcsolódó ajánlások

Mivel 2011 októberében a legtöbb üzemzavart azok a fák okozták, amelyek kapcsolatba kerültek a nagyfeszültségű átviteli és elosztó hálózati távvezetékekkel, így a tanulmányt készítő szakemberek erre tették inkább a nagyobb hangsúlyt.

2.3.1.1 A veszélyes távolságon belül növekedő fák eltávolítása

Az átviteli hálózaton tapasztalt kiesések körülbelül felét, az összes kieséseknek pedig majdnem 75%-t okozták a távvezetékekkel kapcsolatba kerülő fák.

A szakemberek azt javasolják, hogy az üzemeltetők készítsenek egy elemzést a hálózatról annak érdekében, hogy a veszélyesnek minősülő fákat azonosítani tudják, majd lépjenek kapcsolatba a tulajdonosokkal, állami szervekkel (attól függően, hogy az adott terület kinek a birtokában van), és együtt keressenek megoldást a növényzettel kapcsolatos kockázatok csökkentésére.

2.3.1.2 Best practice-k alkalmazása a határok meghatározásánál

A kiesések körülbelül 25%-t olyan fák okozták, amelyek rádőltek a távvezetésekre. Persze ehhez ismét sok körülménynek kellett egyszerre fennállnia, mint például az augusztusi hurrikánok által felázott talaj, aminek következtében a fák az erős szél hatására könnyen kidőlhettek.

A szakemberek javasolják az események után, annak érdekében, hogy a növényzettel kapcsolatos határokat pontosabban lehessen meghatározni, az olyan technológiák alkalmazását, mint például a GPS (Global Positioning System) rendszer.

2.3.1.3 Új távvezeték létesítések előle lefektetett szabályok alkalmazása

A tanulmány készítői javasolják továbbá, a jövőben létesítendő távvezetésekre vonatkozóan, hogy előre legyenek meghatározva a vezeték körüli határok, figyelembe véve a fák esetleges dőlését is.

2.3.2 Egyéb ajánlások

2.3.2.1 A felkészülés javítása és tervek előkészítése azonnali beavatkozásra

A szakemberek azt is javasolják, hogy az üzemeltetők, ha az előrejelzések alapján ezt lehet előre tudni, készüljenek fel az esetleges hasonló eseményekre, jelezzék az esetleges külső humán erőforrás igényüket (más államokból) az azonnali beavatkozás megkezdéséhez, továbbá rendelkezzenek a megfelelő eszközökkel a problémák azonosításához (például helikopter, kamera, stb.).

2.3.2.2 A növényzet által okozott üzemzavarok jelentése a NERC felé

Annak érdekében, hogy a jövőben születendő szabványok és döntések figyelembe tudják venni a növényzet által okozott üzemzavarokat, a szakemberek javasolják, hogy az üzemeltetők jelezzék az összes ilyen eseményt a NERC felé annak ellenére is, hogy a FAC-003-1 szabvány ezt nem követeli meg.

2.3.2.3 A zavarjelentések legyenek teljesek és egyértelműek

Mivel a 2011. októberi események után a körülmények nem voltak egyértelműen tisztázottak, és teljes kép sem alakulhatott ki még a tanulmány elkészüléséig sem, annak készítői javasolják, hogy minden jövőbeni hasonló esemény során keletkező jelentések egyértelműen megfogalmazottak, és a körülményeket teljes körűen leírják legyenek.

3. Rendkívüli üzemzavar Magyarországon, 2013. március 14-17.

Dolgozatom 3. fejezetében a 2013. márciusi súlyos üzemzavar hátterét, okait, és helyreállítási lehetőségeit fogom bemutatni. A megoldási javaslatok kidolgozásában az MVM OVIT Országos Villamostávvezeték ZRt. Távvezeték Tervezési és Technológiai Osztályán volt lehetőségem részt venni.

3.1 Az események ismertetése

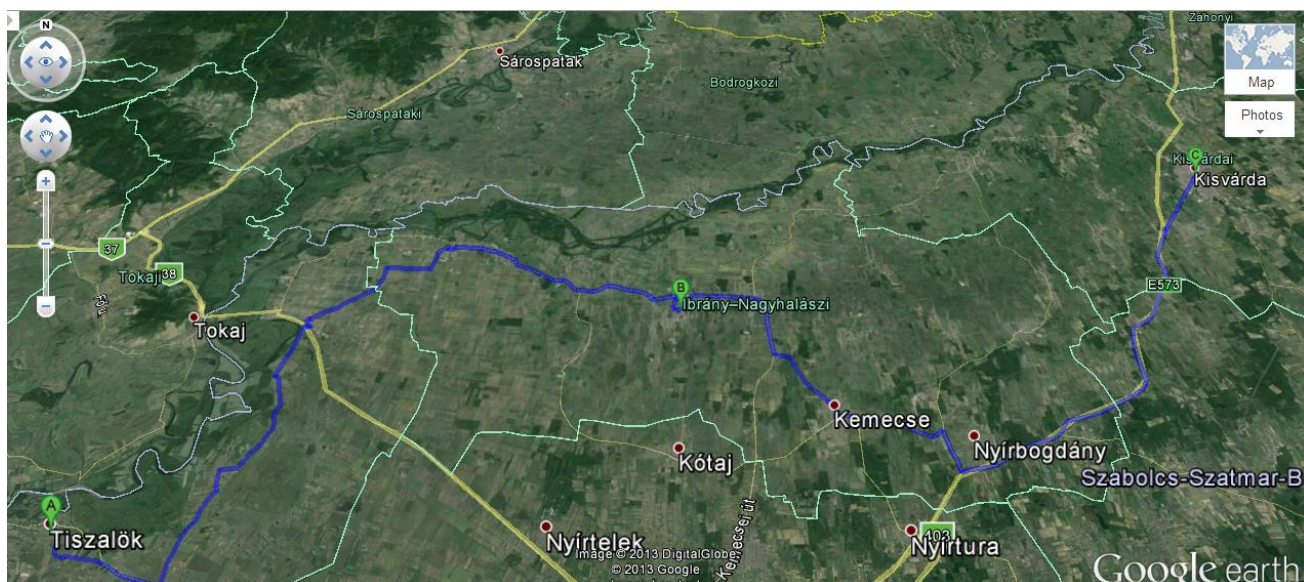
2013. március 14-én egy nedves légtömeget szállító ciklon következtében erős havazások kezdődtek Magyarország területén, amelyet rendkívül erős, néhol akár 90 km/h sebességű széllekedések kísértek. A közúti balesetek mellett ez nagy problémát okozott főképp az ország északkeleti részén a villamosenergia-ellátásban is, ugyanis több távvezeték megsérült, számos oszlop összedőlt, megrongálódott.



10. ábra: A Kisvárdai-Sajószöged és Munkács-Tiszalök 220 kV-os távvezeték vonalán kidőlt egyik oszlop

A hóviharak a legnagyobb kárt Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében okozták, ahol a leginkább érintett terület a Kisvárdai-Tiszalök közötti szakasz volt. Számos üzemzavart jelentettek a Kisvárdai-

Sajószöged és a Munkács-Tiszalök 220 kV-os, valamint a Munkács-Sajószöged 400 kV-os kétrendszerű vezetéseken, ahol a villamosenergia-átviteli és távközlési összeköttetések az időjárás következtében megszakadtak. Az általam vizsgált üzemzavari helyszín Ibrány térsége, ahol a legsúlyosabb károk keletkeztek, és amelynek az elhelyezkedése az 11. ábrán látható.



11. ábra: Ibrány és térsége

A mediterrán térségből érkező, és hazánk területén keresztülhaladó ciklon következtében az egész ország területére nagy mennyiségű csapadék, ónos eső, havas eső, hó hullott, amely az erős szél következtében több centiméter vastagságban ráfagyott a távvezeték sodronyokra. Ez a távvezetéseket közel 90°-ban (nyomvonalra merőlegesen) érő szellőkések következtében akkora mértékű többletterhet jelentett az oszlopszerkezetekre, hogy azok nem bírták az igénybevételt, és több helyen összeroskadtak. A helyszíni beszámolók alapján, valamint a másnap készült képek alapján csak becsülni lehet a jég vastagságát, amely ráfagyott a sodronyokra. Az MVM OVI Országos Villamostávvezeték ZRt. dolgozói 8-10 cm vastag jeget találtak a fázisvezetőkön, valamint hasonló vastagságú jég borította az OPGW kábeleket is, hiszen ezek úgy nevezett hideg vezetők, bennük nem folyik áram, így az általa keltett melegedés sem tudta meggátolni a csapadék fagyását.



