

## DOKTORI ISKOLAI KUTATÁS ELSŐ ÉVÉNEK EREDMÉNYEI A HAZAI SZÉLADATBÁZIS MEGÚJÍTÁSÁBAN

Bokros Kinga<sup>(1,2)</sup> , Izsák Beatrix<sup>(2)</sup> , Lakatos Mónika<sup>(2)</sup> , Pongrácz Rita<sup>(1)</sup> 

<sup>(1)</sup> ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,  
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

<sup>(2)</sup> HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.,  
1024 Budapest, Kitaibel Pál u. 1.  
e-mail: bokros.k@met.hu

### Bevezetés

A szél a légkör egyik legfontosabb állapotváltozója, mely alapvető szerepet játszik az időjárási folyamatokban, az éghajlati rendszer működésében. Hosszú távú vizsgálata elengedhetetlen a szélklimatológia, veszélyjelzés, energetikai, agrár- és építőipar szempontjából egyaránt. Azonban Magyarországon szélre vonatkozóan sokkal rövidebb múltra tekintenek vissza a mérések, s állomáshálózata is jóval ritkább, mint a hőmérsékleti, vagy csapadékméréseink esetén.

A széladatok feldolgozásában további kihívást jelent, hogy a mérési módszerek és a műszerek típusa az elmúlt évtizedekben jelentősen változott, nem beszélve a mérési környezet átalakulásáról (épített környezet átalakulása, környező növényzet változása, műszerek áthelyezése, stb). Mindez indokoltá teszi a hazai széladatbázis felülvizsgálatát, térbeli és időbeli kibővítését, adatpótlását, homogenizációját és interpolációját. Doktori vállalásaim ezen kérdéskörök vizsgálatára, a hazai széladatbázis megújítására irányulnak.

### Adatok és módszerek

A kutatás motivációja abból az aránytalanságból ered, hogy míg a hazai, éghajlati célú, megfelelően hosszú, reprezentatív csapadékadatbázis 500, a hőmérsékleti adatbázis több mint 110 állomással rendelkezik, addig a széladatbázis mindössze 89 állomást tartalmaz. Ennek orvoslása érdekében célt az a szélállomás-hálózat jelentős bővítése, terveink szerint legalább 40%-kal, valamint a meglévő és új adatok minőségének javítása homogenizálás, adatpótlás és adatellenőrzés révén. Terveink közt szerepel az 1997 előtti adatsorok beépítése, valamint a pontosabb szélmodellezéshez használt felszínérdesség-adatbázis megújítása. Így remélhetőleg a doktori kutatásaim végére egy, a jelenleginél pontosabb, reprezentatívabb széladatbázis jön létre.

Az elmúlt években jelentősen nőtt az automata szélmérő állomások száma, ezért a meglévő 89 állomáson felül 74 új állomás adatsorait vizsgáltuk az alábbi követelmények szerint:

- 10 perces mérési gyakorisággal, valamint
- megfelelően hosszú adatsorral kell rendelkezniük (min. 6 év), s végül
- mérniük kell mindhárom szélváltozót – a szélátlagot, a maximális széllelkést és a szélirányt is.

