



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

Molnár Áron

# **DINAMIKUS TÁVVEZETÉK TERHELHETŐSÉG**

A szél jelenségek részletesebb vizsgálatának új perspektívái a  
DLR modellek továbbfejlesztésében

KONZULENS

**Dr. Rácz Levente**  
**Dr. Németh Bálint**

BUDAPEST, 2023

# Tartalomjegyzék

<b>Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>3</b>
<b>Összefoglaló .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Bevezetés .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Dinamikus távvezeték terhelhetőség (DLR) .....</b>	<b>7</b>
2.1 A DLR rendszerek felépítése .....	8
2.2 A Pilot DLR rendszerek tapasztalatai .....	10
2.3 A pilot projekt tapasztalatainak értelmezése .....	12
<b>3 A szél szerepének részletes vizsgálata .....</b>	<b>14</b>
<b>4 Szimulációs modellek és eredmények .....</b>	<b>16</b>
4.1 A szél mérés időbeli felbontásának hatása .....	16
4.1.1 Modelllezés, előkészítő lépések.....	16
4.1.2 Eltérő megközelítésű szélmodellek összehasonlítása .....	19
4.1.3 Terhelhetőség számítások .....	25
4.1.4 Az eredmények értékelése, következtetések.....	30
4.2 A vertikális rétegződés hatása.....	31
4.2.1 Modelllezés, előkészítő lépések.....	32
4.2.2 Eltérő magasságban rögzített szél adatok összehasonlítása.....	34
4.2.3 Terhelhetőség számítások .....	37
4.2.4 Az eredmények értékelése, következtetések.....	41
4.3 Az eredmények összegzése és gyakorlati jelentősége .....	42
<b>5 Tovább lépési irányok .....</b>	<b>44</b>
<b>6 Összefoglalás.....</b>	<b>45</b>
<b>Irodalomjegyzék.....</b>	<b>46</b>

## Köszönetnyilvánítás

Jelen dolgozatban több hazai és nemzetközi dinamikus távvezeték terhelhetőséggel kapcsolatos projekt adatait is felhasználtam, amiért köszönettel tartozom.

Ezt a pályamunkát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nagyfeszültségű Laboratóriumában dolgoztam ki a FARCROSS GA 864274 számú, Horizon2020 által támogatott projekt keretein belül.



Munkám során részben felhasználtam az Innovációs és Technológiai Minisztérium által finanszírozott projektek (2020-3.1.1-ZFR-VHF-2020-00001, 2020-3.1.1-ZFR-VHF-2020-00002, 2020-3.1.1-ZFR-VHF-2020-00003) adatait is.

# Összefoglaló

Mára korunk egyik legégetőbb kérdéskörévé az energia biztosítása vált. A radikálisan növekvő energiaigény kiszolgálása és a megújuló energiaforrások hatékony integrációja egy öregedő és sokszor a tervezett kapacitás határán üzemelő hálózatra hárul. Emiatt egyre nagyobb igény mutatkozik a hálózat rugalmasságának növelésére, amely terén ígéretes eredményeket értek el az utóbbi években kísérleti jelleggel futó dinamikus távvezetékterhelhetőség (angolul DLR) projektek. A biztató kezdeti sikerek ellenére még mindig sok gyakorlati kérdés tapasztalható a módszer kapcsán. Az egyik bizonytalanságra okot adó körülmény az, hogy van olyan kísérleti projekt, amely során sokszor jelentős eltéréseket tapasztaltak a különböző megközelítéseket alkalmazó módszerek által a sodrony termikus állapotára tett becslések között. A tapasztalt eltérések forrásának feltárása és megértése lehetővé tenné a módszerek továbbfejlesztését, valamint a technológiát övező bizonytalanság csökkentését, ezzel előre mozdíthatna annak mind szélesebb körben történő gyors elterjedését. Jelen dolgozatban az időjárás előrejelzésekkel és valós idejű időjárás adatokkal dolgozó DLR rendszerek kapcsán vizsgálom a szélparaméterek, és azok hűtőhatásának mérése során alkalmazott közelítések, és leegyszerűsítések hatását. A szél azért kiemelten fontos környezeti paraméter, mert a vizsgált változók közül a legnagyobb mértékben járul hozzá a sodronyok hűtéséhez. Ez az a paraméter, amely a szakirodalom és a hétköznapi tapasztalatok alapján a leginkább változékony mind időben, mind térben, így az ezzel kapcsolatos közelítések hatása fokozott lehet. A dolgozatban három egyszerűsítés hatását elemzem, és megvizsgálom, hogy azok mekkora mértékben torzítják a számítások eredményét. Vizsgálom, a szélre vonatkozó adatok időbeli felbontást, azon belül is azt, hogy mennyire jól alkalmazható egy tízperces időbeli felbontású adatsor a távvezeték környezetének valós idejű leírására. Ezen túl a dolgozatban vizsgálom annak a hatását, hogy az időjárás adatokon alapuló DLR modellek, kétdimenziósak, és így nem foglalkoznak a szél beesési szögének meghatározásánál a láncgörbe vízszintes síkkal bezárt szögével. A fenti pontok elemzésével a célom, hogy a korábbi termikus számítások eredményeit pontosítsam, és gyakorlati iránymutatásokat fogalmazzak meg a hardveres egységek telepítésére vonatkozóan.

## Abstract

One of today's most critical tasks is the upkeep of energy supply. The task of satisfying the radically growing energy need and integrating renewable energies falls on an aging electrical energy network, which often operates near its design limits. This raises the ever-greater need for flexibility of the network. In the field of this flexibility, there have been promising pilot Dynamic Line Rating (DLR projects). Despite of the promise full initial results, many uncertainties remained about the technology. One of the main concerns comes from the fact that during these pilot projects, it is an often-recurring problem that there is a significant difference between the different methods of approach. By exploring the cause of these differences, it can become possible to create a better model. At the same time, it may increase the confidence in the technology, which could help rapidly spread the technology. This paper concerns the wind parameters used by weather based DLR methods. When describing the environment of the transmission lines, it is common practice to apply a certain simplification to an extent. Since the wind has the most significant effect on the ampacity of the line among all the observed parameters, while bearing a quite variable nature, the approximations used here can have an enhanced effect on the results. This thesis paper investigates three approximations used in most of the model building. First, it examines the impact of the temporal resolution: how well one data point can be used to describe the line's environment for a ten-minute interval, the most common time interval between measurements. The paper also investigates the effect of dimension loss during the modeling. Most of these models use simplified two-dimensional approaches when examining the wind's effect, and they are not concerned about the angle between the points of the catenary curve and the horizontal plane. By analysing the above issues, I aim to clarify the results of previous thermal calculations and formulate practical guidelines for installing hardware units.

# 1 Bevezetés

A növekvő energiaigény és a zöld gazdaságra való átállás kérdése mára a világ, és nemkülönben Európa legkomolyabb kihívásai közé tartozik. A megújuló energiaforrások számának növelésére a társadalom és a gazdaság egyre növekvő energiaigényének kiszolgálása mellett lenne szükség, úgy, hogy a demográfiai változások, a klímaváltozás, és az ipari központok mozgása a meglévő kereslet földrajzi elhelyezkedése is folyamatosan változtatja.

A klímaszakértők az egyre bajjósabb kimenetelű modellezések nyomán folyamatosan sürgetik zöld átállást, amelyben meghatározó szerep látszik hárulni az villamos energiára, és így a teljes villamosenergia-rendszerre is. A zöld átállás két nehézséget is hordoz magában, ennek egyik eleme, hogy növekszik a villamosenergia mint tiszta energia iránti kereslet. Másrészt az ilyen termelőegységekben a villamos energiatermelés jellege jelentősen eltér attól, aminek figyelembevételével a jelenlegi átviteli és elosztói hálózatok megépítésre kerültek. A megújuló energiaforrásokra mint zöld energia termelőkre általában jellemző, hogy elszórtan helyezkednek el, ellentétben a nagymértékű energiát lokálisan előállító fosszilis erőművekkel. Továbbá míg a fosszilis erőművek termelése aránylag stabil és jól menetredezhető, addig a megújulók termelése nagymértékű ingadozást mutat a környezeti változások függvényében, ez pedig növekvő hálózati rugalmasságot követel.

Másik oldalról fontos megemlíteni, hogy a villamosenergia-hálózat stratégiai rendszer, amely ellátásbiztonsági oldalról kiemelten kezelendő infrastruktúra. Az üzemeltetés során elsődleges szempont az üzembiztonság és a rendelkezésre állás. A meglévő infrastruktúra ugyanakkor öregszik, amely kihatással lehet az ellátás minőségére is. A rendszerirányítóknak ezzel együtt úgy kell az új kihívásoknak megfelelni, hogy közben a hálózati elemekről minél pontosabb állapotdiagnosztikát készítenek, amelynek elengedhetetlen feltétele a távvezetékek valós idejű szenzoros megfigyelése.

## 2 Dinamikus távvezeték terhelhetőség (DLR)

A rövidebb (száz kilométeres nyomvonalat nem meghaladó) távvezetékek terhelhetőségét jellemzően a termikus korlátok szabják meg. A termikus korlátok felléphetnek a fázisvezető sodronyokon és azok szerelvényein, vagy az alállomási berendezésekben is. A távvezetési sodronyokra többféle termikus korlátot szokás megkülönböztetni. Ha a sodronyokat létezik, az egyik a távvezeték alkotó sodronyokra jellemző. bizonyos termikus határállapot fölötti hőmérsékletnek tesszük ki, akkor a sodronyok külső részét alkotó alumínium elemi szálak szerkezeti változásokon mennek át, amely negatív hatással van a sodrony szilárdságára, és rugalmatlan megnyúláson mehet keresztül [[7] idézi: [8]-et]. Ez a termikus limit jellemzően 90-100°C fok körül jelentkezik sodrony típustól függően [9], bár vannak kutatások amik arra engednek következtetni, hogy hosszú időn át, a termikus limitet megközelítő, de meg nem haladó hőterhelés is negatív következményekkel járhat [7]. A másik termikus limit a távvezeték geometriájából fakad. A sodronyok a hőmérsékletük emelkedésével rugalmasan megnyúlnak, így a távvezetékek belógása megnő, a fázisvezetők szabadmagassága<sup>1</sup> lecsökken. Mivel a feszültség szinttől függően minden távvezetékre vonatkozik egy előírt minimális szabadmagasság, a termikus megnyúlás megengedett mértéke korlátozott.

A távvezetékek nagy része estében jelenleg a terhelhetőség statikus módon, statikus terhelhetőség számítások segítségével (angolul: Static Line Rating – SLR) kerül meghatározásra. Az SLR az adott időszakra (jellemzően félév) vonatkozóan a legkedvezőtlenebb környezeti állapotot feltételezve, egy hőegyenlet megoldásaként adódik. A hosszú időre vonatkoztatott, statisztikai becsléseken alapulóan terhelhetőség korlátok eredményeként az SLR értékek jellemzően elmaradnak a távvezetékek valós terhelhetőségétől. Azokban az esetekben, mikor a távvezeték nem alállomási berendezés korlátozza a termikus viszonyokat, a dinamikus távvezeték terhelhetőség (angolul DLR) módszerével lehet feltárni a rendelkezésre álló átviteli kapacitásokat. A DLR lényege, hogy a sodrony terhelhetőségét minden esetben a valós környezeti paraméterekhez igazítja [10]. Ez a módszer amellet, hogy az idő nagy részében az SLR-

---

<sup>1</sup> A szabadmagasság a távvezeték alsó fázisvezetőjének a földfelszíntől számított legkisebb távolsága.

nél nagyobb terhelhetőségi korlátot ad, növeli az üzembiztonságot is. Ez elsősorban az olyan worst-case események esetében jelentkezik, amikor a statisztikai becslésen alapuló SLR is túlbecsüli a távvezeték valós terhelhetőségét, ezáltal az SLR alapján megengedett villamos terhelés hatására, a távvezeték termikusan túlterhelődik. Ezáltal növekszik a távvezeték megbízhatósága és rezilienciája [11].

## 2.1 A DLR rendszerek felépítése

A DLR szűkebb értelemben a valós idejű dinamikus terhelhetőséget jelenti, ám tágabb értelemben egy ernyőfogalom, amely számos módszert foglal magában. Tágabb keretek között ide szokták sorolni finomabb terhelhetőségi felbontást eredményező, környezeti hőmérséklet változásának monitorozásán alapuló terhelhetőséget (angolul ambient adjusted line rating – AA-DLR) és ennek heti, vagy havi bontásban vett változatait is. Vagy az olyan alkalmazásokat amikor a távvezeték vagy annak környezetének monitorozását követően, a sodrony termikus állapotára tett becsléseket követően statisztikai alapon kiigazítják az SLR által meghatározott értékeket. Szűkebben értelmezve olyan eljárások tartoznak a DLR rendszerekbe, ahol a sodrony, vagy annak környezetének megfigyelése által tesznek becsléseket a sodrony termikus állapotára, valamint a távvezeték terhelhetőségére.

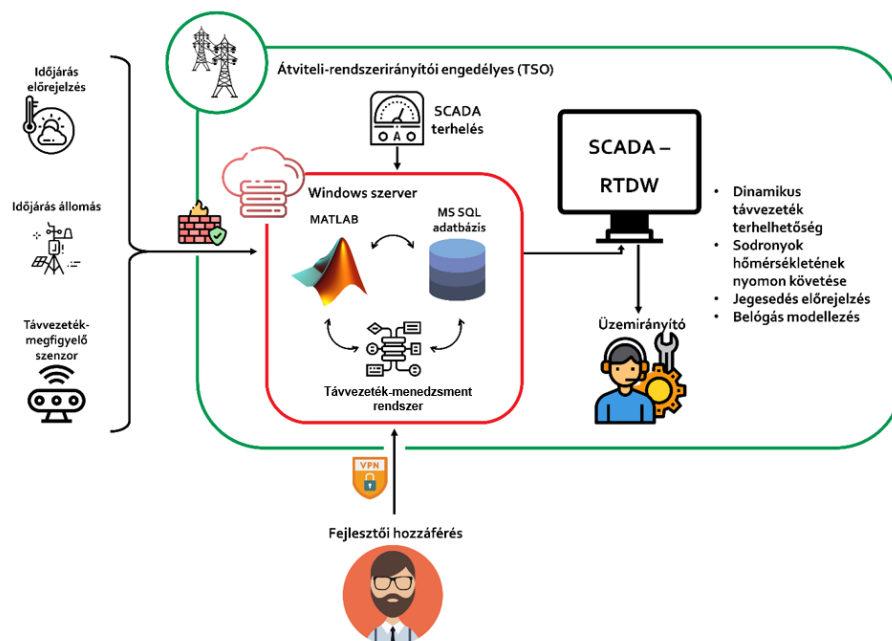
A különböző DLR megközelítések nagy változatosságot mutatnak abban, hogy a megfigyelés során milyen paramétereket vizsgálnak, és milyen módszerrel. Ezen a ponton két csoportot érdemes megkülönböztetni, az „on-line” és „off-line” eszközökre építő rendszereket.