12. ábra: A Munkács-Sajószöged 400 kV-os vonalon a távvezeték sodronyra fagyott, több centiméter vastag jég

Az itt található „Soroksár” típusú 220 kV-os osztott lábú tartóoszlopok (OT, lásd 3. ábra) oszlopsúcsa 85 oszlophelyen deformálódott, elcsavarodott, lehajlott. 6 egymás utáni tartóoszlop a 183-194-es feszítőoszlopok között olyannyira nem bírta a többletterhet, hogy azok kidőltek. Megsérültek továbbá a védővezetők, OPGW kábelek, így szakadtak meg a távközlési összeköttetések a területen, valamint jelentős károsodást szenvedtek a távvezetéken található kompozit szigetelők is: eltörték, elhajlottak, illetve deformálódtak. [6]

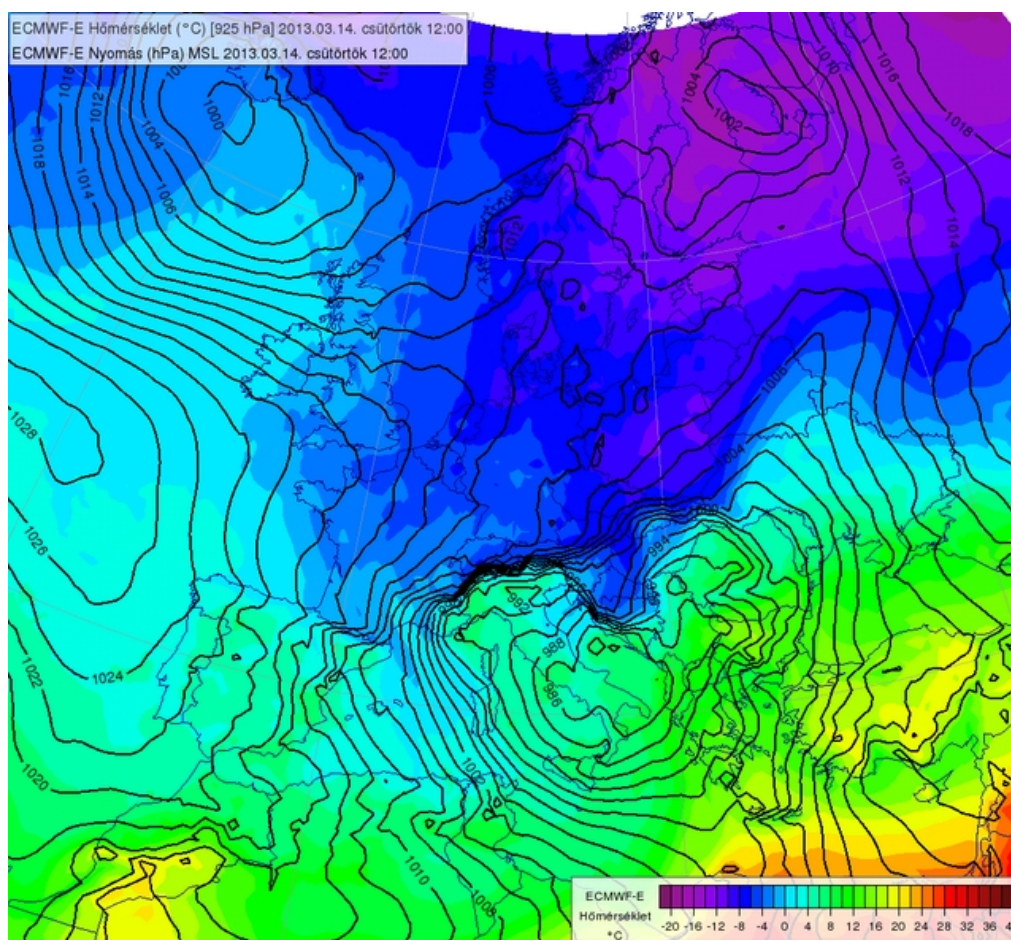
4. táblázat: A márciusi időjárás következtében megsérült oszlopok és a károsodás mértéke a vizsgált területen

Oszlophelyek	Károsodás mértéke
186., 187. sz. OT+0 és OT-3 tartóoszlopok	törzsközéptől lehajlott
188., 189. sz. OT+0 oszlopok	teljes egészében kidőltek, de alapjaik felhasználhatók az új oszlopok számára
190., 191. sz. OT+0 oszlopok	évek óta víz alatt álló területen találhatóak, teljes egészében kidőltek, alapcsönkjeik is megsérültek
94-185. sz. és 192-222. sz. oszlopok	a védővezetőt tartó oszlopsúcsok rongálódtak (egy esetben feszítőoszlopon)

3.1.1 Időjárás [7]

A 2013. március 15-i hosszúhétfője most a rendkívüli időjárásról is emlékezetes maradt. Emberek százai, ezrei rekedtek autóikban az autópályákon, utakon, de voltak, akik el sem tudtak indulni úti céljuk felé.

A farkasordító hideget egy, a mediterrán térségből, a Földközi-tenger medencéjéből érkező ciklon okozta, amely az észak-európai hideg és az afrikai meleg légtömegek között jött létre. Normális esetben, ha nem erről a területről éri el az országot egy hasonló ciklon, nem okoz problémát, csupán biztosítja a megfelelő mennyiségű csapadékot, azonban jelen esetben a Földközi-tenger felett erős felhő és csapadékképződés kezdődött. Túl nagy problémát még ez sem jelentett volna, ha csak a kialakító tényezők között nem szerepelt volna a jet-stream, ismertebb nevén magassági futóáramlás, az egész északi féltekére kiterjedő szélcsatorna, amely felerősítette és gyorsan mélyítette a ciklon hatásait. A ciklon belsejében gyorsan csökkent a légnyomás, ami köszönhető annak is, hogy a jet-stream a fejlődő ciklon közelében volt a legerősebb.



6. ábra: A tengerszinti légnyomás (folytonos vonal) és a 850 hPa szint hőmérsékleti mezeje (színezett területek) [7]

A légtömeg már március 13-án betört az országba, akkor még csak a déli megyéket érte el Horvátország felől. Északnyugatról azonban hideg levegő érkezett a területre, amely azt eredményezte, hogy heves havazások kezdődtek a Dunántúlon.

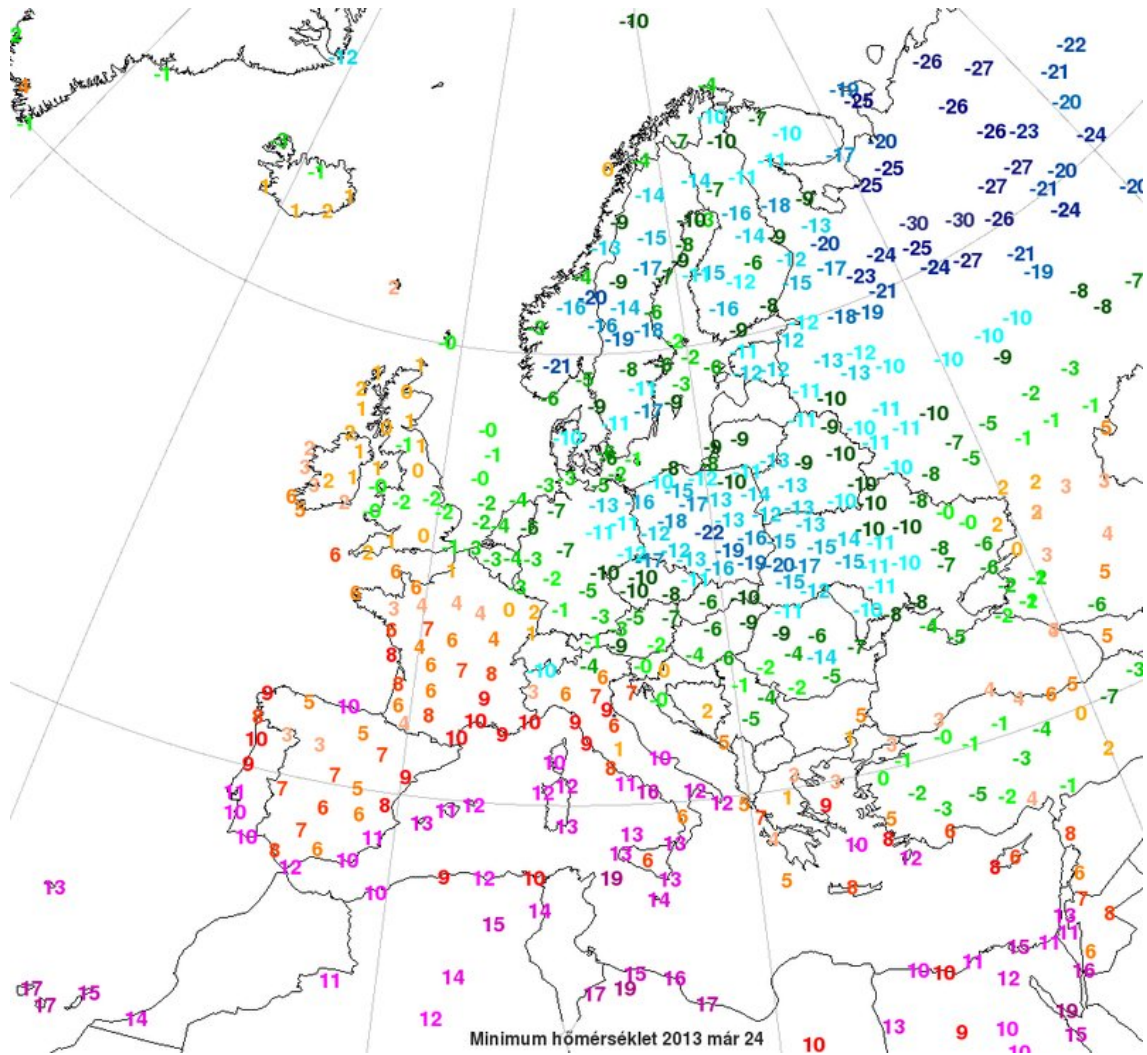
Később a ciklon és a nedves, hideg, északról érkező levegő találkozása okozta Magyarország északkeleti térségében azt az extrém időjárási helyzetet, amik sorozatos üzemzavarokhoz vezettek. A ciklon a folyamatos délnyugati szélnek köszönhetően tartósan utánpótláshoz jutott, így egész hétvégén súlyosbodtak a körülmények, jelentettek újabb és újabb vezetékszakaszkieséseket, valamint a helyreállítási munkálatok sem tudtak kellő intenzitással megkezdődni.

A legnagyobb problémaforrást az erős szél, a hófúvások okozták. Az egész hétvégén hulló nedves hótömegek és az orkán erejű, néhol akár 90 km/h sebességű szél – a lecsökkent látótávolság miatt – több balesetet is okozott, és nagy ütemben épített hatalmas hótorlaszokat, illetve a csapadék a távvezeték-sodronyokon is gyorsan megtapadt.

Közben Oroszország nyugati területeiről és a Balti államok felől rendkívül hideg, kontinentális levegő érte el az országot, így több hidegrekord is megdőlt a területünkön. 2013. március 16-17-én Magyarország lakói a tél leghidegebb hétvégéjét vészték át, ugyanis március 16-án, Nyírlugoson dőlt meg az eddigi legalacsonyabb minimum hőmérséklet: $-13,0^{\circ}$ -ról (1932, Baja) - $14,2^{\circ}$ -ra módosult.