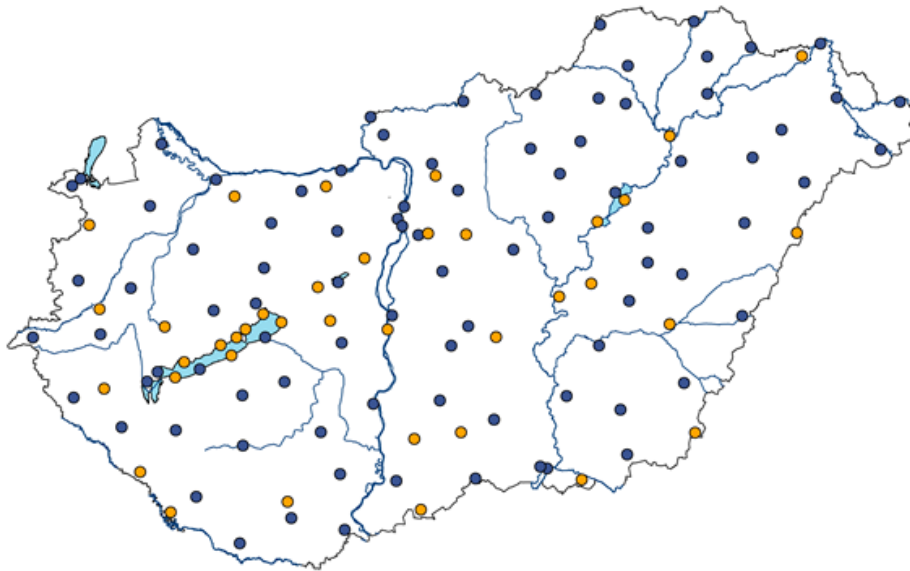
Mérési környezet- és módszerbeli változásokból, mérési magasságban bekövetkező változásokból, műszercserék és állomási költöztetésekből adódóan az adatsorok inhomogenitással terheltek. Ezeknek a kiküszöbölésére, kezelésére a MASH homogenizációs eljárást alkalmazzuk (Szentimrey, 1999; 2017).

A szélinterpoláció pontossága szempontjából kiemelten fontos a felszínérdesség megfelelő leírása, hiszen ez közvetlenül befolyásolja a modellezett szélmezőket. A korábban használt érdességi adatbázis a 2000-es CORINE Land Cover adatokon alapult, ennek frissítéseként a

2018-as CLC-adatbázist használtuk, amely 44 felszínborítottsági kategóriát különböztet meg. A MISH interpolációs szoftverben (Szentimrey & Bihari, 2007; 2014) jelenleg egy, átlagos édességet leíró érdesség fájl szerepel, újítással azonban az egyes felszín típusok érdességét külön nyári és téli félévre is kiszámoltuk MacArthur & Haines (1982) alapján, figyelembe véve a vegetációs időszak változásait. Nyáron ugyanis a dúsabb növényzet miatt nagyobb a felszínérdesség, míg télen alacsonyabb. Ez a szezonális különbségtétel várhatóan jelentősen javítja a modellezés eredményét.

## Eredmények

A doktori iskola első évében vállaltam a szél állomáshálózat megújítását, kibővítését mind térben, mind időben. A 89 állomáson felül a közelmúltban telepített 74 állomás közül 38 felelt meg azoknak a kritériumoknak, amelyeket a bővítéshez előírtunk. Ezzel a hálózat 127 állomásra bővült, mely jelentős előrelépést jelent a térbeli lefedettség és az interpolációs megbízhatóság szempontjából is (1. ábra).



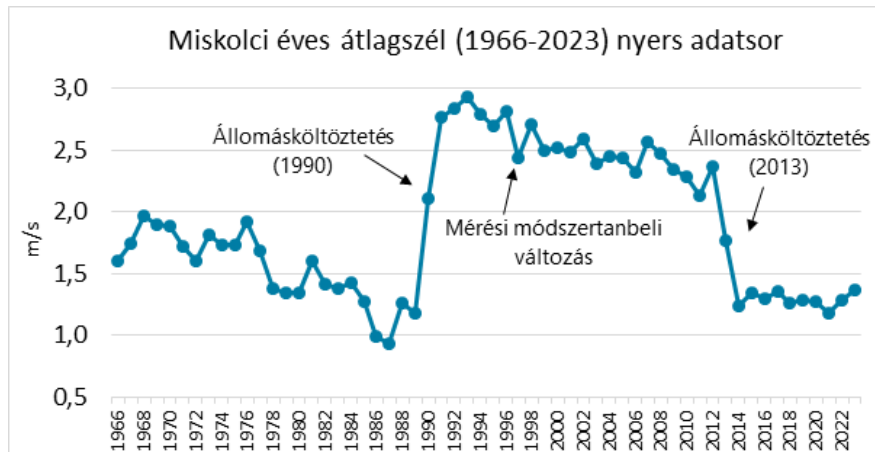
1. ábra: Jelenlegi széladatbázis állomásai (kék – 89 db) és a tervezett új állomások (narancssárga – 38 db).