1. Ábra – Pilot DLR megvalósítás egy nagyfeszültségű távvezetéken [4]



Az „on-line” rendszerek esetében a szenzor a sodronyon helyezkedik el, és mérheti a sodrony hőmérsékletét, adott ponton a vízszintessel bezárt szöveget, vagy a feszítőközök végén lévő szigetelőláncokban ébredő kötél erőt. Ezen paraméterek segítségével tehetőek becslések a sodrony termikus állapotára, valamint a geometriájára (sodrony belógás görbéje). A másik csoport az „off-line” szenzorokra épülő rendszerek, amelyeknél a szenzor nem a sodronyon helyezkedik el, így a telepítése/szervizelése kevésbé körülményes. Egyes „off-line” szenzorok a környezeti paramétereket mérik, más típusok LiDAR technológiával figyelik a sodrony belógását.



2. Ábra - A DLR rendszerek eredményeit felhasználó szakértői rendszer sematikus vázlata

Ugyanakkor minden mérési adatokon alapuló DLR rendszerre jellemző egy általánosnak mondható felépítést. A távvezetéken, vagy annak közvetlen közelében helyezkednek el a szenzorok, amelyekkel a rendszer a megfigyeléseket végzi. Ez lehet egy, de akár számos szenzor is, a DLR rendszert szolgáltató vállalkozó előírásainak, vagy a megrendelő igényeinek megfelelően. Ezen szenzorok energiaellátását biztosítani kell, amely többnyire „energy harvesting” technológia, vagy napelemes rendszerek segítségével történik. A rögzített adatokat továbbítani kell, amely történhet LAN, GSM vagy más rádiófrekvenciás adattovábbítás segítségével, vagy történhet egy FLASH drive-ra is, amelyről a rögzített adatok manuálisan kerülnek begyűjtésre bizonyos idő elteltével. Az adatokat egy központnak kell fogadnia és feldolgoznia, majd a számított eredményeket és az azokra alapuló ajánlásokat a diszpécser szolgálat számára, könnyen felhasználható

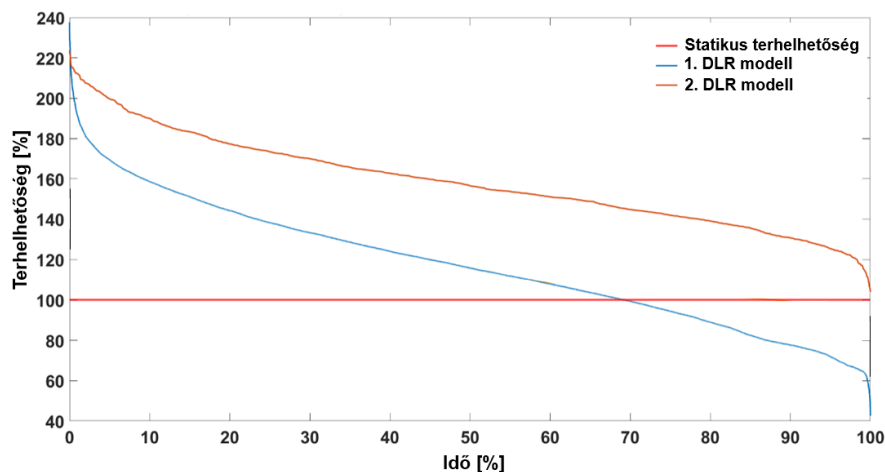
módon kell bemutatni valamilyen grafikus megjelenítő felület segítségével. A rendszer integrációs szintjétől függően utóbbi történhet közvetlenül a SCADA rendszerbe is.

## 2.2 A Pilot DLR rendszerek tapasztalatai

Magyar viszonylatban az utóbbi években több DLR-hez köthető projekt is futott kísérleti jelleggel (a továbbiakban Pilot DLR projekt). Az egyik ilyen pilot rendszer az Európai Unió Horizon 2020 projektjének keretében megvalósult a FARCROSS (FACilitating Regional CROSS-border Electricity Transmission through Innovation) projekt volt. Ebben a projektben több, közép-európai és dél-európai helyszín (összesen 8 távvezeték) bevonásával hasonlítottak össze két eltérő megközelítéssel (kontakt hőmérséklet mérésen és LiDAR alapú belógás mérésen) alapuló DLR rendszert. Három másik DLR projekt a hazai átviteli és elosztói hálózaton vizsgálta a DLR rendszer hazai alkalmazhatóságát az Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM) finanszírozásával. Ezen projektek keretében 5+1+1 magyarországi távvezeték mentén 10+2+2 időjárás állomást és távvezeteki szenzort telepítettek a kritikus szakaszokra.

A pilot projektek ígéretes eredményei mellett előfordultak olyan esetek is, melyek mélyebb megértése további vizsgálatokat és magyarázatokat igényel.

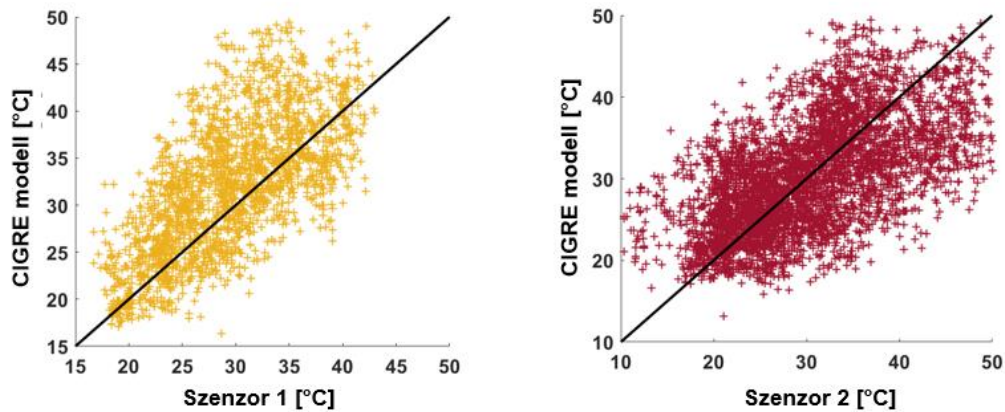
A FARCROSS projekt egyes helyszínein megfigyelhető volt, hogy a két, eltérő DLR megközelítéssel számított terhelhetőség érték eltérően viszonyul a távvezeték statikus terhelhetőségéhez képest. Ezek kapcsolatát szemlélteti az **Error! Reference source not found.** ábra.



**3. Ábra - Az SLR és két különböző DLR megközelítés által számított terhelhetőségek projekt időszakra vonatkoztatott tartam görbéje. [FARCROSS deliverable idézés]**

Tekintve, hogy a terhelhetőség kérdése kiemelten fontos rendszerirányítói szempontból, az eltérések további vizsgálata szükséges a jövőben.

Egy másik fontos tapasztalat a közelmúlt DLR projektjei kapcsán a sodrony hőmérsékletének mérése és számítása közötti eltérések feltárása volt. A 4. ábra azt mutatja be egy nagyfeszültségű távvezeték esetében, hogy a vizsgált oszlopközbe telepített két DLR szenzor (Szenzor 1 és Szenzor 2), valamint a környezeti adatok felhasználásával, a CIGRE fizikai modell alapján számított sodronyhőmérsékletek bizonyos esetekben jelentősen eltérhet egymástól.



**4. Ábra - A CIGRE modell és a két DLR modell által számított sodronyhőmérsékletek eloszlása - Az adatpontok y koordinátája a CIGRE modell szerinti, az x koordinátája a másik DLR modell szerinti értékeknek felel meg [5]**

Ennek a kérdéskörnek azért fontos feltárni az okát, mert a termikus túlterhelések belógás problémákat és nem kívánatos gyorsított öregedést eredményezhetnek a fázisvezetőkben.

### **2.3 A pilot projekt tapasztalatainak értelmezése**

A különböző DLR megközelítések között tapasztalt eltérésekre jelenleg csak megalapozott feltevéseken alapuló magyarázatok vannak. Egy lehetséges magyarázat lehet a terhelhetőségekben jelentkező eltérésekre, hogy míg az egyik DLR megközelítés meteorológia modellekből, ismeretlen algoritmussal és paraméterekkel importál szél adatokat, a másik megközelítés a terepen végzett mérésekből dolgozik. A sodrony hőmérséklet eltérésekre egy lehetséges magyarázat lehet, hogy míg a kontakt szenzor a távvezeték egy pontjának termikus vizsgálatát lokális hőmérsékletmérésekkel végzi, addig a másik eszköz egy teljes oszlopköz átlagos sodronyhőmérsékletét számolja vissza.

Ugyancsak lehetséges magyarázatként merül fel az a lehetőség is, hogy a CIGRE modell egy, sokszor a földfelszín közelében végzett időjárás monitorozás alapján számít sodronyhőmérsékletet, míg az egyik DLR szenzor kontaktus módon direkt méri a sodrony hőmérsékletét egy adott pontban, a másik pedig LiDAR segítségével követi a távvezeték geometriáját, és abból következtet a sodrony termikus állapotára. Azaz előfordulhat az a helyzet is, hogy a számításokhoz használt input környezeti adatok eltérnek, és így például az eltérő szélesség adatok is magyarázatul szolgálhatnak a tapasztalt különbségek egy részére. A lehetséges magyarázatokra vonatkozó feltevések mellett érdemes lehet ezen eltérések okát mélyebben is vizsgálni. Az ilyen vizsgálatok különösen is fontosak, hiszen

egyrész növelik a DLR rendszerek biztonságát, valamint csökkentik a technológiát övező bizonytalanságot, ezáltal elősegítik annak széleskörű elterjedését.

### 3 A szél szerepének részletes vizsgálata

A korábbi DLR rendszerekkel, kísérleti DLR rendszerek tapasztalataival, valamint a termikus modellekkel foglalkozó szakirodalmak alapján egyértelműen kirajzolódik, hogy a terhelhetőségre legnagyobb hatással a legtöbb esetben a szél hűtőhatása bír [12]. Egyes számítások alapján akár 3 m/s-os szélesség különbség is 60%-os terhelhetőség növekményt eredményezhet a sodronyok esetében. Más vizsgálatok azt találták, hogy már 2m/s-os, a sodronnyal merőleges irányú szél is el tud érni az 50% feletti terhelhetőség növekményt[3]. Éppen emiatt a széljelenségek minél pontosabb megértése, és az ennek fényében kialakított monitorozás kulcsfontosságú lehet a DLR rendszerek sikerességében.



5. ábra - Meteorológiai állomás a távvezeték oszlop szerkezetén a FARCROSS projekt keretében [6]

A DLR modellek jellemzően effektív szélességgel dolgoznak, amely azt fejezi ki, hogy az adott szélvektor mekkora, a sodronyra merőleges szélesség hűtőhatásával egyenértékű hűtést fejt ki. Az egyes fizikai modellek eltérően számítják az effektív szél értékeket, valamint azok hűtőhatását. Az azonban minden modellben közös, hogy a szél hűtőhatása sem a szélességtől, sem a széliránytól nem lineárisan függ. Ezen nem lineáris karakterisztikából következik, hogy az eltérő szélességekhez tartozó terhelhetőségek közti különbség a bementi paraméterként szolgáló szélességek különbségével nem feltétlenül arányos, azt esetenként jelentősen meghaladhatja. A

számítások ezen sajátosságából kifolyólag, bármilyen, a szélparaméterekre vonatkozó átlagérték hibája a terhelhetőségben hatványozottan jelentkezhethet.

Miközben a szélparaméterek nagyban befolyásolják a terhelhetőséget, a szél nagyfokú változékonyságot mutat a földfelszín közelében mind térben mind időben. Azaz a szél esetén már rövid idő alatt is nagymértékű változások figyelhetők meg egy adott helyen, valamint jelentős eltérések tapasztalhatóak eltérő pontokon az áramlási sajátosságok miatt. Így ezen változékonny paraméternek a teljes távvezetékre gyakorolt hatásának modellezése komoly feladatot jelenthet.

A környezeti paramétereket (is) vizsgáló DLR rendszerek kétféle csoportba oszthatóak. Az egyik csoportba tartozó rendszerek a szélre vonatkozó adatokat meteorológia előrejelzésekből és modellekből szerzik, míg a másik csoportba tartozóak a terepen végzett mérések eredményeivel dolgoznak. Mindkét megközelítésnek megvannak az előnyei és hátrányai is.

A meteorológiai modell esetén a valós környezeti hatások megbecslése során a nehézséget az jelenti, hogy az előrejelzések sokszor az alkalmazás igényeihez képest durva felbontásban állnak rendelkezésre, nagyobb magasságban, és így különböző számítások segítségével kell az előrejelzési adatokból kiindulva meghatározni a kijelölt pontokon uralkodó szélviszonyokat. Azonban a földfelszínhez ilyen közel ezek a modellek, ún. „downscaleing” algoritmusok pontatlanok lehetnek, vagy a nagyobb pontosságú változatok nagyban támaszkodnak a távvezeték környezetének pontos ismeretére és paraméteres megadására. Ennek oka, hogy a földfelszín közvetlen közelében a szél nagymértékben függ a domborzati viszonyoktól, vagy épp a földfelszín feletti magasságtól.