A leghidegebb reggelre Vásárosnamény lakói ébredhettek március 17-én, ahol éppen a 2012-es nyírlugosi reggeli minimum rekordját múlták felül egy tized fokkal, így lett $-18,2^{\circ}$ a legalacsonyabb érték, míg Budapesten a napi minimum új rekordja a pestszentlőrinci és Ferihegyen mért $-7,1^{\circ}$.

Az időjárás szélsőséges értékeinek mérése és rögzítése a XX. század elején kezdődött, hiszen az Országos Meteorológiai Szolgálat 1901-től kezdődően kezdte vizsgálni az egyes területek legnagyobb és legkisebb értékeit.



7. ábra: A március 24-i minimum hőmérsékletek (°C) Európában és Észak-Afrikában [7]

Március további részében sorra dőltek a hideg- és hóvastagságrekordok, a télies idő nem akart távozni. Országszerte előforduló esőről, havas esőről, havazásról számoltak be a Meteorológiai Szolgálatnál, a hónap maradék részében továbbra is 100%-os valószínűséggel számítottak csapadékra az ország egész területén, valamint folyamatosan dőltek meg a napi maximum hőmérsékletek minimum- és az országos napi minimum hőmérséklet rekordok (ld. 5. és 6. táblázat).

5. táblázat: A maximum hőmérsékletek minimuma 1901 óta [°C] [7]

	Összes OMSZ állomás 1901-2012	500 m alatti állások 1901-2012	Összes OMSZ állomás 2013	500 m alatti állások 2013
03.25.	-4,8 Szécsény 1998.	0,2 Pécs Pogány 1962.	-5,5 <i>Kékestető</i>	-3,0 <i>Szentgotthárd Farkasfa</i>
03.26.	-4,2 Kékestető 1962.	-0,6 Tés 2004.	-7,0 <i>Kékestető</i>	-3,6 <i>Tés</i>
03.27.	-3,1 Kékestető 1993.	-0,2 Tés 2004.	-5,2 <i>Kékestető</i>	-2,7 <i>Tés</i>
03.28.	3,1 Kékestető 2001.	-0,4 Budapest, Széchenyi- hegy 1993.	-4,9 <i>Kékestető</i>	-0,8 <i>Tés</i>

6. táblázat: Országos napi minimum hőmérséklet rekordok 1901 óta [°C] [7]

	Összes OMSZ állomás 1901-2012	Összes OMSZ állomás 2013
03.25.	-9,9 Szécsény 1998.	-11,5 <i>Kékestető</i>
03.26.	-9,7 Szécsény 1998.	-9,3 Kékestető
03.27.	-10,0 Dobogókő 1918.	-8,6 Kékestető
03.28.	-11,4 Nyíregyháza 1918.	-9,6 Iklódbördőce

Természetes, hogy az ilyen szélsőséges körülmények nem csak az embereket, hanem használati eszközeinket, de még a távvezetékeinket is megviselik. Dolgozatom következő fejezetében a március 14-17. közötti időszakban kialakult súlyos helyzetről, annak a villamosenergia-rendszerre ható következményeiről fogok írni.

3.2. A távvezeték oszlopokra ható, sodronyokról átadódó terhelések [8]

3.2.1. Szél- és pótteher számítás

Az időjárási adatok összegyűjtése után az MSZ-151-1 szabvány alapján kiszámoltam, hogy mekkora szél- és pótteher hatott az egyes oszlopokra.

Az említett szabvány alapján:

- **póttehernek** nevezzük a szabadvezeték szerkezeti részein lerakódó zúzmara, jég, hó, ónos eső, tapadó hó erőhatásait leképező, számítás céljaira felvett, függőleges irányú járulékos erőt,
- **mértékadó póttehernek** azt a pótterhet nevezzük, amely a vezetőkben a legnagyobb megengedett (a méretezésnél alapul vett) húzófeszültséget létrehozza,
- **széltehernek** nevezzük azt az erőt, amely a szabadvezeték vezetőire és tartószerkezetére a szél által kifejtett statikai és dinamikai hatásokat helyettesíti méretezés céljára,
- **rendeltetésszerű terhelésnek** nevezzük azoknak, az oszlopra ható erőknek az összességét, amelyek a rendeltetésszerű üzemi viszonyok között fellépnek,
- **rendkívüli terhelésnek** pedig az oszlopra ható és a rendeltetésszerű terheléstől eltérő olyan erőhatást, amely rendkívüli esetekben lép fel.

A későbbiekben bemutatásra kerülő ábra (12. ábra) egyszerűsített formában bemutatja, hogy ezek az erők hogyan hatnak az egyes vezetőkre. A függőleges irányú pótteher és a vízszintes irányú (a legrosszabb esetet vizsgálva) szélteher együttesen terheli az oszlopot, ha pedig a vezetőkre lerakódik valamelyik csapadéktípus, az erőhatás mértéke több nagyságrenddel is növekedhet.

3.2.1.1. Pótteher

Az MSZ-151-1 szabvány alapján a csupasz vagy burkolt vezető mértékadó pótterhét a következő képlet segítségével kell számítani:

$$z = 3,25 + 0,25d$$

ahol:

z: a pótteher [N/m]

d: a csupasz vagy burkolt vezető külső átmérője [mm].

Ez alapján végeztem el a számításokat a „Soroksár” típusú oszlopok vezetőire. Ez a kétrendszerű háromfázisú távvezeték szakasz 2x3x350/50 ACSR típusú fázisvezető és 1x95/55 ACSR védővezető által előidézett terhelés hordozására van méretezve. Ezek átmérői 26,1 mm, illetve 16 mm.

1. A mértékadó pótteher számításához tehát alapesetben a fenti képletet alkalmaztam:

$$z_1 = 3,25 + 0,25 \cdot 26,1 = 9,775 \text{ N/m, illetve}$$

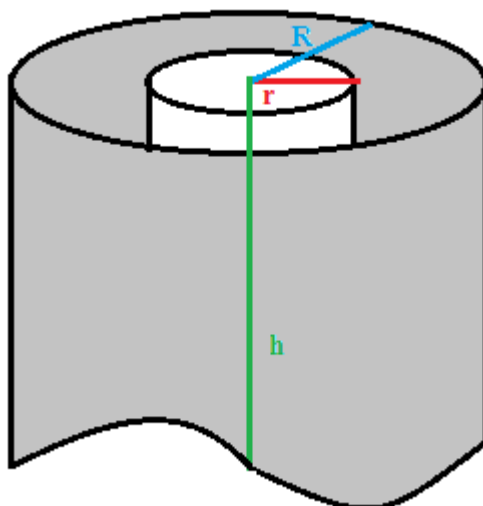
$$z_2 = 3,25 + 0,25 \cdot 16 = 7,25 \text{ N/m}$$

Értékeket kaptam az egyes vezetők egy méteres szakaszait vizsgálva. Ahhoz, hogy ezekből az eredményekből megkapjuk a teljes oszlopra ható erő nagyságát, a fázisvezetőkre vonatkozó z_1 mennyiséget hatszor, a védővezetőre vonatkozót egyszer kell figyelembe venni, majd az egészet 350 méterrel kell megszorozni, hiszen a „Soroksár” típusú 220 kV-os oszlop esetén a névleges oszlopköz 350 m, így pótteher esetén minden oszlop a vezetők 350 méteres szakaszának terheit viseli. (Mivel a tartószerkezetek gyakorlatilag sík terepen helyezkednek el, a szél- és súly-oszlopköz megegyezik, így alkalmazható a fenti számítás.)

Így adódik, hogy a mértékadó pótteher összességében, amit a távvezeték oszlopot méretezésekor a sodronyra rakódó terhelésként figyelembe vettek:

$$z_{\text{összes}} = 350 \cdot (6 \cdot 9,775 + 7,25) = 23\,065 \text{ N} = \mathbf{23,065 \text{ kN}}$$

2. A normál pótteher mértékét jóval meghaladó, extrém vastagságú jéggel terhelt esetben azonban a pótteher számítása során a vezetőre rakódott csapadék térfogatát vesszük figyelembe: kiszámolva az extrém jéggel borított vezető 1 méteres szakaszának a térfogatát (R sugárral, lásd 8. ábra), majd a jég nélküli vezető 1 méteres szakaszának a térfogatát (r sugárral, a vezető átmérőjének fele), a kettő különbségéből megkapjuk a vezetőre rakódott jég térfogatát. Ezt az értéket megszorozzuk $0,8 \text{ kg/dm}^3$ -rel (800 kg/m^3), ami szintén az MSZ 151-1 szerint a jégréteg figyelembe veendő fajsúlya, így megkapjuk, hogy hány kilogramm jég rakódott az egyes vezetők 1 méteres szakaszára. Ismét figyelembe vesszük, hogy 6 fázisvezetőnk és egy OPGW védővezetőnk van, majd a 350 méteres oszlopközrel is megszorozzuk a kapott értéket.



8. ábra: Póttéher számítása jéggel terhelt vezető esetén

Fázisvezető esetén:

$r = 13,05 \text{ mm} = 0,013 \text{ m}$, ebből a vezető térfogata jégteher nélkül:

$$v = r^2 \cdot \pi = 0,013^2 \cdot \pi = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$R = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$, amiből pedig a jéggel terhelt vezető térfogata:

$$V = R^2 \cdot \pi = 0,05^2 \cdot \pi = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

A kettőt egymásból kivonva megkapjuk a vezetőt borító jég térfogatát:

$$V_{\text{jég}} = V - v = 7,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Ezt megszorozva a jégsűrűség 800 kg/m^3 -es értékével $5,86 \text{ kg}$ -t kapunk. A távvezeték 350 méteres oszlopközét vizsgálva, 6 fázisvezető esetén így a jégterhelés:

$$Z_{\text{fázisvezető}} = 350 \cdot 6 \cdot 5,86 = 12\,306 \text{ kg}, \text{ ami } \mathbf{123 \text{ kN}}$$
-nak felel meg.