A homogenizáció megkezdése előtt fontos lépés volt a 127 nyers adatsor metaadatainak áttekintése, összegyűjtése (pl.: dokumentált állomásköltötések, műszercserék, mérési módszertanban vagy mérési magasságban bekövetkező változások, adathiányok, mérési környezet változásai), melyek inhomogenitással terhelik a hosszú meteorológiai adatsorokat. A továbbiakban bemutatok néhány erre vonatkozó példát.

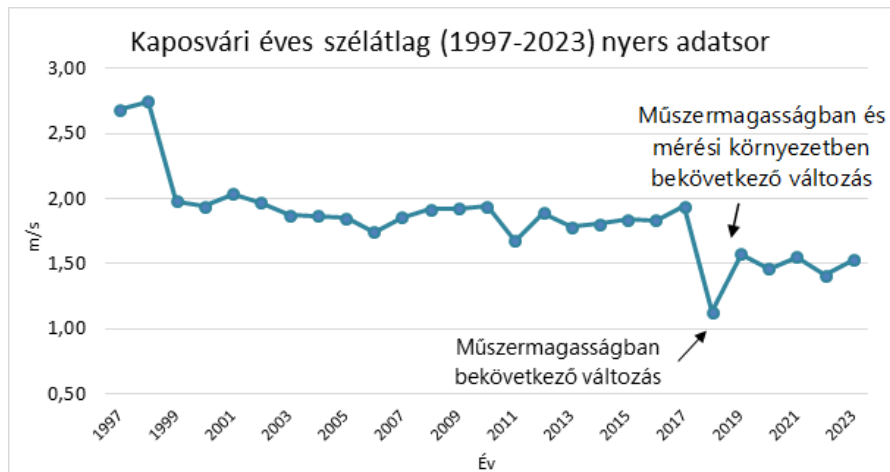
A miskolci széladatsoron két alkalommal is állomásköltöztetés okozott nagyobb törést. A legutóbb 2013-ban, amikor Miskolc Avas állomásról a diósgyőri tűzoltóság területére került a meteorológiai állomás. Hasonló törés jelenik meg az 1990-es állomásköltözéssel egyaránt. Majd 1997-ben a Fuess-féle egytetemes szélirót a Vaisala szélmérőjére cserélték, s ezzel együtt a napi három mérést felváltották a 10 perces gyakoriságú mérések (2. ábra).

A kaposvári állomáson az utóbbi években műszermagasságban és mérési környezetben bekövetkező változások befolyásolták az adatok homogenitását (3. ábra). Az állomás területén 2018-ban építési munkálatok kezdődtek, melynek időtartamában egy ideiglenes, mobil állomáson zajlottak a meteorológiai mérések. A szélmérés a standard 10 m-es magasság helyett 4 m-en zajlott, ennek nyomán jellemzően alacsonyabb szélsőségeket

mérték (3. ábra fenti diagramja). Majd a felépült szennyvízkezelő telep mérési környezeti változást okozott, ez megfigyelhető a 3. ábrán az alacsonyabb szélesség átlagokkal.