A szél földfelszín közelében megfigyelhető nagyfokú változékonysága, magasság, és domborzatfüggése ugyancsak nehezíti teszi valós mérési adatok értelmezését és azt, hogy azok hogyan alkalmazhatóak a vizsgált távvezeték szakasz leírására [1].

A fentebbi állításokból kiindulva az előzetes hipotéziseim azok, hogy a szélmérési mintavételezési ideje és a mintavételezési helye jelentős hatással lehet a terhelhetőségi és sodrony hőmérséklet értékekre.

## 4 Szimulációs modellek és eredmények

A dolgozat további részében azt fogom részletesen megvizsgálni, hogy milyen hatása van a szél mérés mintavételezési idejének és a mintavételezési pont magasságának a DLR rendszerek kimeneteire.

### 4.1 A szélmérés időbeli felbontásának hatása

A szél a terhelhetőség számítás szempontjából a legszignifikánsabb környezeti faktor, így monitorozása kulcsfontosságú a fizikai DLR modellek implementációjában. A jelenleg ismert DLR projektek esetében a szélpáráméterek monitorozása limitáltan történik. Jellemzően egy mérési magasságból származó, a szél változékonyságához képeset kis frekvenciával továbbított szél adat kerül felhasználásra a numerikus modellekben. Ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy ez az adat sokszor a két adat továbbítási időpont között eltelt intervallumban sűrűbben mintavételezett mérési eredmények átlaga. Ezzel együtt is, az az implicit hiba, amely ezen mérési megközelítésekben szereplő leegyszerűsítésekből fakad, befolyásolhatja a számított terhelhetőség értékek alakulását.

#### 4.1.1 Modellezés, előkészítő lépések

Mivel az ismereteim szerint a hazai és nemzetközi DLR projektek esetében sehol nem állt rendelkezésre másodperc gyakoriságú környezeti adat, több helyről származó adatokkal építettem egy fiktív környezeti modellt. A modell kialakításánál a szél adatokat leszámítva minden adatot egy hazai pilot DLR projektbe bevont 220 kV-os távvezetéken gyűjtött időjárás adatokat használtam fel (a továbbiakban Pilot DLR adatok). A projekt során rögzített időjárás adatok az alábbiak:

- környezeti hőmérséklet;
- relatív páratartalom;
- légnyomás;
- csapadék mennyisége;
- napsugárzás intenzitása;



- szélesség és irány<sup>2</sup> (ám az itt rögzített szélességet nem használtam).

Az adatok tízperces gyakorisággal állnak rendelkezésre, ám a tíz percenként továbbított adatok átlagolt értékek. Mivel másodperc gyakoriságú széladatokat a Pilot DLR projekt kapcsán nem álltak rendelkezésre, azokat az National Center for Atmospheric Research (NCAR), Egyesült Államokbeli kutató szervezetének Earth Observing Laboratory (EOL) laborja által készített mérései segítségével pótoltam (a továbbiakban EOL adatok). Az EOL projektje 2010 novembere és 2011 februárja között futott, amely során ultrahangos szélesség mérő segítségével 3 dimenziós (u, v, w komponens) szélesség adatokat rögzítettek 1 Hz-et meghaladó gyakorisággal, majd azok átlagolásával közöltek másodperces felbontású adatokat a 93 napos időintervallumra. A méréseket az Utah állambeli Salt Lake City környéken 7 helyszínen végezték, ahol a szélesség mérők a föld közelében voltak. Az eszközöket öt esetben 10 m-es magasságban, két esetben 3 m-es magasságban telepítették.

#### 1. Táblázat – Az EOL mérési helyszínek adatai

Paraméter	Helyszín sorszáma						
	1	2	3	4	5	6	7
Szélesség	40.7786°	40.7377°	40.6969°	40.681°	40.6135°	40.5938°	40.5136°
Hosszúság	-112.1031°	-111.913°	-111.839°	-111.995°	-111.804°	-112.062°	-111.974°
Tenger-szint feletti magasság	1520 m	1520 m	1520 m	1520 m	1520 m	1520 m	1520 m
Szenzor magasság	3 m	10 m	10 m	10 m	10 m	3 m	10 m

---

<sup>2</sup> Megjegyzés: Jelen dolgozatban, az angol szakirodalomhoz hasonlóan megkülönböztetem a „wind speed” és „wind velocity” fogalmakat, és előbbi esetben szélességről, míg utóbbi esetben szélvektorról beszélek. Valamint az angol fogalmaknak megfelelően előbbi egy dimenziótlan skalárt jelöl, utóbbi pedig vektort, amelyet más esetekben a magyar sebesség is feltételez. Mindezt a szakirodalommal való jobb összhang, és az olvashatóságot nagyban hátráltató folyamatos kikötések elkerülése végett alkalmaztam.

Habár a szélesség 3 dimenziósan állt rendelkezésre, jelen szakaszban – ahol időbeli felbontás hatásait vizsgálom – csupán a két, földfelszínnel párhuzamos dimenzióban rögzített szélességeket ( $u$  és  $v$  komponens) használtam. Ennek oka az, hogy a legtöbb szélesség mérő eszköz csak ezt képes rögzíteni, így a DLR projektekben szereplő széladatok is jellemzően a légáramlás földfelszínnel párhuzamos komponenseivel dolgoznak.

Tekintve, hogy összesen 93 napra állt rendelkezésre EOL adat, a fiktív környezeti állapot leírására szolgáló adattábla elkészítése során a hazai Pilot adatsorból kiválasztottam 3 hónapnyi adatot 2022. január 1, 00:00-tól 2022 március 31, 23:50-ig és ehhez illesztettem szél adatként az EOL méréseket. A beillesztés során 10 perces időközönként rendelkezésre álló Pilot adatokat interpoláltam egy másodperces sűrűségűvé. A hiányzó adatok helyére bemásoltam az adott időpontot megelőző első tízperces adatot. Majd az így már másodperces gyakoriságú adattáblához hozzáillesztettem az ' $u$ ' és ' $v$ ' széladatokat tartalmazó 2 adatvektor hosszát az adattáblához igazítva. Végül az ' $u$ ' és ' $v$ ' szélességvektorokat átszámítottam a DLR alkalmazásoknál megszokott poláris leképezésbe. Az így kapott szélesség és szélirány adatokat szintén hozzáillesztettem az adattáblához, az ' $u$ ' és ' $v$ ' vektor szerinti felbontást megőrizve. Ezzel állt elő a 1 másodperces felbontású környezeti paramétereket tartalmazó adattábla.

Ezután ezt az 1 másodperces felbontású adattáblát felhasználva létrehoztam egy 10 perces felbontású adattáblát is, ahol a 10 perces értékeket az adott tíz percbe tartozó 1 másodperces adatok átlagaként határoztam meg. Az így létrejövő, polárisan leképezett átlagok azonban még nem megfelelőek, mert habár a szélességek skaláris átlaga értelmezhető, a szélirányok skaláris átlaga nem alkalmas az átlagos szélirány kifejezésére. Emiatt a vektoriális átlagok módszerét alkalmaztam [1], és az ' $u$ ' és ' $v$ ' bázisvektorokkal párhuzamos komponensen átlagát alkalmaztam. A 10 perces átlagszélvektor meghatározása után ismét átszámoltam poláris leképezésbe, hogy a megszokott szélirány és szélesség formátum előálljon. Végül ezt az adattáblát ugyancsak egy másodperces gyakoriságúvá interpoláltam.

A Pilot DLR projektben működő időjárás állomás esetében nem ismert, hogy pontosan milyen módszerrel áll elő a végső szél adat. Ugyanakkor az az információ ismert, hogy az eszköz 10 másodpercenként rögzíti a szélességet és a 10 percenként

továbbított adat ezen mérések átlag értéke. Feltételezve, hogy az időjárás állomás a bemutatott vektoriális átlagolás szerint képezi az átlagos szélességet, létrehoztam egy módosított 10 perces szélesség átlagokat tartalmazó adattáblát is, ahol a 10 perces átlagok alapjául egy 10 másodperces gyakoriságú szélesség adatsor szolgált. Ezt az adatsort az eredeti 1 másodperces felbontású adatsorból képeztem, 10 másodperces mintavételezéssel. Az így előálló, 10 másodperces mintavételezésű átlagot a fentieknek megfelelően szintén interpoláltam.

A fenti 1 másodperces és két 10 perces (de 1 másodpercesre interpolált) átlagokat tartalmazó adattáblákat mind a hét helyszínről származó adatokkal feltöltöttem. Az adatok végső tisztítását, előkészítését, valamint az adatelemzéseket a kezdeti nyers adatok kinyerése után a MATLAB szoftvercsomag segítségével végeztem.

## **4.1.2 Eltérő megközelítésű szélmodellek összehasonlítása**

### **4.1.2.1 Szélesség különbségek eloszlása**

A szélességek összehasonlításánál a pillanatnyi szélvektorok nagyságát hasonlítottam össze a 10 perces átlagok során kapott átlagszélvektorok nagyságával. Az összehasonlítást elvégeztem az 1 másodperces, és a 10 másodperces mintavételezésen alapuló 10 perces átlagszélvektorokkal is.

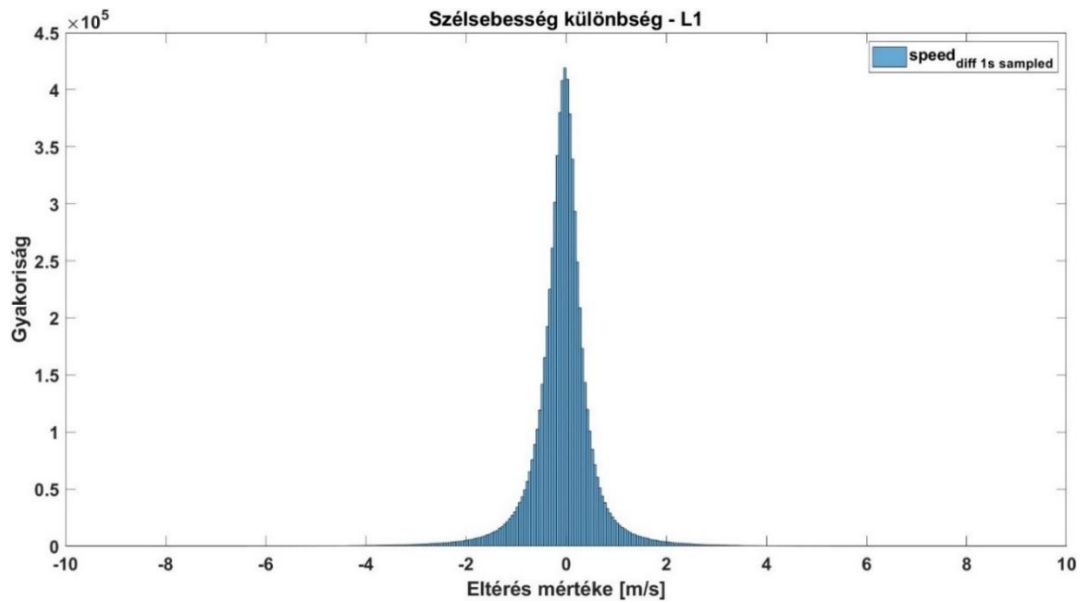
A 10 perces szélesség átlagok és az 1 másodperces szélesség adatok közötti különbségek eloszlásának adatait a 2. és 3. táblázatok mutatják be. A táblázatokból látszik, hogy jelentős hatása nincs annak, hogy milyen módszerrel számoltam ki a 10 perces átlag értékeket, így a megállapításaimat a 2. táblázat alapján teszem, azzal a feltételezéssel élve, hogy azok ugyanúgy igazak a másik 10 perces adatokkal számolt eredményekre is. Az eredmények alapján látszik, hogy az átlagos eltérés nem jelentős. Ugyanakkor relatív nagy eltérések tapasztalhatóak a különböző mérési helyszínek adatai között. Az különböző helyszínek átlagos szórása átlagosan 0.7789 m/s. Az 5. és a 6. ábra két példa segítségével mutatja be a szélességek közötti különbségek eloszlását.