Védővezető (OPGW) esetén:

A védővezetőre ható erőt extrém mennyiségű jéggel terhelt esetben az $59/25$ ACSR típusú OPGW kábelre számoltam, ugyanis a távvezeték-szakasz ugyan a $95/55$ ACSR típusú védővezető terhelésére volt méretezve, de jelenleg a vékonyabb típusú optikai védővezető szálát tartalmazó sodrony található az oszlopokon.

$r = 6,3 \text{ mm} = 0,0063 \text{ m}$, ebből a vezető térfogata jégteher nélkül:

$$v = r^2 \cdot \pi = 0,0063^2 \cdot \pi = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$R = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$, amiből pedig a jéggel terhelt vezető térfogata:

$$V = R^2 \cdot \pi = 0,04^2 \cdot \pi = 5,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

A kettőt egymásból kivonva megkapjuk a vezetőt borító jég térfogatát:

$$V_{\text{jég}} = V - v = 4,905 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Ezt megszorozva a jégsűrűség 800 kg/m^3 -es értékével $3,924 \text{ kg-t}$ kapunk. A távvezeték 350 méteres oszlopközét vizsgálva,:

$$Z_{\text{védővezető}} = 350 * 3,924 = 1373,4 \text{ kg, ami } \mathbf{13,73 \text{ kN-nak}} \text{ felel meg.}$$

Összességében tehát, extrém mennyiségű jéggel terhelt esetben a távvezetékoszlopra a következő pótteher hat:

$$Z_{\text{összes}} = 123 \text{ kN} + 13,73 \text{ kN} = \mathbf{136,73 \text{ kN.}}$$

Az eredmény egyértelműen megmutatja, hogy a fényképek és helyszíni beszámolók alapján megválasztott 100 mm átmérőjű fázisvezető (körülbelül 80 mm vastagságú lerakódott jég), és körülbelül 80 mm átmérőjűnek (körülbelül 65 mm vastagságú lerakódott jég) megválasztott optikai szálakat tartalmazó védővezető kábel hatszoros nagyságú terhet jelentett a kritikus területen található „Soroksár” típusú oszlopokra.

3.2.1.2 Szélteher

A szélteher számításához ugyancsak az MSZ-151-1 szabványban leírtakat használtam fel, ami szerint a felületre ható szélterőt a következő képlet segítségével kell számítani:

$$\mathbf{F = \alpha \cdot c \cdot p \cdot A \cdot \sin\varphi}$$

ahol:

F: a szélterő [N] (a felület normálisának irányában értelmezve),

α : a szélterőt annak egyenlőtlensége miatt csökkentő tényező, a vezetőre ható szélterő számításához értéke $0,75$, minden más esetben 1 ,

c: a szél érte felület alakjának és minőségének, továbbá a szívó- és örvénylő hatásoknak a befolyását kifejező alaki tényező, amelynek értékét az 7. táblázat tartalmazza,

p: a torló nyomás [N/m^2], értékét a 8. táblázat tartalmazza,

A: a szélnek kitett felület [m^2],

φ : a szélnek kitett felületnek a szél irányával bezárt szöge.

7. táblázat: Az alaki tényező (c) értékét vezetők esetében a következők szerint kell figyelembe venni

12 mm átmérőig	1,2
16 mm átmérőig	1,1
16 mm átmérő felett	1,0
burkolt vezető	1,0

Mivel a Munkács-Sajószöged 220 kV-os kétrendszerű távvezetéken a fázisvezetők átmérője 26,1 mm, míg a védővezetőé 12,6 mm (eredetileg 16 mm átmérőjű védővezetőre volt méretezve), így előbbi esetében c értékét 1-nek vesszük, míg a védővezetőnél 1,1-nek (az eredeti sodrony és a jelenlegi OPGW kábel is ugyanabba a kategóriába esik).

A torló nyomás (p) értékét $[N/m^2]$ a következő képlet segítségével kell kiszámítani:

$$p = v^2/1,6$$

ahol: v a sebesség m/s dimenzióban.

A szabványban a 8. táblázatban található értékek szerepelnek, amelyek 120 km/h (33,3 m/s) erősségű szélre vonatkoznak. A fenti képlet alapján számolva $694,4 N/m^2$ -t kapunk, ami megfelel a táblázat 2. sorának, ahol 25 m és 60 m közötti magasságokat vesz figyelembe a vezetők esetén. Mivel a „Soroksár” típusú oszlop összesen 43,5 m magas, a vezetők pedig az említett intervallumba esnek, így vehetjük figyelembe a szélteher számításakor a $700 N/m^2$ -es értéket.

8. táblázat: A p torló nyomás értéke a vezető terepszint feletti legnagyobb magassága alapján [8]

Az alkatrész terepszint feletti magassága [m]	Torló nyomás $[N/m^2]$
25-ig	600
25 felett, 60-ig	700
60 felett, 100-ig	900
100 felett, 150-ig	1150
150 felett, 200-ig	1300

A fenti, szélteherre vonatkozó képlet alapján elvégeztem a számításokat először az alapesetre, a 120 km/h sebességű szélre, jégteher nélküli és azzal extrém módon terhelt vezetők esetére is.

Fázisvezető esetén:

Jégteher nélkül az átmérő:

$$d_1 = 26,1 \text{ mm, amiből a szélnek kitett felület } A_1 = 26100 \text{ mm}^2 = 0,0261 \text{ m}^2$$

$$F = \alpha c p A \sin\varphi = 0,75 * 1 * 700 * 0,0261 * 1 = \mathbf{13,7 \text{ N}}$$

ahol:

$$\alpha = 0,75$$

$$c = 1, \text{ az 7. táblázat alapján}$$

$$p = 700, \text{ a 8. táblázat alapján}$$

és $\varphi = 90^\circ$, ezzel a legrosszabb esetet vizsgálva, amikor merőleges a szél iránya

A 13,7 N egy fázisvezető sodrony 1 méteres szakaszára vonatkozik, így 6 sodrony 350 méteres szakaszán a szélteher **28 770 N**.

Védővezető (OPGW) esetén:

Jégteher nélkül az átmérő:

$$d_2 = 16 \text{ mm, amiből a szélnek kitett felület } A_2 = 16000 \text{ mm}^2 = 0,016 \text{ m}^2$$

$$F = \alpha c p A \sin\varphi = 0,75 * 1,1 * 700 * 0,016 * 1 = \mathbf{9,24 \text{ N}}$$

ahol:

$$\alpha = 0,75$$

$$c = 1, \text{ az 7. táblázat alapján}$$

$$p = 700, \text{ a 8. táblázat alapján}$$

és $\varphi = 90^\circ$, ezzel a legrosszabb esetet vizsgálva, amikor vízszintes a szél iránya

A 9,24 N egy optikai szál tartalmazó védővezető sodrony 1 méteres szakaszára vonatkozik, így annak 350 méteres szakaszán a szélteher **3234 N**.

Ezek után kiszámoltam az egyes szélesebesség értékekhez tartozó torló nyomás értékeket, amelyet a 9. táblázat tartalmaz. Ezeket felhasználva kiszámoltam, hogy a 2013. március 15-i hétvégén mért 90 km/h sebességű szél mekkora terhet jelentett az oszlopokra.

9. táblázat: Az egyes szélesség értékekhez tartozó torló nyomás értékek

Szélesség [km/h]	Szélesség [m/s]	Torló nyomás [N/m ²]
120	33,3	693,05
110	30,56	581,4
100	27,78	483,025
90	25	390,625
80	22,2	308,025
70	19,44	235,225
60	16,67	174,3

90 km/h sebességű szél esetén:

Fázisvezető esetén:

Az extrém jégteherrel az átmérő:

$$d_1' = 100 \text{ mm, amiből a szélnek kitett felület } A_1' = 100000 \text{ mm}^2 = 0,1 \text{ m}^2$$

$$F = \alpha c p A \sin\varphi = 0,75 \cdot 1 \cdot 390,625 \cdot 0,1 \cdot 1 = \mathbf{29,3 \text{ N}}$$

ahol:

$$\alpha = 0,75$$

$$c = 1, \text{ az 7. táblázat alapján}$$

$$p = 390,625 \text{ a 9. táblázat alapján}$$

és $\varphi = 90^\circ$, ezzel a legrosszabb esetet vizsgálva, amikor vízszintes a szél iránya

Az 29,3 N egy fázisvezető sodrony 1 méteres szakaszára vonatkozik, így 6 sodrony 350 méteres szakaszán a szélteher **61523,4 N**.

Védővezető (OPGW) esetén:

Az extrém jégteherrel az átmérő:

$$d_2' = 80 \text{ mm, amiből a szélnek kitett felület } A_2' = 80000 \text{ mm}^2 = 0,08 \text{ m}^2$$

$$F = \alpha c p A \sin\varphi = 0,75 \cdot 1 \cdot 390,625 \cdot 0,08 \cdot 1 = \mathbf{23,44 \text{ N}}$$

ahol:

$$\alpha = 0,75$$

$$c = 1, \text{ az 7. táblázat alapján}$$

$$p = 390,625 \text{ a 9. táblázat alapján}$$

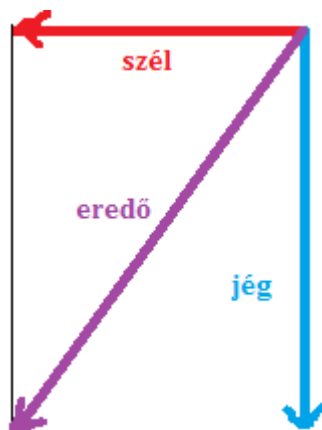
és $\varphi = 90^\circ$, ezzel a legrosszabb esetet vizsgálva, amikor vízszintes a szél iránya

A 23,44 N egy optikai szálát tartalmazó védővezető sodrony 1 méteres szakaszára vonatkozik, így annak 350 méteres szakaszán a szélteher **8203,12 N**.