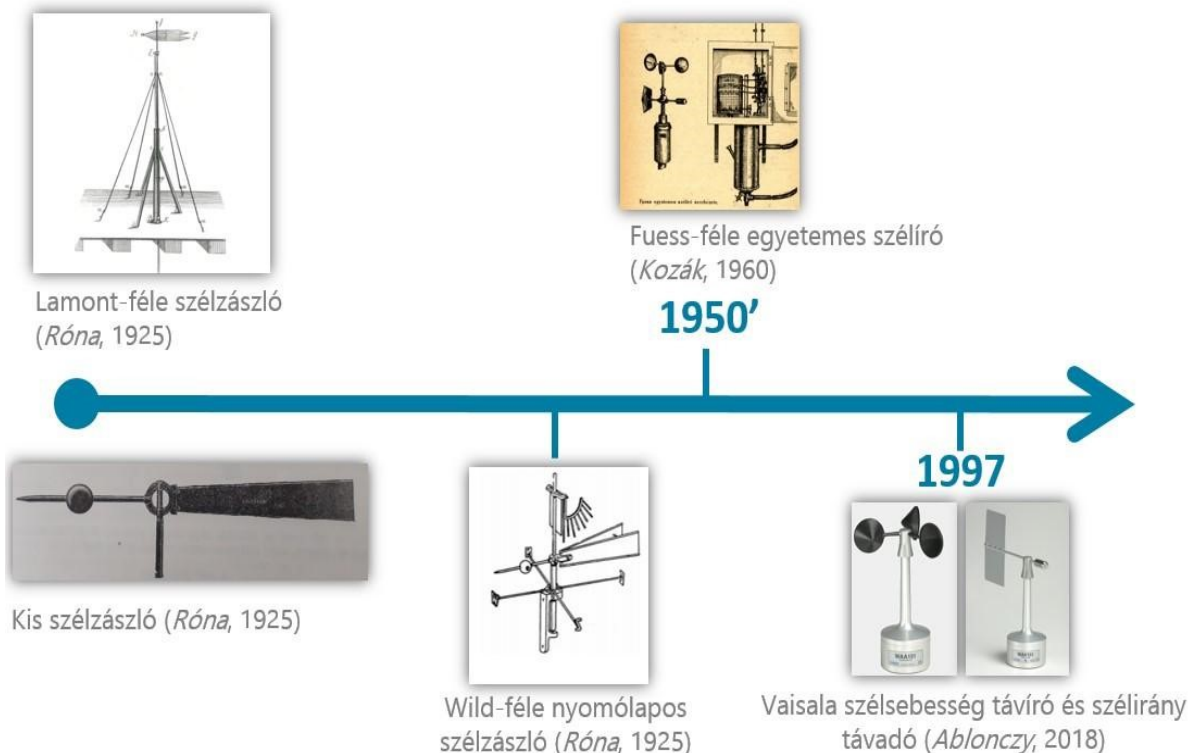


2. ábra: Miskolci éves szélátlag 1966 és 2023 között (nyers adatsor).



3. ábra: A kaposvári éves szélátlag nyers adatsora 1997 és 2023 között (fent) és mérési környezete műholdképen (forrás: Google Earth) 2012-ben és 2023-ban (lent).

Az állomáshálózat térbeli bővítése mellett vállaltam a leendő széladatbázis időbeli bővítését is. Ezen szakasz első lépése a hazai szélmérések áttekintése volt (Bokros et al., 2024). A meteorológiai mérések elején mindössze a szél irányát mérték, a sebességét nem, s ehhez különféle szélzászlókat használtak (Ephemerides Societatis Meteorologicae Palatinae, 1784). Ennek hiányában a templomtornyokon lévő szélkakast, vagy a kéményekből kiáramló füstöt hívták segítségül a szélirány meghatározására (Róna, 1925; Takács, 1969). A szél erősségét a hazai meteorológiai mérések kezdetén még csupán vizuális megfigyeléssel értékelték egy ötfokozatú skála alkalmazásával, majd az első szélerősség-mérések a Wild-féle szélzászlóval folytatódtak, ezen egy 8 fogú skálán lehetett megbecsülni a szél erősségét az eszköz nyomólapjának kilendüléséből (Róna, 1925; Kozák, 1960). Minden foghoz a Beaufort-féle szárazföldi skála egy-egy fokozata tartozott. A szélzászlót az 1900-as évek közepén a Fuess-féle egytetemes szélíróra cserélték, mely szélirány-regisztrálással és szélsebesség-iróval is rendelkezett. A forgókanalas fordulatszám-mérő regisztrálta a szélutatót, melyből szélsebességet lehetett számítani (Czelnai, 1980), s ezzel eleinte napi háromszor olvasták le a szélsebességet. A 90-es évek közepétől jelentős mérőmódszertani változások következtek be a technológia fejlődésével, amikor a jelenleg is használatban lévő Vaisala műszerek megjelentek a meteorológiai gyakorlatban. Végül a forgókanalas megoldáson túl már Magyarországon is megjelent az ultrahangos szélmérés módszere (Ablonczy, 2018) (4. ábra).