**2. Táblázat - A szélesség különbségek eloszlásának mutatói, amikor a 10 perces átlag 1 másodperces mintavételezésű adat felhasználásával készült - Az adatok m/s-ban vannak megadva**

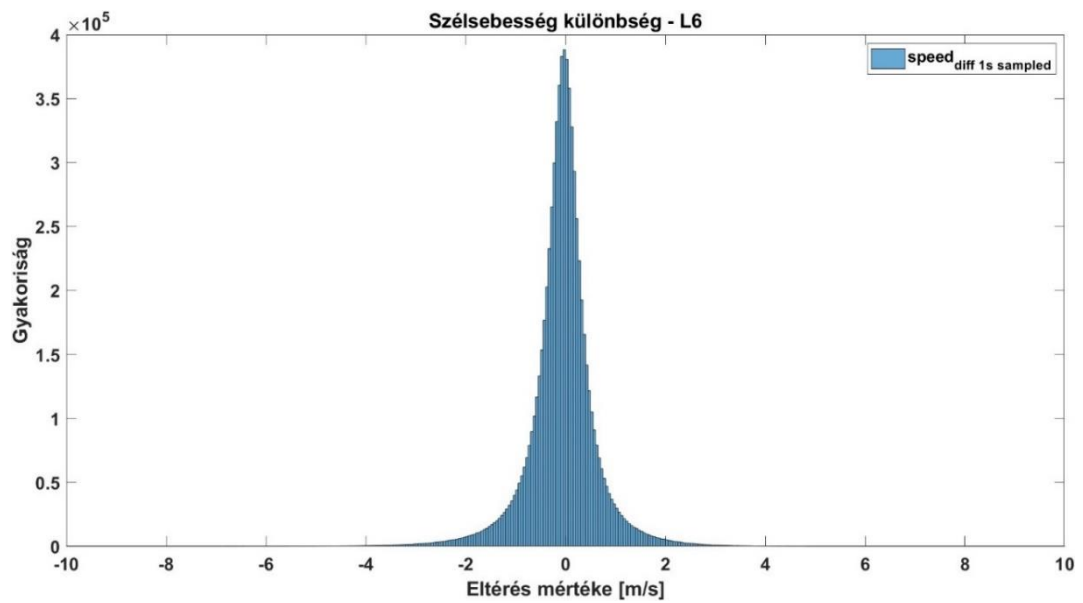
Paraméter	1. helyszín	2. helyszín	3. helyszín	4. helyszín	5. helyszín	6. helyszín	7. helyszín	Mutatók átlaga
Átlag [m/s]	-0.0661	-0.0890	-0.1255	-0.0886	-0.1407	-0.0655	-0.0699	-0.0922
Szórás [m/s]	0.6363	0.7295	0.8011	0.8375	0.8127	0.7151	0.8584	0.7701
25. percentilis [m/s]	-0.3008	-0.3622	-0.3664	-0.4079	-0.4239	-0.3363	-0.4453	-0.3775
75. percentilis [m/s]	0.1913	0.2214	0.1818	0.2691	0.2064	0.2351	0.3376	0.2347
10. percentilis [m/s]	-0.6589	-0.7929	-0.8031	-0.9350	-0.9060	-0.7565	-1.0264	-0.8398
90. percentilis [m/s]	0.5019	0.5782	0.5042	0.7231	0.5706	0.6060	0.8662	0.6215

**3. Táblázat - A szélesség különbségek eloszlásának mutatói, amikor a 10 perces átlag 10 másodperces mintavételezésű adat felhasználásával készült - Az adatok m/s-ban vannak megadva**

Paraméter	1. helyszín	2. helyszín	3. helyszín	4. helyszín	5. helyszín	6. helyszín	7. helyszín	Mutatók átlaga
Átlag [m/s]	-0.0665	-0.0890	-0.1264	-0.0882	-0.1394	-0.0638	-0.0691	-0.0918
Szórás [m/s]	0.6381	0.7350	0.8124	0.8403	0.8243	0.7259	0.8483	0.7749
25. percentilis [m/s]	-0.3014	-0.3623	-0.3671	-0.4081	-0.4129	-0.3365	-0.4455	-0.3763
75. percentilis [m/s]	0.1916	0.2222	0.1818	0.2696	0.2070	0.2363	0.3386	0.2353
10. percentilis [m/s]	-0.6610	-0.7941	-0.8050	-0.9357	-0.9062	-0.7575	-1.0268	-0.8409
90. percentilis [m/s]	0.5025	0.5793	0.5047	0.7231	0.5729	0.6088	0.8690	0.6229



6. Ábra - Szélsebesség különbségek eloszlása hisztogram megjelenítéssel - szélforrás: 1. helyszín, tízpercesátlag: 1 s mintavételezés



7. Ábra - Szélsebesség különbségek eloszlása hisztogram megjelenítéssel - szélforrás: 1. helyszín, tízpercesátlag: 10 s mintavételezés

#### 4.1.2.2 Szélirány különbségek eloszlása

A szélirányok összehasonlításánál a pillanatnyi szélvektorok szélirányát hasonlítottam össze a 10 perces átlagok során kapott átlagszélvektorok irányával. Az

összehasonlítást elvégeztem az 1 másodperces, és a 10 másodperces mintavételezésen alapuló 10 perces átlagszélvektorokkal is.

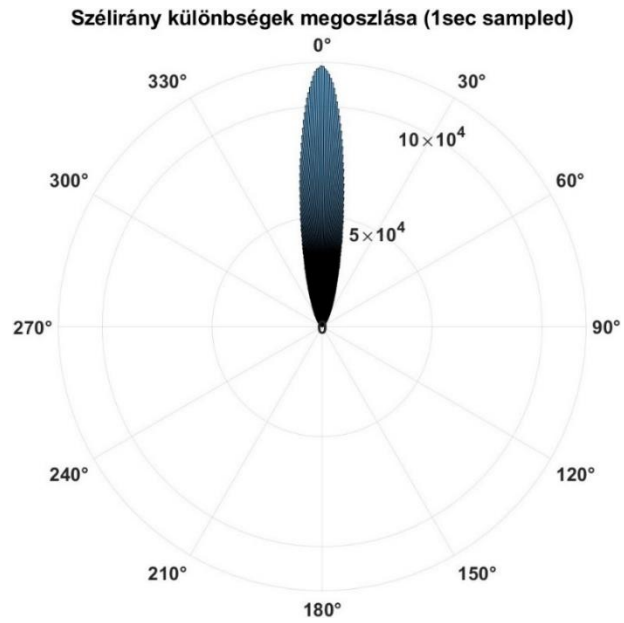
A 10 perces szélirány átlagok és az 1 másodperces szélesség adatok szélirány értékei közötti különbségek eloszlásának adatait a 4. és az **Error! Reference source not found.** táblázatok mutatják be. Az eredmények kiértékelésénél az szélességekkel megegyező következtetéseket vontam le. A különböző helyszínek átlagos szórása átlagosan  $26.1242^\circ$ . Az is látszik, hogy a szórás tekintetében nagy különbségek mutatkoznak az egyes mérési helyszínek között. A 7. – 11. ábrák polár hisztogramok, valamint hagyományos hisztogramok segítségével mutatják be a szélirány eltérések eloszlását két példaként kiválasztott helyszín esetében.

**4. Táblázat - A szélirány különbségek eloszlásának mutatói, amikor a 10 perces átlag 1 másodperces mintavételezésű adat felhasználásával készült - Az adatok fokban vannak megadva**

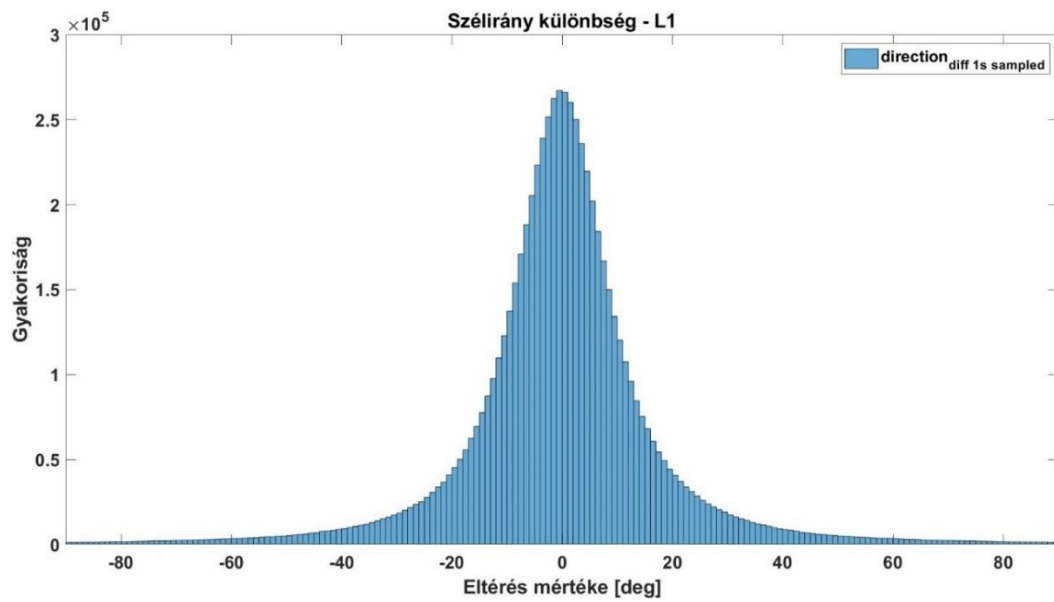
Paraméter	1. helyszín	2. helyszín	3. helyszín	4. helyszín	5. helyszín	6. helyszín	7. helyszín	Mutatók átlaga
Átlag [°]	0.0263	-0.1490	-0.1543	-0.1052	0.0769	0.0099	-0.0277	-0.0462
Szórás [°]	24.1054	27.1366	33.8679	24.3192	33.0108	20.6484	19.3869	26.0679
25. percentilis [°]	-7.7380	-11.2665	-14.0204	-9.6410	-12.2930	-6.3237	-7.0360	-9.7598
75. percentilis [°]	7.6293	10.9759	13.6911	9.5959	12.5303	6.3156	6.9952	9.6762
10. percentilis [°]	-18.5739	-24.8915	-31.4811	-21.5011	-28.8428	-15.1540	-15.1134	-22.2225
90. percentilis [°]	18.7111	24.4095	30.9804	21.5959	29.3641	15.1973	15.2428	22.2144

**5. Táblázat - A szélirány különbségek eloszlásának mutatói, amikor a 10 perces átlag 10 másodperces mintavételezésű adat felhasználásával készült - Az adatok fokban vannak megadva**

Paraméter	1. helyszín	2. helyszín	3. helyszín	4. helyszín	5. helyszín	6. helyszín	7. helyszín	Mutatók átlaga
Átlag [°]	0.0299	-0.1494	-0.1260	-0.0923	0.1067	0.0057	-0.0169	-0.0346
Szórás [°]	24.1359	27.1939	33.9450	24.3787	33.0464	20.7370	19.4328	26.1242
25. percentilis [°]	-7.7550	--11.2930	-14.0332	-9.6678	-12.3038	-6.3534	-7.0483	-6.5526
75. percentilis [°]	7.6595	10.9963	13.7411	9.6219	12.5687	6.3207	7.0222	9.7043
10. percentilis [°]	-18.5997	-24.9416	-31.5206	-21.5504	-28.8683	-15.2077	-15.1134	-22.2574
90. percentilis [°]	18.7545	24.4472	31.0971	21.4922	29.4454	15.2327	15.2428	22.2446

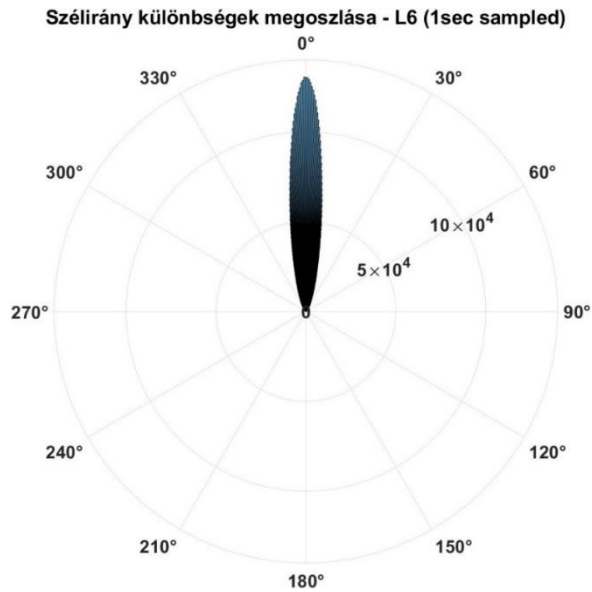


8. Ábra - Szélirány különbségek eloszlása polár hisztogram megjelenítéssel - szélforrás: 1. helyszín, tízpercesátlag: 1 s mintavételezés

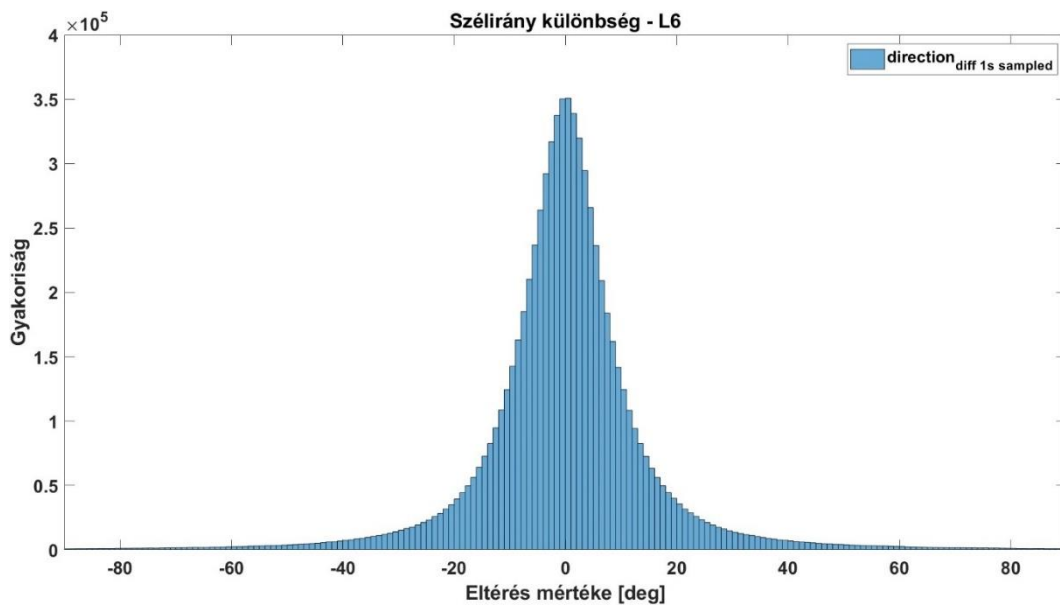


9. Ábra - Szélirány különbségek eloszlása histogram megjelenítéssel - szélforrás: 1. helyszín, tízpercesátlag: 1 s mintavételezés





10. Ábra - Szélirány különbségek eloszlása polár hisztogram megjelenítéssel - szélforrás: 6. helyszín, tízpercesátlag: 1 s mintavételezés



11. Ábra - Szélirány különbségek eloszlása hisztogram megjelenítéssel - szélforrás: 6. helyszín, tízpercesátlag: 1s mintavételezés

### 4.1.3 Terhelhetőség számítások

A terhelhetőség kiszámítására, egy a CIGRE modellen [13] alapuló fizikai modellt használtam. A számítást elvégző algoritmus már korábban implementálásra került korábbi vizsgálatokhoz és DLR szakértői rendszerek futtatásához. A terhelhetőség

számításánál mind a hét különböző helyszínről származó adatsorokon alapuló fiktív környezeti állapotokat leíró adatokkal felhasználtam.

A számítás során kiszámoltam az alábbi értékek számítottam ki:

- Másodperces felbontású terhelhetőség – az 1 másodperces felbontású széladatokat tartalmazó adattábla segítségével);
- Másodperces felbontású terhelhetőség – a 10 perces átlag szél adatokat tartalmazó, de interpolált adattáblák segítségével.