Amint azt a számítások is mutatják, a jéggel terhelt sodronyok hatására, fázisvezetők esetén körülbelül kétszeres (2,1-szeres), az optikai szálát tartalmazó védővezető hatására pedig két és félszeres szélterhelés nehezedett az oszlopra.

3.2.1.3 A szél- és pótteher együttes hatása

Dolgozatom során a 3.2.1.1. és 3.2.1.2. fejezetekben kiszámoltam a távvezetési sodronyokra, rajtuk keresztül az oszlopokra ható pót- és szélterhet (extrém jéggel terhelt és terheletlen esetekre egyaránt), amelyek közül előbbi függőleges irányba terheli az oszlopot, míg utóbbit, a legrosszabb esetet vizsgálva, a sodronyra merőleges irányban vettem fel. (Az oszlopkidőlések esetén a tényleges szélirány közelítette a 90°-ot.) Mivel ezek márciusban együtt léptek fel, ezért kiszámoltam azokat az eredő erőket is, amelyek azt mutatják, hogy a sodronyokról a tartóoszlopokra átadódó terhelések milyen mértékben növekedtek meg, mielőtt a „Soroksár” típusú tartóoszlopok kiberultak volna.

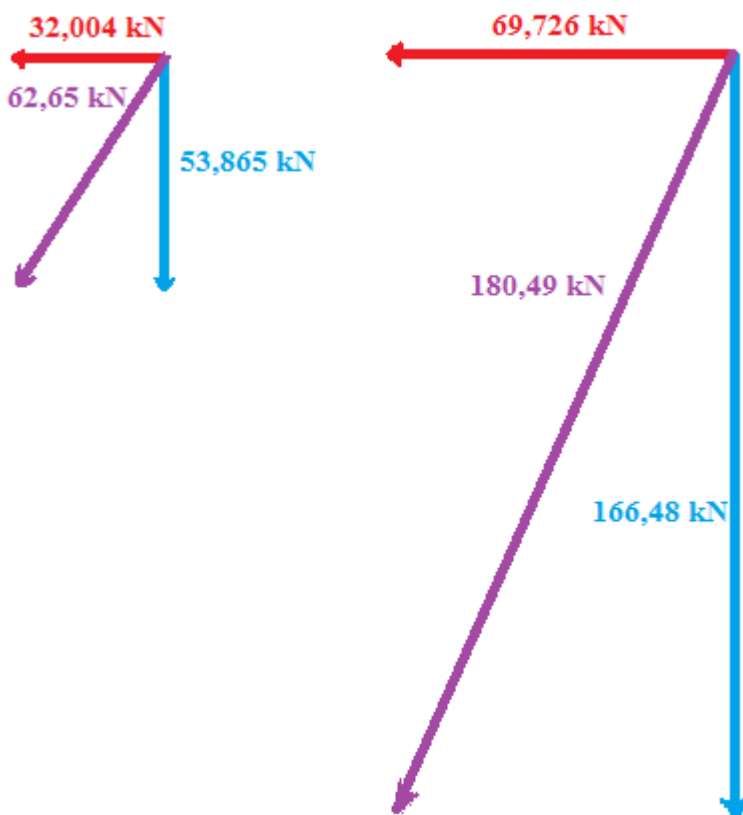


9. ábra: Vektorábrák a szél- és pótteher által okozott eredő terhelés kiszámítására

A szél- és pótteher együttes hatásának vizsgálata során összehasonlítottam az alapállapotot (mértékadó pótteherből + sodronyok önsúlyából adódó függőleges terheléssel és a 120 km/h sebességű szél okozta vízszintes terheléssel számolva) és az üzemzavar körülményeit (a pótteher 8-10 cm vastagságú jégterhelés + sodronyok önsúlya, 90 km/h sebességű széllel), amelyet a 10. ábra mutat be. Baloldalon az alapeset, jobb oldalon pedig az extra mennyiségű jéggel terhelt sodrony okozta oszlopra ható erők láthatóak.

Az ábra megmutatja, hogy az általánostól eltérve, a pótteherrel növelt sodronyátmérővel és 90 km/h sebességű széllel számolva, a szélterő ~2,2-szeresére növekszik, míg a mértékadó pótteher közel hatszorosára, így a távvezeték oszlopra ható eredő erő közel háromszorosára nőtt.

A távvezeték oszlopok méretezésére alkalmazott, 2013 áprilisáig érvényes MSZ-151 szabvány szerint ráadásul nem kell olyan teheresettel számolni, amikor együttesen lép fel a távvezetéken a szabvány alapján számolható szél- és pótteher is. Így a túlterhelés mértéke még a lenti ábrából leolvashatónál is nagyobb volt, hisz a szabvány szerint az eredő erőt a mértékadó szél és a sodronyok önsúlya adja, ami a pótterhet figyelmen kívül hagyva mindösszesen 44,41 kN-ra adódik. Így a sodronyokról az oszlopokra ható, azokat kidönteni akaró erő közel négyszerese volt a szabvány szerint számíthatónak. (A tervezéskor alkalmazott biztonsági tényezőt is figyelembe véve is több mint háromszorosa).



10. ábra: A szél- és pótteher együttes hatásának összehasonlítása

Fontos megjegyezni, hogy ekkora mértékű többletterhelést egyik oszloptípus sem lenne képes elviselni. A távvezeteki oszlopszerkezetek tervezése és méretezésekor ajánlott MSZ 151/3 szabvány nem számol a szél- és pótteher együttes fellépésével, azonban a márciusi eseményeket, és az előző fejezetben bemutatott, 2011-es, szokatlan időjárási körülmények miatt az USA-ban bekövetkező üzemzavari eseményeket vizsgálva lehetséges, hogy érdemes lenne a tervezés során figyelembe venni az egyszerre jelentkező pót- és szélterhet is.

Az utóbbi évek tapasztalata az, hogy időjárásunk egyre szélsőségesebb, így az elmúlt időszakban több példát is láthattunk arra az esetre, amikor a csapadékot erős szél kísérte. Ilyen példa a márciusi üzemzavari helyzetet okozó időjárás is. Jelenleg kidolgozás alatt áll az MSZ EN 50341-1:2001/A1:2009 szabvány nemzeti kiegészítése, azonban nem ismertek a részletei, így az sem, hogy alkotói kitérnek-e az ehhez hasonló terhelési esetekre is.

3.3 A terület [9]

Az általam vizsgált terület, a 190. és 191. oszlophelyek Ibrány-Kertváros külterületén találhatóak, Nyíregyházától mintegy 25 kilométerre, a Tisza mentén, a Rétköz nyugati felén. A folyószabályozások és lecsapolások előtt mintegy 140,000 hold, azaz 80500 hektár méretű lápvidék volt, sajátos állat-és növényvilággal. Az észak-alföldi peremsüllyedések közé tartozik, mélyebb területeit egész évben víz borította évszázadokon át, alapja pannontábla és az erre rárakódó hordalékkúp.

A talaj a 220 kV-os távvezetékek építésekor még száraz volt, azonban az utóbbi években megemelkedett a belvív szintje, az alapok vízben álltak, néhány helyen pedig a belvív magassága az acélszerkezetet is elérte.

A terület formája szerint kád alakúnak mondható, amelynek számos be- és kifolyási csatornája volt, azonban miután ezeket átvágták, a felgyülemlett csapadék és belvív nem tudott távozni, így felhalmozódott. A jövőre nézve egyértelműen nem jelenthető ki, hogy a mocsaras terület mérete nem fog növekedni, és az ellenkezője sem jelenthető ki teljes meggyőződéssel, így a helyreállítás során azt a szempontot is figyelembe kellett venni, hogy a probléma hosszú távon is megoldottá váljon.

3.4 Helyreállítási lehetőségek

A 220 kV-os kétrendszerű távvezeték több mint 42 kilométer hosszú, a viharok által érintett szakaszának körülbelül 800 méteres része mocsarasodott el, lefolyástalan területté vált az utóbbi években, a kidőlt oszlopok közül több is ezen a vizes területen állt az elmúlt időszakban. Már a kidőlt oszlopok kiemeléséhez is a Magyar Honvédség lánctalpas járműveire és helikopterekre volt szükség, ugyanis az oszlophelyek közötti járművekkel megközelíthetlenné váltak.

Az északkelet-magyarországi régióban az említett vonal jelentős szerepet tölt be mind a villamosenergia-elosztáshoz, mind a kereskedelemhez kapcsolódóan, illetve a térség távközlési összeköttetése is részben a távvezeték OPGW kábelének segítségével valósult meg, így helyreállítási munkálatok azonnal megkezdődtek. Március közepén, még napokig rendkívül erős volt a szél, amit a munkálatok befejezéséig elhelyezett ideiglenes távközlési kapcsolat sem bírt ki meghibásodás nélkül.