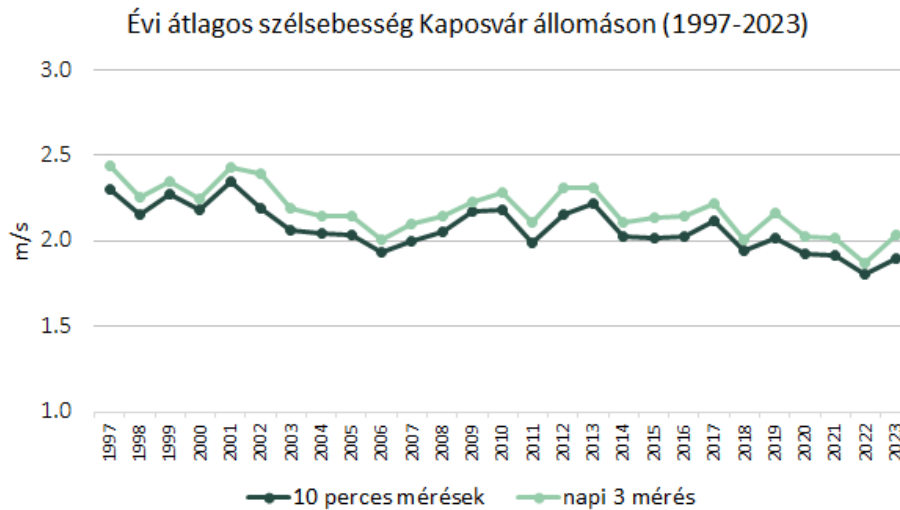


4. ábra: Magyarországi szélmérés története.

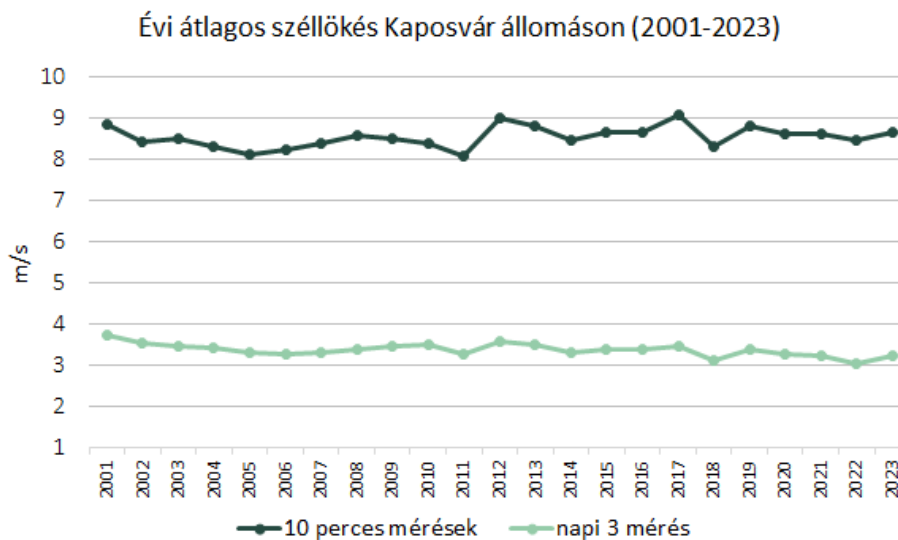
A szélmérések történeti áttekintésével egyértelművé vált, hogy időben nem nyúlhatunk vissza az 1800-as évekig szélmérésekért, szemben a hőmérséklet-, vagy csapadékmérésekkel, ugyanakkor a HungaroMet Éghajlati Adatbázisában elérhetőek szélmérések a 20. század közepétől. Ez alapján megvizsgáltuk, mely, jelenleg is működő állomások rendelkeznek az 1950-1960-as évektől olyan széladatsorokkal, amelyek kisebb-nagyobb megszakításokkal, költözésekkel, műszercserékkel, de egészen napjainkig nyomon követhetőek. Összesen 40 ilyen, hosszabb távon értékelhető adatsort azonosítottunk.