Az így előálló idősoros terhelhetőségek segítségével ezután képeztem az 1 másodperces felbontású széladatokon alapuló terhelhetőség ( $Amp_{detailed}$ ), valamint a tízperces átlagokon alapuló terhelhetőség közötti különbséget az (1) - (2) összefüggések alapján.

$$Amp_{diff\ 1s\ sampled} = Amp_{detailed} - Amp_{coarse\ 1s\ sampled} \quad (1)$$

$$Amp_{diff\ 10s\ sampled} = Amp_{detailed} - Amp_{coarse\ 10s\ sampled} \quad (2)$$

Ahol:

- $Amp_{coarse\ 1s\ sampled}$  Az 1 másodperces mintavételezésen alapuló 10 másodperces széladatok segítségével kapott terhelhetőség.
- $Amp_{coarse\ 10s\ sampled}$  Az 1 másodperces mintavételezésen alapuló 10 másodperces széladatok segítségével kapott terhelhetőség.
- $Amp_{detailed}$  Az 1 másodperces széladatok segítségével kapott terhelhetőségek.
- $Amp_{diff\ 1s\ sampled}$  A részletes felbontású terhelhetőség és a durva felbontású terhelhetőség közötti különbség – amikor a durva felbontásúnál a 10 perces szélátlagok 1 másodperces mintán alapulnak.
- $Amp_{diff\ 10s\ sampled}$  A részletes felbontású terhelhetőség és a durva felbontású terhelhetőség közötti különbség – amikor a

durva felbontásúnál a 10 perces szélátlagok 10 másodperces mintán alapulnak.

Ezt követően az így kapott terhelhetőség különbségek eloszlását vizsgáltam. Meghatároztam a különbségek átlagát, szórását, valamint a 25. és 75. valószínűségi percentilist, illetve a 10. és a 90. percentilist is. Az eredményeket a 6. Táblázat és a 7. Táblázatok tartalmazzák.

Tekintve, hogy a két táblázat értékei között nincs jelentős eltérés, azaz a 10 másodperces mintavételezésű 10 perces átlag esetén az implicit hiba nem jelentősen nagyobb, mint az 1 másodperces mintavételezésű esetben, a későbbiekben a 6. Táblázatot elemzem, és feltételezem, hogy a következtetésem igazak a 7. Táblázat adataira is.

A táblázatokból látszik, hogy a terhelhetőség átlagára nincs jelentős hatással a szélesebb mérés felbontásának növelése. A 220 kV-os távvezeték statikus terhelhetősége (SLR) a vizsgálatba bevont adatok rögzítése idején 820A-ben volt meghatározva. Ez alapján az átlagos eltérés a két modell között az SLR-nek egy-két százalékának felel meg. Azonban az egyes tízperces időszakokra vett terhelhetőség eredmények között már jelentős eltérések mutatkoznak a két modell között. Az átlagos eltérés a két megközelítés közt 82.3723 A, (SLR 10%-a). Megfigyelhető továbbá, hogy a 7 különböző helyszínről származó terhelhetőség adatok között jelentős különbség mutatkozik. A 4., 6. és 7. számú helyszínről származó széladatok segítségével számolt terhelhetőség különbségek sokkal kevésbé lapos eloszlást mutatna.

Az terhelhetőségek közötti különbségek eloszlását a 12. Ábra - 15. Ábra szemlélteti. Az ábrákon is megfigyelhető, ami az táblázatokból kiolvasható volt, hogy 6. számú helyről származó adatokkal számolt különbségek eloszlása hegyesebb. A boxplot diagram megjelenítésben a kék üres körökkel a kiugró értékeket jelölik. Kiugró értékről beszélhetünk, ha az érték nagyobb a boxplot maximumánál vagy kisebb a minimumánál (az angolszász terminológiában adjacent value).<sup>3</sup>

---

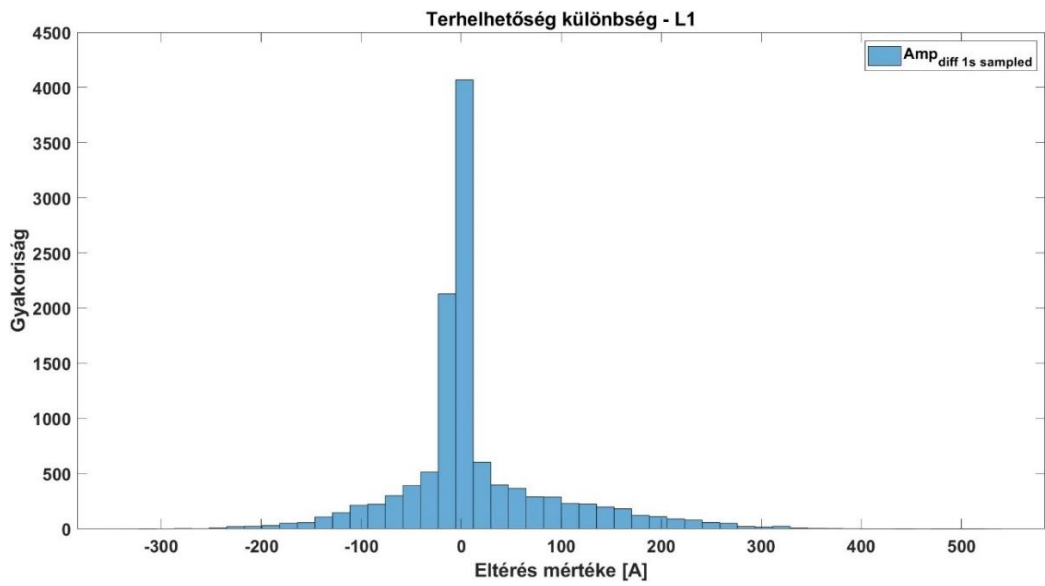
<sup>3</sup> A maximum és a minimum a megfelelő kvartilisnél egy interkvartilis értékével nagyobb vagy kisebb érték, ahol az interkvartilis a két kvartilis közötti távolság.

**6. Táblázat – A terhelhetőség különbségek eloszlásának mutatói, amikor a tízperces átlag egy másodperces mintavételezésű adat felhasználásával készült**

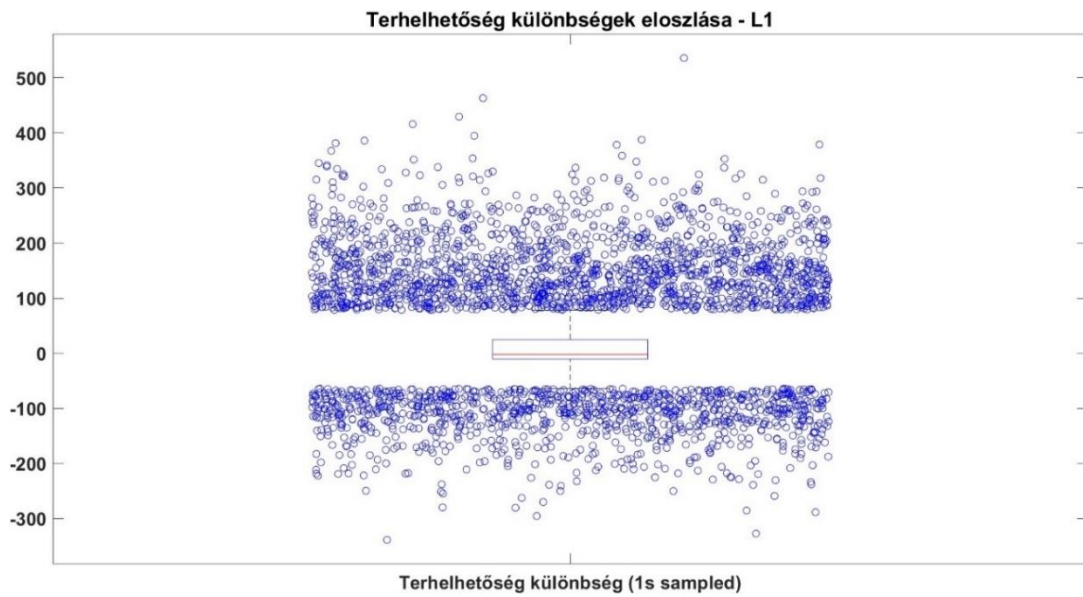
<b>Paraméter</b>	<b>1. helyszín</b>	<b>2. helyszín</b>	<b>3. helyszín</b>	<b>4. helyszín</b>	<b>5. helyszín</b>	<b>6. helyszín</b>	<b>7. helyszín</b>	<b>Mutatók átlaga</b>
<b>Átlag [A]</b>	13.1693	14.8808	28.5138	5.2326	18.3177	6.4058	-0.5678	12.2789
<b>Szórás [A]</b>	77.7957	88.5496	89.4825	5.2326	87.7806	74.1915	67.8739	70.1295
<b>25. percentilis [A]</b>	-10.7182	-26.5878	-20.7446	-21.7947	-22.4234	-8.9205	-12.0749	-17.6092
<b>75. percentilis [A]</b>	24.9137	51.4907	74.2924	9.7073	41.265	1.9115	-0.80835	28.9675
<b>10. percentilis [A]</b>	-59.8085	-84.1262	-64.1811	-71.3907	-64.7355	-52.7020	-52.2016	-64.1637
<b>90. percentilis [A]</b>	120.8939	142.1608	156.6019	112.4801	142.2622	85.8266	59.0272	117.0361

**7. Táblázat – A terhelhetőség különbségek eloszlásának mutatói, amikor a tízperces átlag tíz másodperces mintavételezésű adat felhasználásával készült**

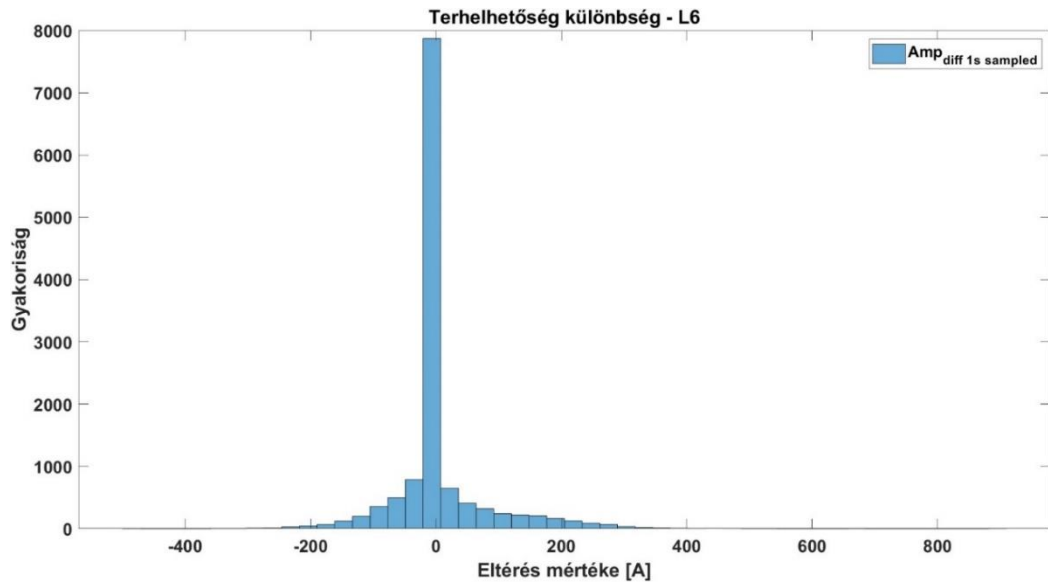
<b>Paraméter</b>	<b>1. helyszín</b>	<b>2. helyszín</b>	<b>3. helyszín</b>	<b>4. helyszín</b>	<b>5. helyszín</b>	<b>6. helyszín</b>	<b>7. helyszín</b>	<b>Mutatók átlaga</b>
<b>Átlag [A]</b>	13.0586	14.8237	28.9083	5.0896	18.4278	6.0388	-0.5583	12.2555
<b>Szórás [A]</b>	79.0864	90.8371	89.4825	77.3566	91.2753	77.6365	70.9314	82.3723
<b>25. percentilis [A]</b>	-14.1071	-28.7432	-21.6652	-26.7652	-24.128	-13.4424	-16.9975	-20.8355
<b>75. percentilis [A]</b>	25.4856	52.3294	75.3019	13.3998	42.5694	6.3022	3.6934	31.2974
<b>10. percentilis [A]</b>	-61.1930	-84.5247	-64.3297	-71.9049	-69.9786	-53.9788	-53.3805	-65.6129
<b>90. percentilis [A]</b>	120.6295	142.9474	157.5299	112.8219	143.8197	86.4336	61.5794	117.9659



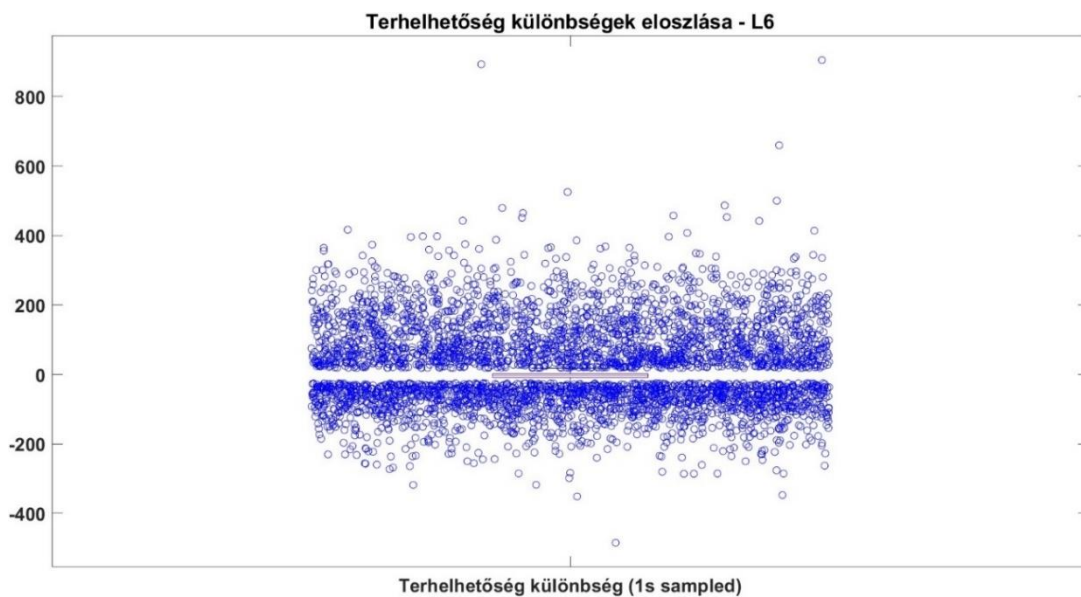
12. Ábra Terhelhetőség különbségek eloszlása hisztogram megjelenítéssel - szélforrás: 1. helyszín, tízperces átlag: 1s mintavételezés