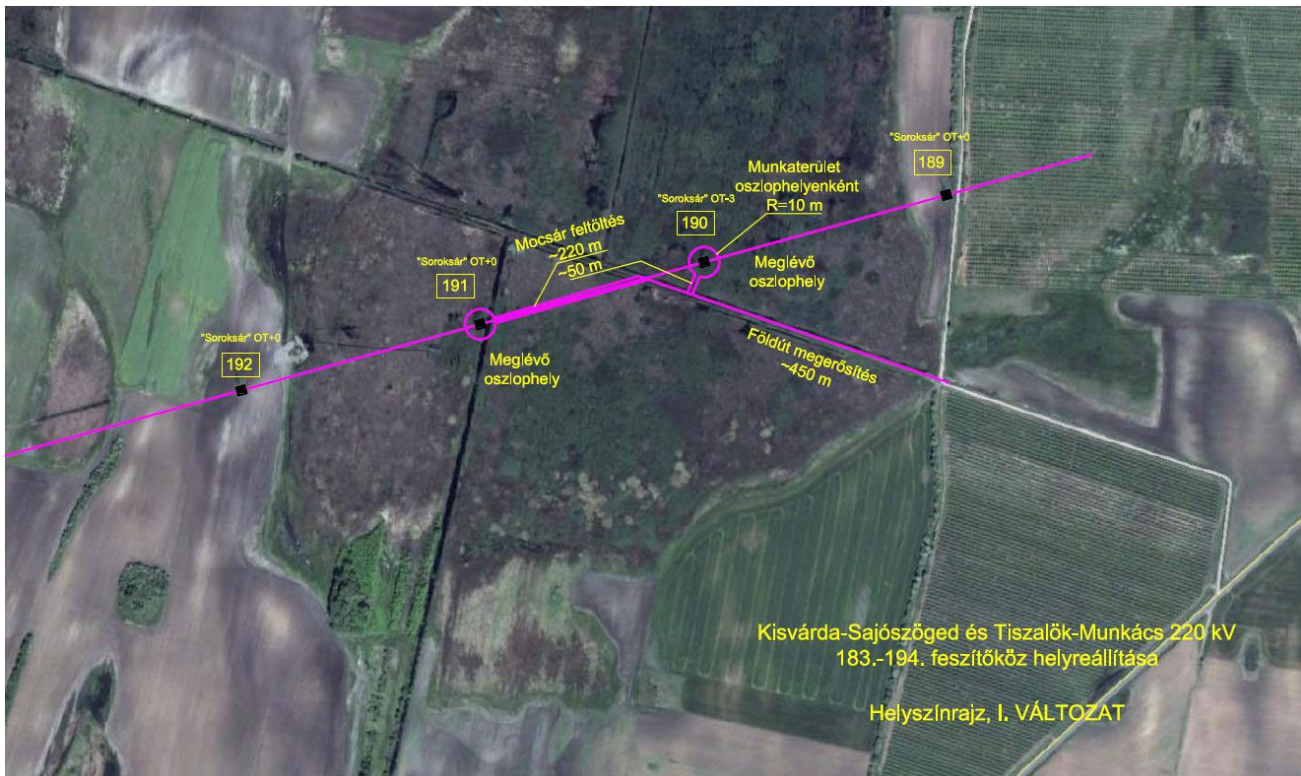
Az MVM OVIT Országos Villamostávvezeték ZRt. (MVM OVIT ZRt.) Távvezeték Tervezési és Technológiai Osztályával (TTTO) megvizsgáltuk a lehetséges opciókat arra vonatkozóan, hogyan lenne érdemes kijavítani a hibát. A gazdaságossági szempontok mellett a mocsaras terület érintettségét vettük figyelembe, így alakultak ki a következő lehetőségek.

3.4.1 A nyomvonal megtartása, az eredeti oszloptípus alkalmazása

Az első eset a legkézenfekvőbbnek tűnő megoldást mutatja: az eredeti nyomvonalon, a kidőltekkel azonos „Soroksár” típusú tartóoszlopokat kellene újjáépíteni. Ahogy a 11. ábra is mutatja, a 190. és 191. számú oszlopok teljes egészében a mocsár területén találhatóak, így azok alapozásakor egyedi technológiával kiemelt ártéri lemezalapot (cölöpalapot) kell építeni.

Ehhez azonban az első és legfontosabb lépés az oszlophelyekhez vezető földút megerősítése, amihez mintegy 0,3-0,8 méter vastagságú feltöltésre van szükség. Ami nagyobb gond, az a földúttól az oszlophelyek megközelíthetősége, amihez körülbelül 1,2-1,4 magasságú feltöltést kell készíteni a szilárd alap nélküli mocsárba, illetve két oszlophelyen kell munkaterületet kialakítani (kb. 3000 m² területen), olyan teherviselő képességgel, hogy nehézgépek (autódarú, beton mixer, stb.) biztonsággal munkát végezzenek.

Az opció révén újjáépülne Ibrány térségében a kétrendszerű, 220 kV-os távvezeték, 2 osztott lábú tartóoszlop (OT) maradna a mocsárban. A munkálatok befejezése után a földút 1,2-1,4 méter magasságú feltöltését vissza kell bontani, hiszen alapjában véve ez egy szántó terület, ami megnöveli a járulékos költségeket, és ezzel együtt az eredmény hosszú távon nem jelentene megoldást: a vizes terület révén az oszlopok továbbra is közúti járművel megközelíthetetlenek maradnának, ami nehezítené az üzemeltetést.



11. ábra: A helyreállítási tervezés első opciója - a nyomvonal megtartása, az eredeti oszloptípus alkalmazása [6]

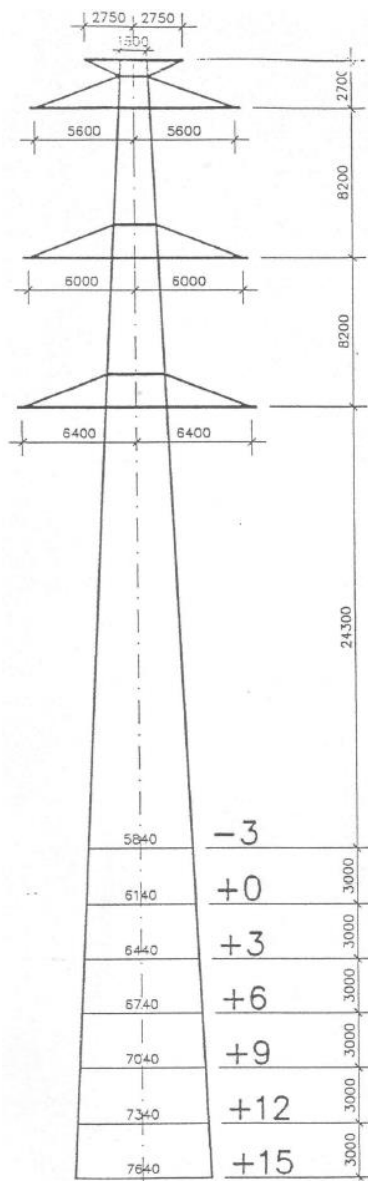
3.4.2 A nyomvonal megtartása, új oszloptípus alkalmazása

A második eset alkalmazása újdonságnak számít Magyarországon. Ugyanis ekkor azt vizsgáltuk, hogyan lehet megoldani a 800 méter széles mocsárban álló két oszlop kiküszöbölését anélkül, hogy új nyomvonalat kelljen építeni, hiszen ha az eredetit megtartjuk, nincs szükség komplett új vezetékjogi engedélyre, ami 8-9 hónapig is elhúzódhat, és addig semmilyen munkát nem kezdődhetne a területen.

A megoldás ekkor az lenne, hogy a 220 kV-os vonalon 400 kV-os oszlopot alkalmazunk, vagyis az eredeti „Soroksár” típusú 4 darab tartóoszlop helyett immár csak hármat kellene felépíteni. Kettő „Fenyő SB” típusú feszítőoszlop a mocsáron kívül állna (különböző magasításokkal), egy „Fenyő OT+15” osztott lábú tartó pedig az eredeti 190. és 191. oszlophelyek közti szakaszon, a mocsárban (lásd 13. ábra). Eredetileg a kidőlt oszlopok mind tartóoszlopok voltak, azonban jelen esetben feszítőoszlopokra azért van szükség, hogy a megmaradó többi „Soroksár” típusú tartóoszlop ne legyen túlterhelve.

A „Fenyő” típus alkalmazásával a megnövelt oszlopköz és húzófeszültség mellett biztosítottá válna a 120 kV-os Nyíregyháza-Ibrány elosztó hálózati távvezeték felülről történő keresztezése,

hiszen az így kialakítandó belógások és biztonsági távolságok megfelelnek az MSZ-151-1-ben foglalt előírásoknak.



12. ábra: A "Fenyő" típusú 400 kV-os távvezeték-oszlop [3]

Az oszlophelyek megközelítéséhez jelen esetben is szükség van az odavezető földút 0,3-0,8 méter vastagságú feltöltésére, megerősítésére, azonban az úttól az oszlophelyekig futó 1,2-1,4 magas töltések elmaradnak, illetve a két (egyenként körülbelül 3000 m²-es) munkaterület helyett egyet kell kialakítani (kb.1600 m²) a földút mellett. A továbbiakban az üzemeltetés kérdése is megoldottá válik, hiszen a helyszín megközelíthető marad, ugyanis a tartóoszlop közvetlenül a földút mellett kerül felépítésre.