Kutatásunk következő lépéseként arra kerestük a választ, hogy mennyiben hasonlíthatóak össze a jelenlegi szélméréseink az 1997 előtti időszak adataival, azaz érdemes-e időben is kibővíteni a széladatbázist. A történelmi áttekintés során láthattuk, hogy míg 1997-től elérhetőek a 10 perces gyakoriságú mérések, addig az 50-es, 60-as évektől csupán napi három mérésből származtatták a napi átlag- és maximum szélességet. Ez a módszertani váltás törést, inhomogenitást okoz a hosszú adatsorokban. Annak érdekében, hogy össze tudjuk hasonlítani a két mérési módszertannal létrejött szél-adatsorokat, olyan eljárást alkalmaztunk, amelyben azonos időszakokra, azaz 1997-től a 10 perces automata mérésekből leválogatjuk a 6, 11 és 18 UTC-s értékeket és napi átlagokat, illetve maximumokat képezzük belőlük, ezt vetettük össze a 10 perces gyakoriságú mérésekből származó napi átlagokkal és maximumokkal. Mindezt arra a 40 állomásra végeztük el, amelyek már a 60-as években is mérték a szelet.

Elvégeztük a két-két adatbázis ellenőrzését, pótlását és homogenizációját. Ismét a kaposvári példán keresztül szemléltetjük a legfontosabb eredményeinket és megállapításainkat.



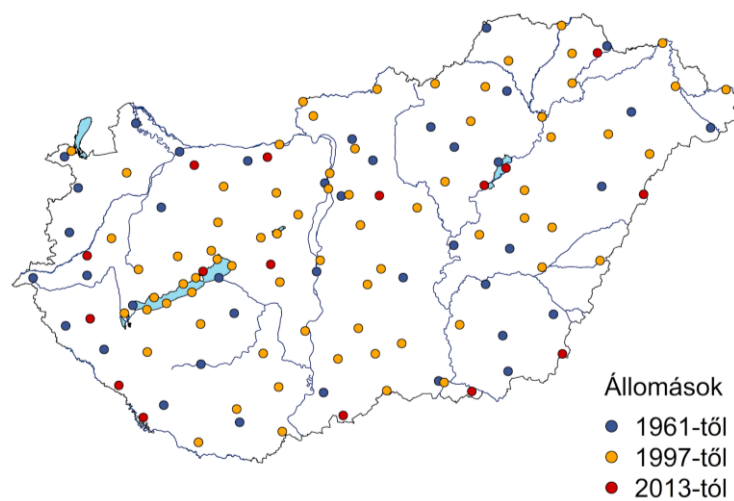
5. ábra: Évi átlagos szélesség homogenizált adatsorai 10 peres mérési gyakorisággal (sötétzöld) és napi háromszori mérési gyakorisággal (világosabb zöld) előálló adatokkal.



6. ábra: Évi átlagos szélmaximum homogenizált adatsorai 10 peres mérési gyakorisággal (sötétzöld) és napi háromszori mérési gyakorisággal (világosabb zöld) előálló adatokkal.

Egyrészt jól látható, hogy a MASH szoftverrel végzett homogenizáció kezelte a töréspontokat, inhomogenitásokat. Másrészt össze tudjuk hasonlítani a szimulált, napi három mérésből álló és a 10 perces automata adatsorokat. Évi átlagos szélesség esetén jól követik egymást az adatsorok, minimális eltérések mutatkoznak (5. ábra). Ellenben a maximumokban igen jelentős különbségeket látunk, ugyanis a 10 perces mérésekből származtatott maximumok nagymértékben meghaladják a napi három mérésből származtatott maximumokat (6. ábra). Ennek oka, hogy a 10 perces gyakoriságú mérések sűrűbb időbeli lefedettségük miatt nagyobb eséllyel rögzítik a nap során előforduló legerősebb szellőkést, így a belőlük képzett napi maximumok jellemzően magasabbak, mint a napi három mérés alapján számított értékek.