13. Ábra Terhelhetőség különbségek eloszlása boxplot megjelenítéssel - szélforrás: helyszín 1, tízperces átlag: 1 s mintavételezés



14. Ábra Terhelhetőség különbségek eloszlása hisztogram megjelenítéssel - szélforrás: helyszín 6, tízperces átlag: 1 s mintavételezés



15. Ábra Terhelhetőség különbségek eloszlása boxplot megjelenítéssel - szélforrás: helyszín 6, tízperces átlag: 1 s mintavételezés

#### 4.1.4 Az eredmények értékelése, következtetések

Az elemzéseim során kétféle durva felbontású szélmodell esetén azt tapasztaltam, hogy a kalkulált terhelhetőség különbséget nem befolyásolja jelentősen a mintavételezés másodperces léptékű változtatása. Tekintve, hogy az eredmények jó közelítéssel azonosak, a megállapításaimat a 1 másodperces mintavételezésű adatsorra teszem. A

különböző kiszámított terhelhetőségeket összevetve azt tapasztaltam, hogy a szélmérés időbeli felbontásának növelése, habár az esetek többségében némi terhelhetőség növekedést eredményezett, ez nem jelentős. Emellett volt olyan széladatsor, amely esetében az átlagos terhelhetőség csökkent. Azonban az egyes 10 perces adatok között tapasztalt eltérések jelentősek voltak. Az átlagos szórás 82 A-re adódott (SLR 10%). A vizsgált időszak közel 10%-ában a durva felbontású széladatokkal számolt terhelhetőség 118 A-el elmaradt (SLR 14%), míg az időszak szintén 10%-ában 65 A-rel (SLR 8%) meghaladta a részletes széladatokkal számolt terhelhetőséget.

Figyelembe véve, hogy a DLR modellek által számított átlagos terhelhetőségek az SLR- értékhez képest közel 400 A-el voltak nagyobbak, a kapott eredmények segítségével feltárt, a leegyszerűsítés következményeként megjelenő bizonytalanság jelentősnek mondható. Továbbá, mivel a 7 eltérő széladatsor esetén a bizonytalanság mértéke is mutatott jelentős eltérést, így arra lehet következtetni, hogy a terhelhetőség számítások között tapasztalható különbségek felbontás függése egyedi sajátosságokat mutat. Ezek alapján fontosnak látszik, hogy a terhelhetőség számítások implicit hibájának a temporális felbontás függését további vizsgálatokkal jobban kifejtjük. Emellett javasolt, hogy a megvalósuló DLR projektek esetén a környezeti adottságok, valamint a kiépülő rendszer megengedett hibájának figyelembevételével kerüljön meghatározásra a temporális felbontás. Ehhez jó bemeneti adatokat szolgálhat egy adott távvezeték LIDAR módszerrel történő felmérése.

## **4.2 A vertikális rétegződés hatása**

Ahogy a dolgozat 4.1-es fejezetében már említésre került, a szélmérési adatokkal dolgozó DLR projektek esetében ma a bevett gyakorlat szerint a széladatok egy adott magasságban kerülnek meghatározásra, majd a számítások ezek alapján történik. A szenzor telepítés során nincs tudomásom róla, hogy a telepítendő szenzor helyét a szél rétegződését figyelembe véve határoznák meg. Ezáltal a modellek egy pontbeli mérési eredmény alapján konstansnak feltételezik a szélesebséget a vizsgált távvezeték mentén minden magasságban. A szélesebség magasság függésének elhanyagolása emiatt jelentős hibát eredményezhet a terhelhetőség számításokba. Jelen fejezetben a dolgozat igyekszik feltárni ennek a hibának a léptékét. A vizsgálat a nem alkalmas a teljes távvezetéken jelentkező hiba mértékének megismerésére, mivel a távvezeték szakaszt nem osztottam fel különböző magasságú szakaszokra. A számítások során a bevett

gyakorlatnak megfelelően egy-egy mérési pontból származó adatokat feltételeztem jellemzőnek a teljes távvezeték szakaszra, így ezen számítások sem tekinthetők pontosnak, a célja a modell hibájának, és ennek a hiba léptékének feltárása.

#### **4.2.1 Modellezés, előkészítő lépések**

A 4.1 alfejezetben tárgyalt 1. hipotézishez hasonlóan jelen esetben sem volt tudomásom olyan DLR projektről, ahol több, földközeli magasságban végeztek szélesség méréseket. Emiatt az 1. hipotézisben tárgyaltakhoz hasonlóan két helyszínről származó fiktív környezeti modell adatokkal szimuláltam. A szélességet leszámítva a többi környezeti adatot ismét a hazai Pilot DLR projekt 220 kV-os távvezetékére rögzített időjárás adatok szolgáltatták. Ugyancsak ennek a távvezetéknek a metaadatait használtam a terhelhetőség számításánál.

A szélesség adatokat pedig az egyesült államokbeli Los Alamos National Laboratory (LANA) által végzett mérések eredményei szolgáltatták. Az LANA mérési eredményei archivált formában online szabadon hozzáférhetők, és letölthetők. Az LANA mérési pontjai közül 4 mérési pontot választottam ki. Ezek közül mind rögzíti a szélesség értékeket különböző magasságokban:

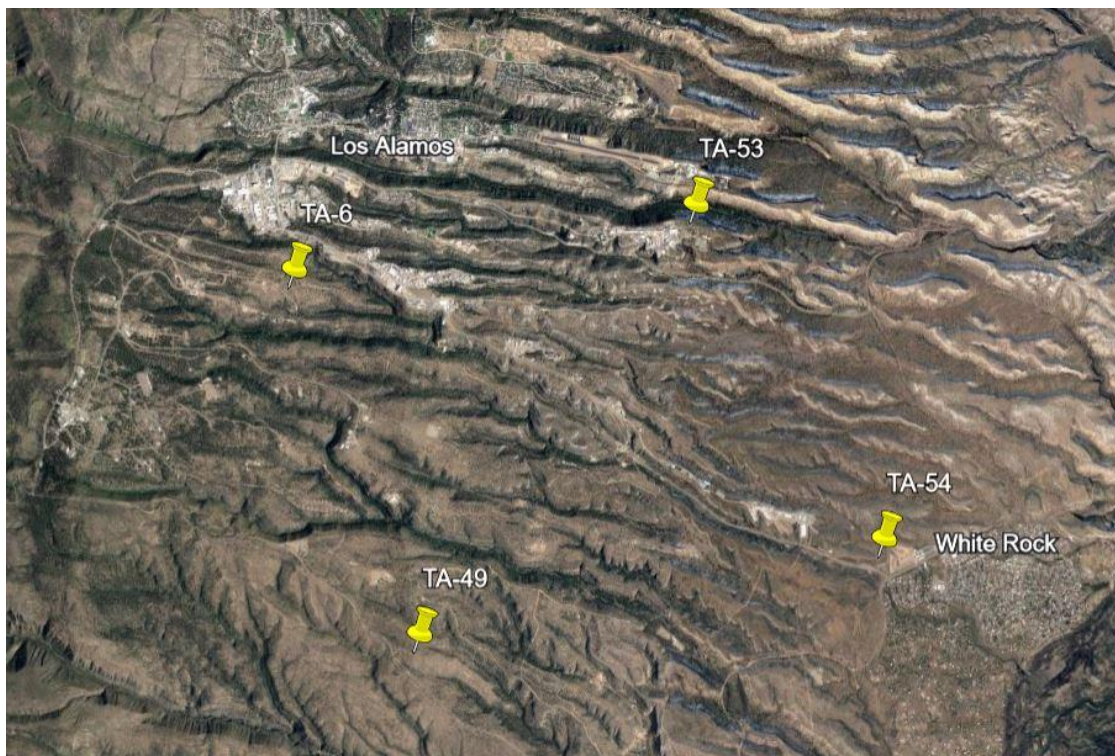
- 11.5 m-en (megfeleltethető egy átlagos hazai nagyfeszültségű távvezeték adott oszlopközében a legnagyobb belógású pontnak) – mérési magasság rövidítése: H1;
- 23 m-en (megfeleltethető egy átlagos hazai nagyfeszültségű távvezeték adott oszlopközében az oszlop alsó keresztkar magasságának) – mérési magasság rövidítése: H2;
- 46 m-en. (hazai viszonylatban megfeleltethető egy speciális átfeszítés esetén az oszlop alsó keresztkar magasságának) – mérési magasság rövidítése: H3.

A mérési helyszínek adatait a 8.táblázat rögzíti. A szenzorok pontos elhelyezkedésének, valamint a környezetük topológiai sajátosságainak megértését a 16. ábra és a 17. ábra segítik.



## 8. Táblázat - A Los Alamosi mérési pontok és adataik

Paraméter	Helyszín			
	TA-06	TA-49	TA-53	TA-54
Szélesség	35.8614°	35.8133°	35.8701°	35.8258°
Hosszúság	-106.3196°	-106.2964°	-106.2543°	-106.2233°
Tengerszint feletti magasság	2 263 m	2 147 m	2 131 m	1 996 m
Szenzor magasságok	11.5 m 23 m 46 m	11.5 m 23 m 46 m	11.5 m 23 m 46 m	11.5 m 23 m 46 m



16. Ábra - A Los Alamos közelében lévő 4 mérőállomás

A LANL-beli széladatok 15 perces időbeli felbontással álltak rendelkezésre, így a Pilot DLR rendszerből származó adatokkal először ezeket szinkronizáltam. Ezt követően a Pilot rendszerből származó többi környezeti adatot tartalmazó adattáblához hozzáillesztettem a mindhárom magasságban elvégzett szélesség mérés adatait. Az adatok a megszokott szélesség és szélirány leképzésben voltak megadva, így azokat nem kellett más leképzésbe átszámolni. Ezt elvégeztem mind a 4 szélmérési helyszín adataival, így végül 4 adattábla állt rendelkezésre. Az így előálló idősoros adatmátrixok

2022 január 1, 00:00-tól 2022 május 31, 23:45-ig tartalmaznak időjárás adatokat 15 perces gyakorisággal.



**17. Ábra - A meteorológiai TA-49-es állomás és közvetlen környezete, valamint a meteorológia állomás (nyíllal jelölve) - Google Street View kép a mérőállomástól légvonalban 400m-re futó útról [2]**

Ennél a modellezésnél szinté az adatok végső tisztítását, előkészítését, valamint az adatelemzéseket a kezdeti nyers adatok kinyerése után a MATLAB szoftvercsomag segítségével végeztem.

## **4.2.2 Eltérő magasságban rögzített széladatok összehasonlítása**

### **4.2.2.1 Szélesség különbségek eloszlása**

A szélirányok összehasonlításánál a különböző földfelszín feletti magasságokban rögzített szélesség adatokat különbségét képeztem, majd ezen különbségek eloszlását vizsgáltam. A képzett különbségek:

- H2-H1: A 23 m-en mért szélességekből kivontam a 11.5 m-en mért szélességeket.
- H3-H2: A 46 m-en mért szélességekből kivontam a 23 m-en mért szélességeket.
- H3-H1: A 46 m-en mért szélességekből kivontam a 11.5 m-en mért szélességeket.

9. Táblázat – A 23 m-en mért szélességek és a 11.5 m-en mért szélességek közötti különbségek eloszlásának mutatói

Paraméter	TA-06 H2-H1	TA-49 H2-H1	TA-53 H2-H1	TA-54 H2-H1	Mutatók átlaga
Átlag [m/s]	95.1898	57.8364	67.9843	65.4377	71.6121
Szórás [m/s]	148.6477	129.8650	109.2479	143.6708	132.8579
25. percentilis [m/s]	64.8565	-2.9144	30.4722	23.1957	28.9025
75. percentilis [m/s]	174.7984	97.5242	103.8962	132.9404	127.2898
10. percentilis [m/s]	-48.4750	-49.6041	-13.7690	-74.4035	-46.5629
90. percentilis [m/s]	216.7739	129.8650	146.2625	211.2352	176.0342

10. Táblázat – A 46 m-en mért szélességek és a 23 m-en mért szélességek közötti különbségek eloszlásának mutatói

Paraméter	TA-06 H3-H2	TA-49 H3-H2	TA-53 H3-H2	TA-54 H3-H2	Mutatók átlaga
Átlag [m/s]	66.4217	48.1432	67.5395	77.4494	64.8885
Szórás [m/s]	130.1225	136.4541	129.7145	152.2230	137.1285
25. percentilis [m/s]	25.2021	-13.2008	18.0978	18.8824	12.2454
75. percentilis [m/s]	116.5030	93.3934	115.3821	132.4295	114.4270
10. percentilis [m/s]	-44.9857	-68.2244	-40.5650	-48.1167	-50.4730
90. percentilis [m/s]	173.7847	164.6730	179.0712	232.9528	187.6204

**11. Táblázat – A 46 m-en mért szélességek és a 11.5 m-en mért szélességek közötti különbségek eloszlásának mutatói**

Paraméter	TA-06 H3-H1	TA-49 H3-H1	TA-53 H3-H1	TA-54 H3-H1	Mutatók átlaga
Átlag [m/s]	66.4217	48.1432	67.5395	77.4494	64.8885
Szórás [m/s]	130.1225	136.4541	129.7145	152.2230	137.1285
25. percentilis [m/s]	25.2021	-13.2008	18.0978	18.8824	12.2454
75. percentilis [m/s]	116.5030	93.3934	115.3821	132.4295	114.4270
10. percentilis [m/s]	-44.9857	-68.2244	-40.5650	-48.1167	-50.4730
90. percentilis [m/s]	173.7847	164.6730	179.0712	232.9528	187.6204

#### 4.2.2.2 Szélirányok különbségének eloszlása

A szélirányok összehasonlításánál a különböző földfelszín feletti magasságokban rögzített szélesség adatokat különbségét képeztem, majd ezen különbségek eloszlását vizsgáltam. A képzett különbségek:

- H2-H1: A 23 m-en és 11.5 m-en mért szélirányok különbsége.
- H3-H2: A 46 m-en és 23 m-en mért szélirányok különbsége.
- H3-H1: A 46 m-en és 11.5 m-en mért szélirányok különbsége.