Fenyő típusú oszlop

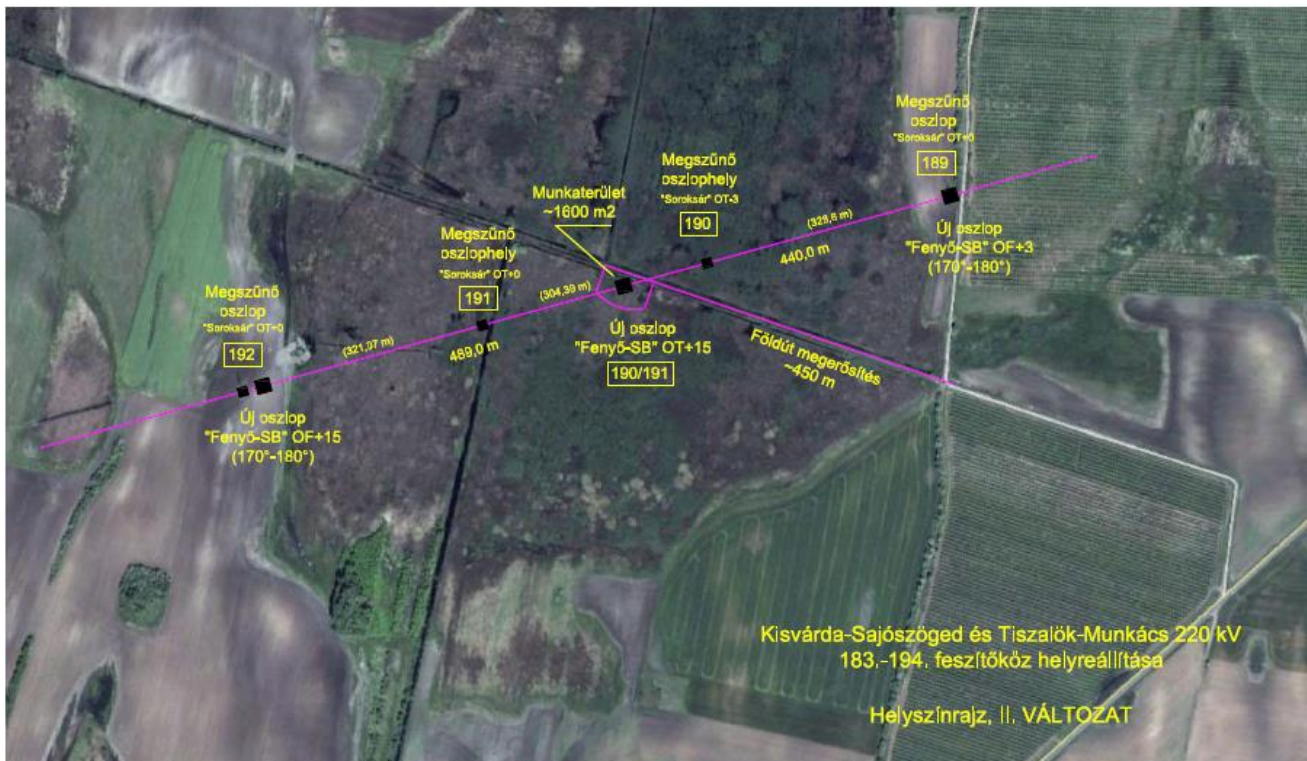
A „Fenyő” típusú távvezetékoszlopot elsősorban a villamosenergia-rendszer 400 kV-os vonalain alkalmazzák, különböző magasságaival mérete akár 60 méter is lehet.

Oszlopkarjainak révén kétrendszerű távvezetékek tartó- és feszítőoszlopaként is alkalmazható, 2x3x(2x500/65) ACSR fázisvezető sodrony, és 2x95/55 ACSR védővezető sodrony által okozott terhelés elviselésére méretezett.

400 méteres névleges oszlopközének és méretének köszönhetően alkalmas volt a márciusi üzemzavari események után készült helyreállítási tervben foglaltak megvalósítására, vagyis hogy az eredetileg a mocsárban álló kettő és mocsáron kívül található két „Soroksár” típusú 220 kV-os oszlopok mindössze három „Fenyő” oszloppal történő kiváltására.

13. táblázat: A "Fenyő" típusú oszlop jellemzői

	Fenyő OT+0
áramvezető	2x3x(2x500/65) ACSR
védővezető	2x95/55 ACSR (OPGW)
oszloptávolság	400 m
alsó oszlopkar magasság	27,3 m
teljes oszlop magasság	46,4 m



13. ábra: A helyreállítási tervezés második opciója - a nyomvonal megtartása, új oszloptípus alkalmazása [6]

3.4.3 A távvezeték kitérítése új nyomvonalra

A harmadik lehetőség tűnik a legkörülményesebbnek, ugyanis ebben az esetben teljesen új vezetékjogi engedélyezési eljárásra van szükség. Ez a procedúra jelen jogi szabályozási környezetben 8-9 hónapig is eltart, de a szakhatósági engedélyek átfutásának függvényében ez az időszak akár egy év is lehet. Az új nyomvonalzakasszal érintett tulajdonosok kárpótlása esetleges magas többletköltséget jelenthet. Jogerős vezetékjogi engedély nélkül a területen nem kezdhető meg a tényleges kivitelezés.

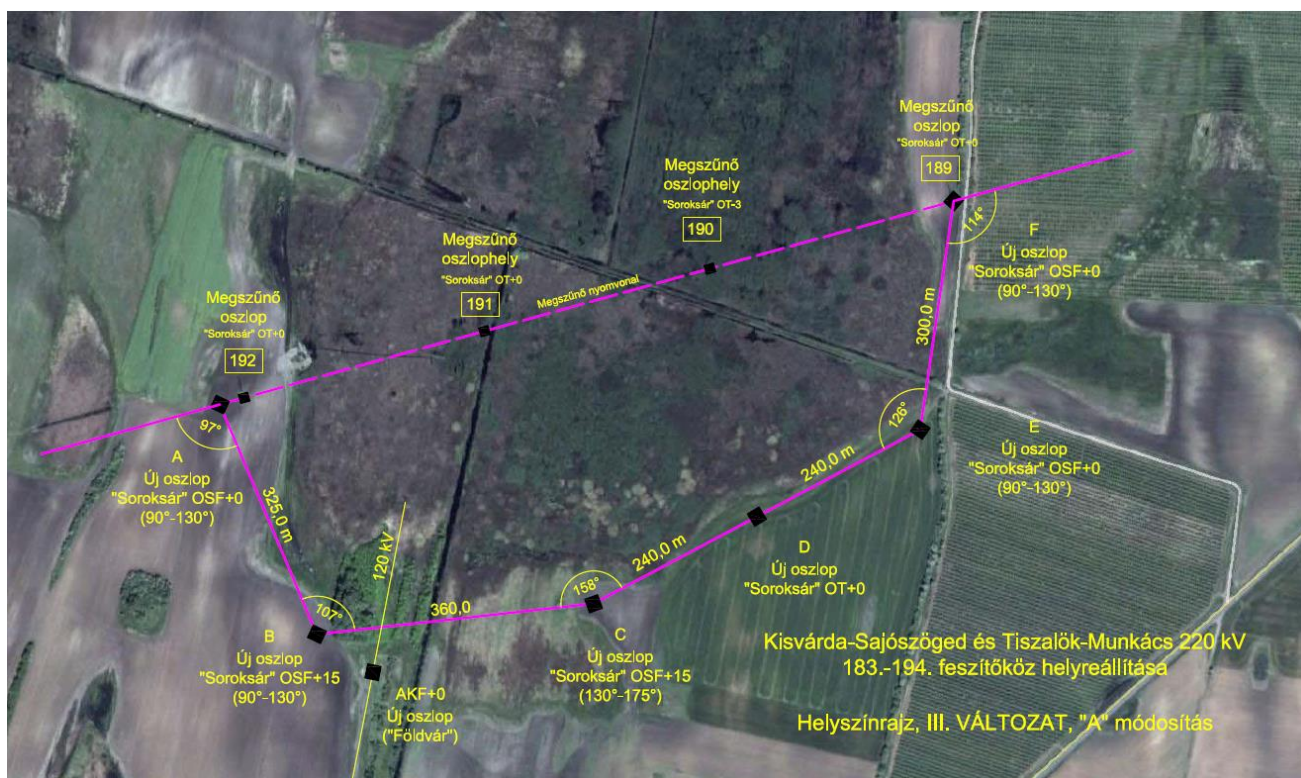
Mégis ez a lehetőség tűnne az üzemeltetés és kivitelezés szempontjából a legideálisabbnak. A legrövidebb nyomvonalnövekmény mellett a legkevesebb plusz oszlop alkalmazásával az új oszlophelyek a mocsáron kívülre kerülnek.

Az újonnan épülő oszlopok továbbra is „Soroksár” típusúak maradnának, azonban a 189. és 192. számúak helyére, tehát a mocsáron kívüliek helyére „Soroksár OSF (90°-130°)” típusú osztott lábú sarokfeszítő oszlopok épülnének, 0 méteres magasítással. Hasonlóképp az E jelzésű is, illetve a B és C jelűek csak annyiban különböznek ezektől, hogy 15 méteres magasítással kell számolnunk. Ehhez a típushoz eddig csak 9 méteres magasítás volt tervezve, így a további 6 méterre vonatkozó az opció kiválasztása után további tervezési feladatot jelentene. A 220 kV-os távvezetékek esetében

alkalmazott alacsony oszlopközök miatt szükség van egy hatodik oszlop beépítésére is, az ábrán D-vel jelöl OT+0 tartóoszlopra. Ezek alapján az eddig körülbelül 950 méter hosszú nyomvonal körülbelül 1480 méteresre növekedett, azonban elkerüli a mocsaras területet. Persze az nem állítható 100%-os biztonsággal, hogy a mocsár területe az elkövetkezendő időszakban nem fog növekedni, így ez az opció nem biztos, hogy végleges megoldást tudna jelenteni.

A már említett 120 kV-os elosztó hálózati Nyíregyháza-Ibrány vonal 79. számú oszlopát is le kell cserélni, ha ezt a lehetőséget választja a villamosenergia-rendszer üzemeltetője, a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt. (MAVIR ZRt.). Eredetileg ugyanis ez egy „Földvár OT-2” típusú tartóoszlop, azonban a távvezeték kitérítésével a két nyomvonalban új keresztezési hely alakulna ki, így ezt az oszlopot egy AKF+0 alukeresztező oszlopra kellene lecserélni.

Látható, hogy a III. számú opció több tétel esetében is jelentős többletköltséget rejthet magában, mind a vezetékjogi eljárás, mind az új oszlopok megépítése és az oszlopok számának kapcsán.



146. ábra: A helyreállítási tervezés harmadik opciója - a távvezeték kitérítése új nyomvonalra [6]

3.4.4 Összehasonlítás

A következő lépésben a felsorolt rekonstrukciós lehetőségek összehasonlítását végeztem el technológiai és gazdasági szempontból.

Az előző fejezetben, az egyes opciók bemutatása során mindegyik esetben ismertettem az előnyöket és hátrányokat, valamint azt, hogy az egyes módszerek mit eredményeznének alkalmazásuk esetén, hosszú távon. Ha az egyes helyreállítási lehetőségeket aszerint vizsgáljuk, hogy milyen járulékos többletköltségek jelentkezhetnek alkalmazásukkor, akkor elmondható, hogy a legtöbb rizikó a III. változat használata során lépne fel.