A nyers széladatbázis térbeli és időbeli kiterjesztését, valamint a 127 állomás metaadatainak összegyűjtését követően háromlépcsős homogenizációs eljárást határoztunk meg: 1961-től 40 állomás adatsorát, 1997-től 111, 2013-tól pedig mind a 127 adatsor ellenőrzését, pótlását és homogenizálását végzem el (7. ábra).

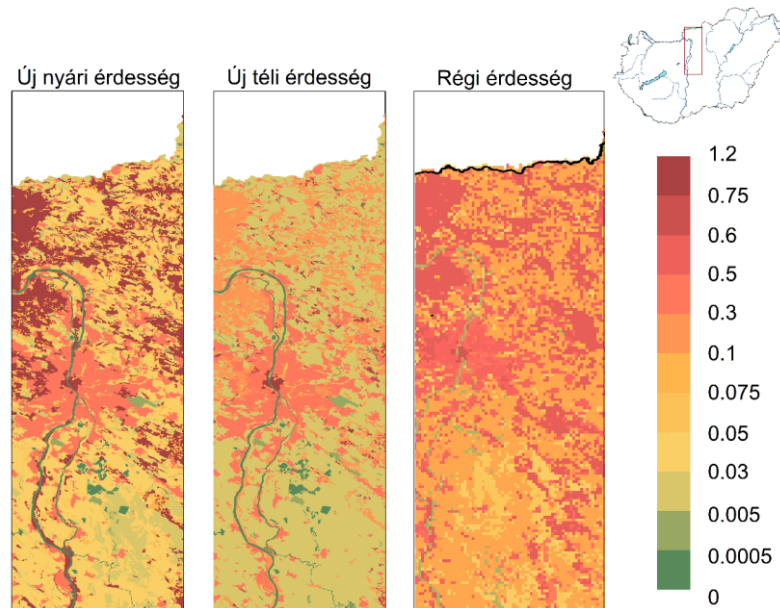


7. ábra: Tervezett, háromlépcsős homogenizációhoz felhasznált állomások.

A doktori iskola első évének fontos előrelépése volt a felszínérdesség adatbázis megújítása, amely a MISH interpolációs szoftver egyik fontos paramétere. A korábbiakban használt érdességi adatok a 2000-es CORINE felszínborítottságon alapultak, s csupán egy általános érdességet tartalmaztak. A földfelszín azonban változásokon ment keresztül (pl. a beépített területe arányának változása, földhasználatból eredő változások, stb.), emiatt a legfrissebb, 2018-as CORINE Land Cover (CLC) adatbázist használtuk fel, amely 44 különböző földfelszín borítottsági kategóriát tartalmaz. Az adatokból kiszámításra került a felszínérdesség, külön téli és nyári félévre MacArthur & Haines (1982) alapján, figyelembe véve a vegetáció szezonális változásait (8. ábra). Az említett tanulmányban havi bontású felszínérdességeket állapítottak meg az egyes felszínborítottság-típusok esetén, melyek jó közelítésben azonosak voltak november és április, valamint május és október között (1. táblázat), így a nyári és téli félévet is ezen hónapok szerint definiáltuk. Az új érdesség adatbázisok finomabb felbontásúak, s jól látszik rajtuk, hogy a régi érdesség adatbázishoz képest nagyobb a beépített területek kiterjedése (8. ábra). Várhatóan a szezonálisan differenciált érdességek integrálása a szélinterpolációs folyamat pontosságát növeli, így javítva a későbbi modellezését.

1. táblázat: Az egyes CLC felszínborítottsági kategóriák nyári és téli felszínérdesség érdesség-értékei (MacArthur & Haines (1982) nyomán).