**12. Táblázat – A 23 m-en mért szélirányok és a 11.5 m-en mért szélirányok közötti eltérés**

Paraméter	TA-06 H2-H1	TA-49 H2-H1	TA-53 H2-H1	TA-54 H2-H1	Mutatók átlaga
Átlag [°]	5.1459	-4.0920	0.4554	3.2077	1.1793
Szórás [°]	11.3904	11.9154	12.1497	18.7771	13.5582
25. percentilis [°]	3	-8	-3	-2	-2.5
75. percentilis [°]	7	-1	2	4	3
10. percentilis [°]	-3	-13	-6	-10	-8
90. percentilis [°]	13	7	8	22	12.5

13. Táblázat – A 46 m-en mért szélirányok és a 23 m-en mért szélirányok közötti eltérés

Paraméter	TA-06 H3-H2	TA-49 H3-H2	TA-53 H3-H2	TA-54 H3-H2	Mutatók átlaga
Átlag [°]	4.3394	-7.8081	1.2916	4.2328	0.5139
Szórás [°]	22.2223	22.2853	23.5129	32.0479	25.0171
25. percentilis [°]	1	-24	-5	-4	-8
75. percentilis [°]	9	-3	5	7	4.5
10. percentilis [°]	-11	-14	-15	-22	-15.5
90. percentilis [°]	22	8	19	41	22.5

14. Táblázat – A 46 m-en mért szélirányok és a 11.5 m-en mért szélirányok közötti eltérés

Paraméter	TA-06 H3-H1	TA-49 H3-H1	TA-53 H3-H1	TA-54 H3-H1	Mutatók átlaga
Átlag [°]	66.4217	48.1432	67.5395	77.4494	64.8885
Szórás [°]	130.1225	136.4541	129.7145	152.2230	137.1285
25. percentilis [°]	25.2021	-13.2008	18.0978	18.8824	12.2454
75. percentilis [°]	116.5030	93.3934	115.3821	132.4295	114.4270
10. percentilis [°]	-44.9857	-68.2244	-40.5650	-48.1167	-50.4730
90. percentilis [°]	173.7847	164.6730	179.0712	232.9528	187.6204

#### 4.2.3 Terhelhetőség számítások

A terhelhetőség kiszámítására, ismét a CIGRE modellen alapuló fizikai modellt használtam. A terhelhetőség számításánál mind a három mérési magasságból származó szélsősebesség értékek segítségével meghatároztam a terhelhetőséget mind a négy helyszínen. Minden helyszín esetében három különbséget határoztam meg a (3) - (5) összefüggések alapján:

$$Amp_{diff\ H2\_H1} = Amp_{H2} - Amp_{H1} \quad (3)$$

$$Amp_{diff\ H3\_H2} = Amp_{H3} - Amp_{H2} \quad (4)$$

$$Amp_{diff\ H3\_H1} = Amp_{H3} - Amp_{H1} \quad (5)$$

ahol:

- $Amp_{H1}$ : a H1=11.5m-es magasságban rögzített széladatok segítségével számított terhelhetőség.
- $Amp_{H2}$ : a H2=23m-es magasságban rögzített széladatok segítségével számított terhelhetőség.
- $Amp_{H3}$  a H3=46m-es magasságban rögzített széladatok segítségével számított terhelhetőség.

Az elemzés során az így kapott különbségek eloszlását vizsgáltam. Meghatároztam a különbségek átlagát, szórását, valamint a 25-ik és 75-ik valószínűségi percentilist, illetve a 10.-ik és a 90.-ik percentilis értékét is. Az eredményeket magasságlépcső szerint rendezve az 15.-17. Táblázatokban foglaltam össze.

**15. Táblázat – A 23 m-en mért szélértékekkel számolt terhelhetőség és a 11.5 m-en számolt terhelhetőségek közötti különbségek eloszlásának mutatói**

Paraméter	TA-06 H2-H1	TA-49 H2-H1	TA-53 H2-H1	TA-54 H2-H1	Mutatók átlaga
Átlag [A]	95.1898	57.8364	67.9843	65.4377	71.6121
Szórás [A]	148.6477	129.8650	109.2479	143.6708	132.8579
25. percentilis [A]	64.8565	-2.9144	30.4722	23.1957	28.9025
75. percentilis [A]	174.7984	97.5242	103.8962	132.9404	127.2898
10. percentilis [A]	-48.4750	-49.6041	-13.7690	-74.4035	-46.5629
90. percentilis [A]	216.7739	129.8650	146.2625	211.2352	176.0342

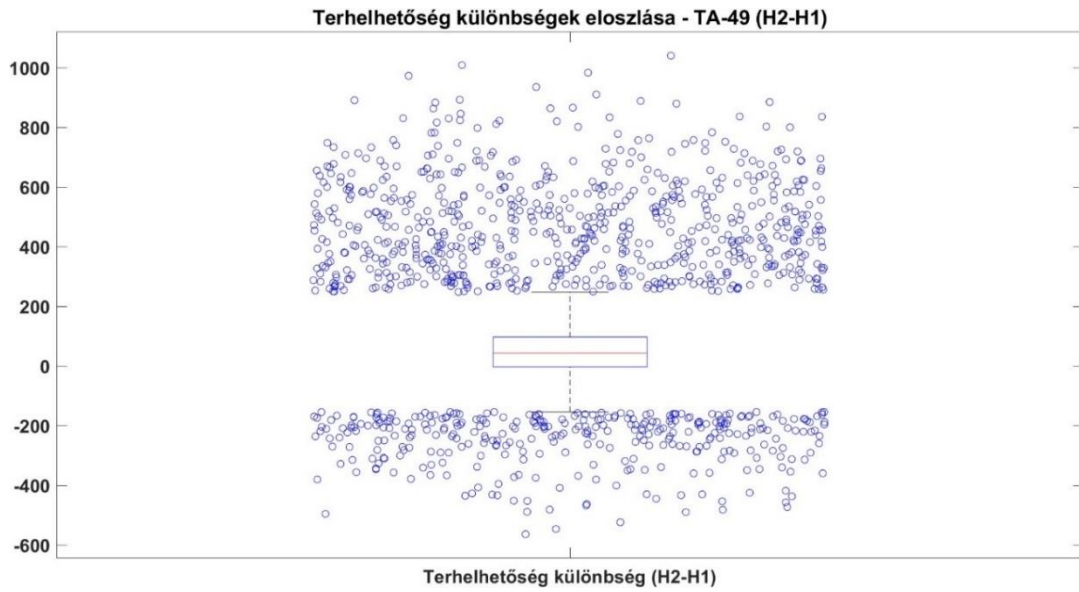
16. Táblázat – A 46 m-en mért szélértékekkel számolt terhelhetőség és a 23 m-en számolt terhelhetőségek közötti különbségek eloszlásának mutatói

Paraméter	TA-06 H3-H2	TA-49 H3-H2	TA-53 H3-H2	TA-54 H3-H2	Mutatók átlaga
Átlag [A]	66.4217	48.1432	67.5395	77.4494	64.8885
Szórás [A]	130.1225	136.4541	129.7145	152.2230	137.1285
25. percentilis [A]	25.2021	-13.2008	18.0978	18.8824	12.2454
75. percentilis [A]	116.5030	93.3934	115.3821	132.4295	114.4270
10. percentilis [A]	-44.9857	-68.2244	-40.5650	-48.1167	-50.4730
90. percentilis [A]	173.7847	164.6730	179.0712	232.9528	187.6204

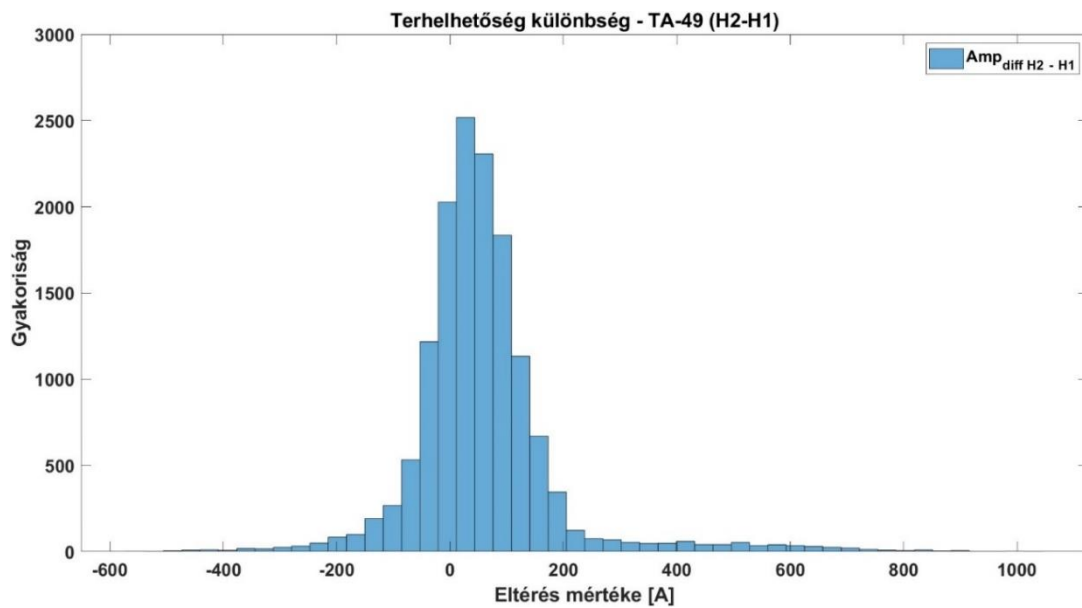
17. Táblázat – A 46 m-en mért szélértékekkel számolt terhelhetőség és a 11.5 m-en számolt terhelhetőségek közötti különbségek eloszlásának mutatói

Paraméter	TA-06 H3-H1	TA-49 H3-H1	TA-53 H3-H1	TA-54 H3-H1	Mutatók átlaga
Átlag [A]	66.4217	48.1432	67.5395	77.4494	64.8885
Szórás [A]	130.1225	136.4541	129.7145	152.2230	137.1285
25. percentilis [A]	25.2021	-13.2008	18.0978	18.8824	12.2454
75. percentilis [A]	116.5030	93.3934	115.3821	132.4295	114.4270
10. percentilis [A]	-44.9857	-68.2244	-40.5650	-48.1167	-50.4730
90. percentilis [A]	173.7847	164.6730	179.0712	232.9528	187.6204

Az eredményekből látszik, hogy a várakozásaimmal megegyezően a legnagyobb eltérés a legnagyobb magasság különbség esetén jelentkezik. Ugyanakkor szintén jelentős különbség tapasztalható a másik két magasságszint különbség esetén is. Az 1. hipotézissel ellentétben itt a terhelhetőség növekmény is igen jelentős mindhárom esetben. A különbségek eloszlását szemlélteti néhány esetet bemutatva a

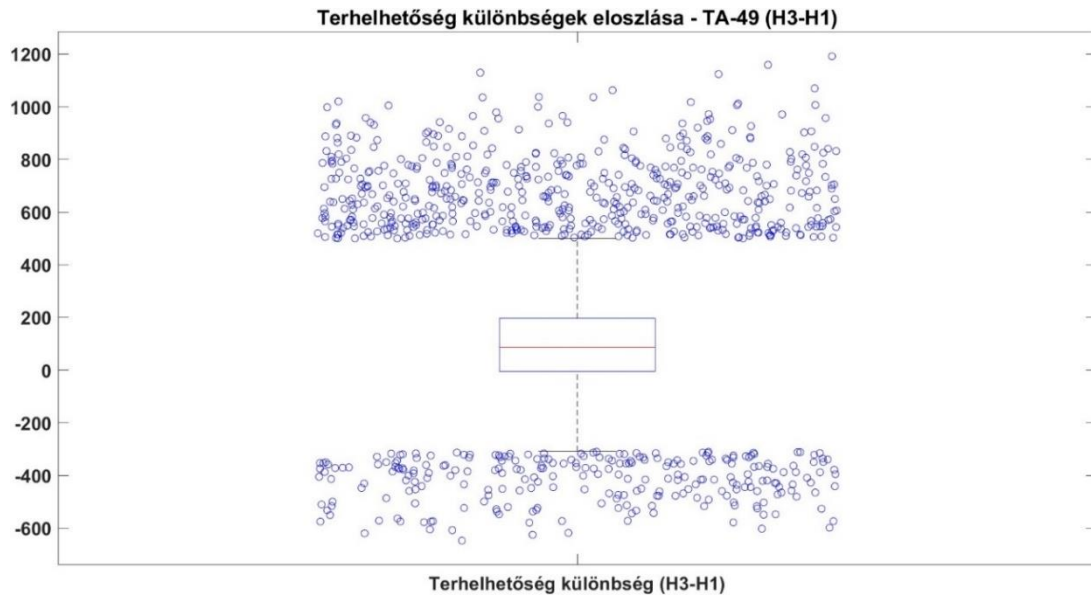


18.Ábra - A 23 m-en mért szélértékekkel számolt terhelhetőség és a 11.5 m-en számolt terhelhetőségek közötti különbségek eloszlása - boxplot megjelenítéssel