Ahogy a 11. táblázatban összefoglalva is látható, ekkor figyelembe kellene venni a hat oszlop alapozásának és felállításának költségeit, a vezetékjogi eljárás díjait, az esetlegesen fizetendő kártérítési összegeket. Az előbbi két lehetőség kevesebb kockázatot rejt magában, hiszen a helyreállítás során a jelenlegi, már vizes állapotot lehet figyelembe venni, így a távvezeték oszlopokat és annak alapjait ez alapján tervezni.

11. táblázat: A helyreállítási lehetőségek összehasonlítása gazdaságossági szempontok alapján, a többletköltségeket jelentő tényezők

I. opció eredeti nyomvonal eredeti oszloptípussal	II. opció eredeti nyomvonal új oszloptípussal	III. opció kitérítés új nyomvonalra
a 192. sz., nem kidőlt, csak sérült oszlop elbontásának költségei	a 192. sz., nem kidőlt, csak sérült oszlop elbontásának költségei	a vezetékjogi eljárás költségei
a jelenlegi földút feltöltésének költségei	a jelenlegi földút feltöltésének költségei	az új nyomvonal területének jelenlegi tulajdonosainak esetleges magas kártérítési költségei
az oszlophelyek megközelítésére szolgáló földutak megépítésének, majd elbontásának költségei	egy oszlophelyen munkaterület kialakítása	6 oszlop alapozása és építése
két oszlophelyen munkaterület kialakításának költségei	3 „Fenyő” típusú oszlop felépítése	1 db „Földvár” típusú alulkeresztező oszlop építése
4 új „Soroksár” típusú oszlop felépítése		

4. A magyar és amerikai üzemzavarok összehasonlítása

Sok hasonlóságot mutatnak az USA-ban 2011 októberében, és Magyarországon 2013 márciusában, a rendkívüli időjárás miatt bekövetkezett üzemzavarok, éppen ezért a következőkben a két esemény összehasonlítása olvasható.

Elsőként az időjárási körülményeket érdemes megemlíteni, hiszen mindkét esetben több feltétel együttes teljesülése volt szükséges ahhoz, hogy a rendkívüli helyzet kialakuljon. Mindkét helyszínen az óceán/tenger felől érkező melegebb, nedves légtömeg találkozott az északról közelítő hideg, akár fagyos levegővel, így a kettő ütközéséből kezdődött a rendkívül csapadékos időszak, amit nagyon erős, az USA-ban akár 100 km/h, Magyarországon körülbelül 90 km/h sebességű szél és széllekeések kísértek. A hideg levegő és a csapadék együttes megjelenésének eredménye az lett, hogy a hó, illetve havas- vagy ónos eső ráfagyott az egyes távvezetésekre.

Érdemes továbbá azt is megemlíteni, hogy ugyan Magyarországon „csak” 100 ezer embernél okozott kiesést az üzemzavar a villamosenergia-ellátásban, ez ugyanúgy a lakosság 1%-t jelenti, mint 2011-ben az USA-ban érintett 3 millió felhasználó.

A hasonló időjárási körülmények ellenére, hiába kezdődött meg mindkét esetben azonnal a helyreállítás, az USA-ban ez 11 napot vett igénybe, míg Magyarországon 5 napon belül minden fogyasztónál helyre állt a rend.

Nagy különbség mutatkozik azonban abban, hogy mi okozta az üzemzavarokat: míg Magyarországon közvetlenül az időjárási körülmények, vagyis a nedves hó, ami az erős szélnek köszönhetően ráfagyott a távvezeték sodronyokra, és ezzel túlterhelte a tartószerkezeteket, addig Amerikában leginkább a növényzet okozta a problémát. Abban az évben ugyanis több hurrikán is pusztított az északkeleti partoknál, aminek nyomán sokáig nedves maradt a talaj, ez pedig elősegítette, hogy az erős szél könnyen ki tudja csavarni a szél a földből, ráadásul azok nem hullatták le lombjaikat, ahogy az évszaknak megfelelően ez meg kellett volna történnjen. Számos példa mutatta, hogy a távvezetésekre dőlő vagy az azokkal kapcsolatba kerülő fák okoztak kiesést a villamosenergia-ellátásban.

Röviden összefoglalva:

Összehasonlítási szempontok	USA, 2011	Magyarország, 2013
Területe	18 millió km ²	0,093 millió km ² (93.036 km ²)
Lakosainak száma	283 millió	10 millió
Erőművi kapacitás	950.000 MW	9500 MW
Éves villamosenergia-fogyasztás	kb. 5000 TWh	kb. 41 TWh
Időpontja	2011. október 29-30.	2013. március 14-17.
Az üzemzavarban érintett felhasználók száma	kb. 3.000.000 fogyasztó (a lakosság kb. 1%-a)	kb. 100.000 fogyasztó (a lakosság kb. 1%-a)
Provizor helyreállítás maximális időtartama	11 nap	5 nap
Az üzemzavart okozó időjárási körülmények	Óceán felől érkező nedves légáramlat találkozása az északi hideg levegővel	A mediterrán térségből érkező nedves légáramlat találkozása az északról érkező hideg légtömeggel
Érintett villamosenergia-rendszerelemek	74 távvezeték, 44 alállomás	nincs pontos adat
Az események nyomán bekövetkező elhalálozások száma	1 fő (nem az időjárási körülmények miatt)	0 fő
A kiesések legfőbb oka	Növényzet (távvezetésekre dőlt fák)	Időjárás (sodronyokra fagyott csapadék és erős szél együttes terhelése)

5. Összefoglalás, nyitott kérdések

Dolgozatomban a 2013. március 15-i hétvégén a villamosenergia-rendszerben bekövetkező súlyos üzemzavar hátterét és helyreállítási lehetőségeit vizsgáltam. Kerestem nemzetközi példát is, ahol hasonlóképpen a rendkívüli időjárási körülmények okoztak problémát a villamosenergia-ellátásban, így össze tudtam hasonlítani az ideai eseményeket a 2011-ben, az Amerikai Egyesült Államok és Kanada egy részén bekövetkezett üzemzavarral. Számos hasonlóságot, és több különbséget is felfedeztem, amelyeket dolgozatomban ki is fejtettem. A FERC és NERC által kidolgozott ajánlásokat azonban a hazai példán nem tudtam alkalmazni, mert az amerikai üzemzavar során a legfontosabb kiváltó ok a növényzet volt, a magyar esetben azonban egyértelműen az időjárási körülmények.

Munkám legfontosabb részeként bemutattam azoknak a terheléseknek a számítását, amelyek a márciusi rendkívüli időjárási körülmények során a távvezetéki sodronyokra, rajtuk keresztül az oszlopszerkezetekre hatottak. Dolgozatomban rámutattam, hogy a márciusi rendkívüli időjárás során majdnem háromszoros összterhelés hatott a sodronyokról (a szél- és extrém zúzmarateher következtében) az oszlopszerkezetekre, így azok tönkremenetele törvényszerű volt.

Ismerttettem továbbá azokat a helyreállítási lehetőségeket, aminek a kidolgozásában az MVM OVIT ZRt.-nél volt lehetőségem részt venni, és amelyekből később a MAVIR Zrt. kiválasztotta a legmegfelelőbbet, majd elkészítettem ezek összehasonlítását technológiai és gazdaságossági szempontból.

Fontos továbbá megemlíteni, hogy az általam vizsgált Munkács-Sajószöged 220 kV-os kétrendszerű, átviteli hálózati távvezetéken fennállt üzemzavar nem befolyásolta egyetlen fogyasztó energiaellátását sem, átviteli hálózati távvezeték sérülése miatt nem volt fogyasztói kiesés.

Mivel napjainkban egyre gyakrabban jelennek meg szélsőséges időjárási körülmények, ahogy a dolgozatomban többször is említettem, érdemes lenne a jelenleg is átdolgozás alatt álló MSZ-151-es szabvány átdolgozásában megjeleníteni azt az esetet, amikor szél- és pótteher egyszerre jelentkezik a tartószerkezeten.

6. Hivatkozások, irodalomjegyzék

[1] Az átviteli hálózat üzemeltetése, elektronikus tananyag,

Forrás: BME Villamos Energetika Tanszék, www.vet.bme.hu

[2] A MAVIR ZRt. átviteli hálózati alállomásai 2011

Forrás: MAVIR Zrt.

[3] A MAVIR ZRt. átviteli hálózati alállomásai 2013

Forrás: MAVIR Zrt.

[4] A Magyar Villamosenergia-rendszer Hálózatfejlesztési Terve 2012.

Forrás: MAVIR Zrt.

[5] Report on Transmission Facility Outages During the Northeast Snowstorm of October 29-30, 2011 – Causes and Recommendation

Forrás: Federal Energy Regulatory Commission, North American Electric Reliability Corporation

[6] A Kisvárdai-Sajószöged és Tiszalök-Munkács 220 kV-os kétrendszerű távvezeték oszlopkidőléssel járó üzemzavara, Helyreállítási terv, Döntés előkészítéshez

Forrás: MVM OVIT ZRt.

[7] „A március 14-15-i hóvihár meteorológiai elemzése”, „Kemény tél március idusán”, „A 2012/13-as téli szezon leghidegebb hétvégéje (március 16-17.)”, „Hidegrekordok hétvégéje”, „Márciusi tél hidegrekordokkal”

Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat, www.met.hu

[8] MSZ-151 szabvány

Forrás: Magyar Szabványügyi Testület

[9] Geotechnikai terv ideiglenes út építéséhez, Kisvárdai-Sajószöged és Tiszalök-Munkács kétrendszeres 220 kV-os távvezeték, 190. oszlophely megközelítéséhez (Ibrány-Kertváros külterülete)

Forrás: MVM OVIT ZRt.