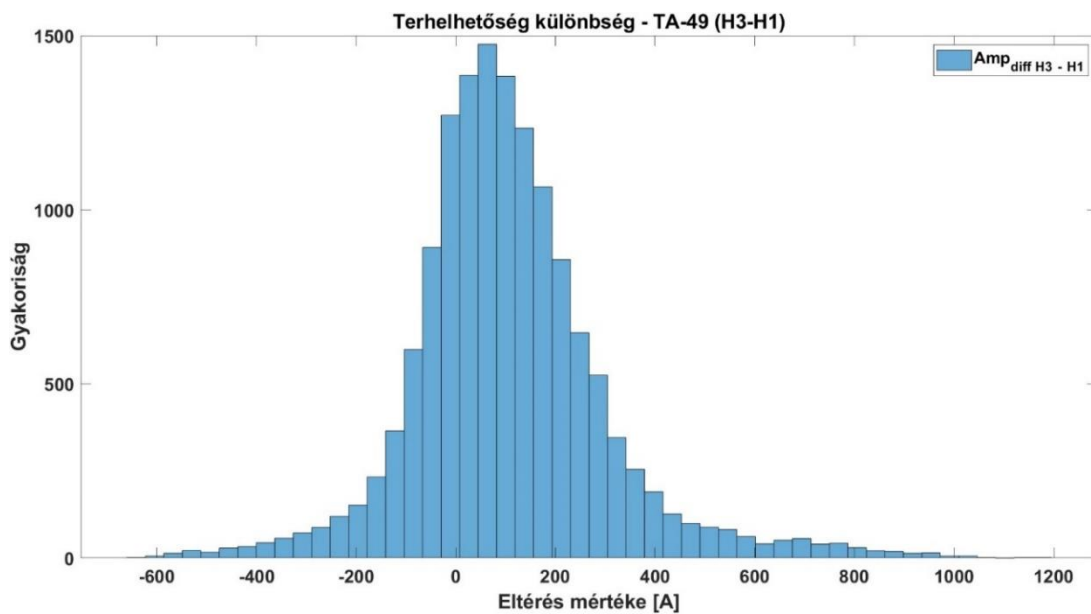


19. Ábra - A 23 m-en mért szélértékekkel számolt terhelhetőség és a 11.5 m-en számolt terhelhetőségek közötti különbségek eloszlása - hisztogram megjelenítéssel





20. Ábra A 46 m-en mért szélértékekkel számolt terhelhetőség és a 11.5 m-en számolt terhelhetőségek közötti különbségek eloszlása - boxplot megjelenítéssel



21. Ábra A 46 m-en mért szélértékekkel számolt terhelhetőség és a 11.5 m-en számolt terhelhetőségek közötti különbségek eloszlása - hisztogram megjelenítéssel

#### 4.2.4 Az eredmények értékelése, következtetések

A vizsgálat eredményei alátámasztják azt a feltételezést, miszerint a távvezetésekre eltérő magasságokban eltérő hűtőhatást fejt ki a szél, annak rétegzett jellege miatt. Ezen eltérés a várt módon legjelentősebben a 46 m-en mért széladatokkal számított, valamint a 11.5 m-en mért széladatokkal számított terhelhetőségek esetén jelentkezik. De

ugyancsak jelentős eltérés tapasztalható a 23 m-en, és a 11.5 m-en mért széladatok segítségével számított terhelhetőségek között. A 4.1. fejezetben bemutatott eredményekkel ellentétben, a szél rétegződése a terhelhetőség átlagára is jelentős hatással lehet. A nagyobb földfelszín feletti magasságban felvett széladatok segítségével számított terhelhetőségek jellemzően nagyobbak, akár az SLR 10%-át megközelítő mértékben is. Ezek alapján elmondható, hogy extrém esetekben a rosszul telepített DLR rendszerek a limitált széladatok miatt a rendelkezésre álló valós kapacitás egy részét nem képesek feltárni. Ez a feltáratlan kapacitás igen jelentős lehet, hiszen a 46 m-es magasságban számított terhelhetőség adatok az 11.5 m-es magasságban számított terhelhetőség adatokat a vizsgált időintervallum 10%-ban megközelítőleg 187 A-el haladta meg amely az SLR 22%. Azonban itt fontos kiemelni, hogy a fejezet elején tárgyaltaknak megfelelően ezen eredmények ugyancsak egy pontra vonatkozó eredményeket extrapolálják a teljes távvezetékre, így a valós feltáratlan terhelhetőség, amelyre az eredményekből következtetni lehet, ennél kisebb. Azt is érdemes kiemelni, hogy a valóságban extrém esetnek számít, ha a fizikai eszközök telepítésében 30 méteres mozgástér adódik az oszlop tekintetében. Ugyanakkor egy 5-10 méterrel magasabbra telepített időjárásmérő állomás már szignifikáns eltérést eredményezhet a terhelhetőségben is.

Az eredmények alapján elmondható, fontosnak látszik a szél rétegződésének és áramlásának pontosabb megismerése, részletesebb monitorozása a távvezetékek környezetében.

### **4.3 Az eredmények összegzése és gyakorlati jelentősége**

Vizsgálataim eredményei alátámasztják azt a feltételezést, miszerint esetenként jelentős hatással lehet a DLR rendszerek számított terhelhetőség eredményeire az, hogy a szélesség mérések kivitelezése során az időjárásmérő állomások szélesség mérő szenzoait hol helyezik el, valamint a rögzített adatokat hogyan használják fel egy adott időszak környezeti állapotaira való következtetés során.

A terhelhetőség tekintetében jelentős eltéréseket tapasztaltam a valós idejű terhelhetőséget jobban közelítő 1 másodperces széladatokkal dolgozó modellek és a 10 perces időintervallumokat egy átlagolt széladattal leíró modell esetén. A különböző mérési pontok között tapasztalt eltérésekből arra lehet következtetni, hogy ezen különbség mértéke nagyban függhet a távvezeték környezetének topológiájától, valamint

a jellemző szélkarakterisztikáktól is. A vizsgálat során tapasztalatok alapján fontosnak mutatkozik a távvezeték környezetének és a jellemző szélprofilok ismeretében olyan átlagolási intervallum megválasztása, amely tekintettel van a helyszín sajátosságaira.

A különböző időbeli felbontású széladatokkal számolt terhelhetőség különbségek esetében a fentieknél még nagyobb eltérést tapasztaltam a különböző földfölötti magasságokból származó széladatok segítségével számított terhelhetőségek esetében. Ez megerősíti azt a feltételezést, miszerint a különböző magasságokra jellemző szélviszonyok leírására nem elégséges egy mérési pont eredményeit feltételezni, mivel a szél nagyobb fokú rétegződést mutat ilyen kis magasságkülönbségek esetén is. Az eredmények alapján a jövőben fontos lehet a telepítendő időjárás állomások telepítési helyének kiválasztásánál mérlegelni bizonyos tényezőket. Ilyen lehet a távvezeték szakaszok föld feletti magassága, a környezet topológiája, valamint egyéb, az áramlást befolyásoló tényezők jelenléte és a szélre gyakorolt hatása. Másrészt hasznosnak látszik több mérési pont meghatározása, vagy a limitált mérési eredmények felhasználásával és fizikai modellek segítségével becslések készítése a különböző magasságokban jelentkező szélhatásokra. Ezek figyelembevételével a terhelhetőségeket számító fizikai modellek kiterjesztésével komplex termikus és terhelhetőségi számítások elvégzése is előnyös lehet.

## 5 Továbblépési irányok

Az eredmények ismeretében, valamint az elvégzett kutatómunka alapján több lehetséges továbblépési irány is körvonalazható. A jövőben hasznos lehet a levont következtetések pontosabb megalapozása érdekében további számításokat végezni más, például közép-európai helyszínekről származó adatok segítségével.

Érdekes lehet továbbá vizsgálni a különböző szél modellek között tapasztalt hibák hatását is. A távvezeték terhelhetőségekben jelentkező különbségek potenciális termikus túlterhelődések lehetőségét is magukkal hordozzák.

A kutatásom eredményei abba az irányba mutatnak, hogy a távvezeték és környezetének pontosabb modellezése esetenként nem ad pontos képet a szél rétegződése miatt. A jövőben érdemes lehet olyan irányú vizsgálatokat is folytatni, amelyben a beesési szög hatása is kidomborodik a szél hűtőhatása kapcsán.

Emellett a fent bemutatott jelenségek és általában a szél valós hűtőhatásának jobb megértése érdekében fontos lehet a jövőben részletesen vizsgálni a távvezetékek környezetben a szél áramlását a domborzat, valamint a természetes és mesterséges objektumok függvényében. Az ilyen vizsgálatok az áramlási sajátosságok jobb megértése mellett lehetővé tennék például a távvezeték oszlopon elhelyezett időjárásállomások esetén a fémszerkezet szél mérésre gyakorolt hatásából jelentkező pontatlanságokat is. Ezek a jövőbeni vizsgálatok segíthetnek megérteni, a széláramlási sebességében és irányában lévő különbségeket nem csak vertikálisan, hanem horizontálisan a távvezeték mentén (a jelen dolgozatban nem vizsgáltam).

Egy továbbfejlesztett környezeti modell akkor lehet igazán hasznos, ha a meglévő fizikai modellek kiterjesztésével képessé válik a távvezetékek szakaszokra bontott modellezésére, és ezen szakaszok komplex elemzésére is.

## 6 Összefoglalás

Az elmúlt években számos olyan Pilot DLR projekt zajlott Európában, melyek célja a távvezetékek valós idejű monitorozásán keresztül a dinamikus terhelhetőségi korlátok bevezetése a hálózati elemeken.

Jelen dolgozatban a megvalósult kísérleti DLR projektek során tapasztalt eltérések kapcsán azonosítottam két lehetséges bizonytalansági forrást, amelyek magyarázatul szolgálhatnak a terhelhetőségek és a fázisvezető sodronyok hőmérsékletének eltérésére. A dolgozatban vizsgált két feltételezett hibaforrás a szél monitorozásának térbeli és időbeli felbontásával volt összefüggésben. Mindkét esetben az volt az előzetes várakozásom, hogy a vizsgált tényező hatással lesz a terhelhetőség értékekre, és így indirekt módon a termikus viszonyokra is. Elsőként a szélparaméterek időbeli felbontását vizsgáltam oly módon, hogy összehasonlítottam a nagyfelbontású, 1 másodperces széladatok segítségével számított terhelhetőségeket az alacsonyabb felbontású, 10 perces széladatok segítségével számított terhelhetőségekkel. Másodsorban a szélértékek magasságbeli felbontásának hatását vizsgáltam úgy, hogy eltérő magasságokból származó szélsébség és szélirány adatokkal számolt terhelhetőségeket hasonlítottam össze, ezzel vizsgálva a különböző magasságokban futó távvezeték szakaszok pontszerű terhelhetőségét.

A szimulációs eredmények a várakozásaimmal összhangban azt mutatták, hogy a szélmérés időbeli felbontásának csökkentése esetenként nagyfokú bizonytalanságot eredményez a terhelhetőség számításokban. A kapott eredmények alapján fontosnak látszik a széláramlások további vizsgálata, valamint a felbontás növelés lehetőségeink elemzése a jövőben megvalósuló DLR projektek során. Érdekes lehet emellett az adott szintű felbontáshoz kapcsolódó bizonytalanságok további vizsgálata is, amely a DLR adatok szakértői rendszerbe történő integrálásához szükséges.

A dolgozatban bemutatott elemzések lehetőséget adnak a szél hűtőhatásának mélyebb vizsgálatára, amely hozzájárulhat a pontosabb és megbízhatóbb DLR rendszerek kiépítéséhez.

# Irodalomjegyzék

- [1] Wikipedia: *Evaluation strategy*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Evaluation\\_strategy](http://en.wikipedia.org/wiki/Evaluation_strategy) (revision 18:11, 31 July 2012)
- [2] Google. (n.d.). [Google Maps coordinates: 35.8088992,-106.2980763; street view image facing north]. Retrieved November 1, 2023, from <https://maps.app.goo.gl/8m556QuLDpM7io679>
- [3] Schell, P., Lambin, J., Godard, B., Nguyen, H., & Lilien, J. (2011). *Using Dynamic Line Rating to minimize curtailment of Wind power connected to rural power networks*.
- [4] Szabó, D. et al (2022). Komplex távvezeték menedzsment rendszeralkalmazhatósága a hazai villamosenergia rendszerben. *Elektrotechnika*
- [5] L. Rácz, Á. Molnár and B. Németh, "Investigation of power line conductors' thermal behavior," *2022 8th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, Hungary, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/IYCE54153.2022.9857538.
- [6] FARCROSS. (2023, April 21). *HOME - FARCROSS*. FARCROSS - FACilitating Regional CROSS-border Electricity Transmission Through Innovation. <https://farcross.eu/>
- [7] Vasquez, W. A., Jayaweera, D., & Jativa-Ibarra, J. (2017). Advanced aging failure model for overhead conductors. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference*. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2017.8260134>
- [8] California Energy Commission, "Demonstration of advanced conductors for overhead transmission lines," EPRI, 2008.
- [9] IEEE Guide for Determining the Effects of High-Temperature Operation on Conductors, Connectors, and Accessories, in *IEEE Std 1283-2013 (Revision of IEEE Std 1283-2004)*, vol., no., pp.1-47, 4 Oct. 2013, doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6616559.
- [10] "IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors," in *IEEE Std 738-2012 (Revision of IEEE Std 738-2006 - Incorporates IEEE Std 738-2012 Cor 1-2013)*, vol., no., pp.1-72, 23 Dec. 2013, doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6692858.
- [11] United States Department of Energy. (2019, June). *Dynamic Line Rating* [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/08/f66/Congressional\\_DLR\\_Report\\_June2019\\_final\\_508\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/08/f66/Congressional_DLR_Report_June2019_final_508_0.pdf)
- [12] Staszewski, Ł., & Rebizant, W. (2010). The differences between IEEE and CIGRE heat balance concepts for line ampacity considerations. *Modern Electric Power Systems*, 1–4. <http://www.meps10.pwr.wroc.pl/submission/data/papers/P26.pdf>

- [13] Mathematical Model for Evaluation of Conductor Temperature in The Steady (or Quasi-Steady) State (Normal Operation), CIGRE, ELECTRA No. 144, Oct. 1992, pp. 109-115.