CLC kód	Felszín-kategória	Téli érdesség (Nov.-Ápr.)	Nyári érdesség (Máj.-Okt.)
1	Folytonos városi területek	1,2	1,2
2	Nem folytonos városi területek	0,5	0,5
3	Ipari vagy kereskedelmi egységek	0,5	0,5
4	Közúti és vasúti hálózatok	0,075	0,075
5	Kikötői területek	0,5	0,5
6	Repülőterek	0,005	0,005
7	Nyersanyagkitermelés	0,005	0,005
8	Lerakóhelyek	0,005	0,005
9	Építkezések	0,5	0,5
10	Zöld városi területek	0,3	0,5
11	Sport és szabadidős létesítmények	0,5	0,5
12	Nem öntözött szántó	0,0075	0,045
14	Rizsföldek	0,005	0,0275
15	Szőlőültetvények	0,0145	0,08
16	Gyümölcsfák és bogyós ültetvények	0,024	0,055
18	Rét, legelő	0,0075	0,02
20	Összetett természetesi minták	0,0075	0,045
21	Terület természetes növényzettel	0,01	0,055
23	Lomblevelű erdő	0,18	1
24	Tülevelű erdő	1,1	1,1
25	Vegyes erdő	0,64	1,05
26	Természetes gyepek	0,0075	0,02
29	Átmeneti erdős-cserjés terület	0,016	0,08
32	Ritkás növényzet	0,00018	0,001
35	Szárazföldi mocsarak	0,005	0,0275
36	Tőzeglápok	0,005	0,0275
40	Folyóvizek, vízi utak	0,0005	0,0005
41	Állóvizek	0,0005	0,0005



8. ábra: Régi és új (téli és nyári) érdesség-értékek szemléltetése.

### További kutatási tervek

Az újonnan létrejött, ellenőrzött, hiánypótoló és homogenizált adatsorok alapján elvégzem a klímastatisztikai paraméterek újra-modellezését a MISH interpolációs szoftver segítségével. Az újra-modellezett klímastatisztikai paraméterek segítségével a széladatokat szabályos, sűrű rácsra interpolálok, így országos lefedettségű adatsorokat kapunk. A háromlépcsős homogenizálást, majd a modellezést és interpolációt az átlagszél változón túl a maximális szellőkés és szélirány változókon szintén elvégzem.

### Összefoglalás

A kutatás első évében jelentős előrelépést tettünk a hazai széladatbázis megújítása felé. A szélállomás-hálózatot 89-ről 127 állomásra bővítettük, amely érdemben javítja a térségi lefedettséget és az interpolációs megbízhatóságot. Áttekintettük és összegyűjtöttük a 127 állomás metaadatait, feltártuk az adatsorok inhomogenitásait, és háromlépcsős homogenizációs eljárást határoztunk meg amely 1961-től 40, 1997-től 111, 2013-tól pedig mind a 127 állomás adatait fogja lefedni

A történelmi szélmérések vizsgálatával kimutattuk, hogy a napi három mérésen alapuló régebbi adatsorok összevethetők a 10 perces automata mérésekből származtatott átlagokkal, ugyanakkor a maximális értékek esetében jelentős eltérések adódnak. Ezzel megalapoztuk a hosszú idősorok integrálhatóságát a jövőbeli adatbázisba.

A MISH szoftverhez új, szezonálisan differenciált felszínérdesség-adatbázist hoztunk létre a 2018-as CORINE Land Cover adatok alapján, amely várhatóan javítja a szélmezők interpolációjának pontosságát. A következő kutatási szakaszban a homogenizált adatsorok felhasználásával klímastatisztikai paraméterek újramodellezését és országos lefedettségű interpolációját tervezzük.





## Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-KDP-24 kódszámú Egyetemi Kiválósági Ösztöndíj Programjának Kooperatív Doktori Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs alapról finanszírozott szakmai támogatásával készült.

## Hivatkozások

- Ablonczy, D.*, 2018: Hogyan mérjük az esőt? Mennyire süt most a nap? Hogyan működik a szélmérő? (meteorológiai érzékelők egyszerűen, a hétköznapokban), *Légkör*, 63(4): 163–175.
- Bokros, K., Izsák, B., Bihari, Z., Lakatos, M.*, 2024: Magyarországi széladatbázis tervezett megújítása a tér- és időbeli reprezentativitás javítása érdekében. Magyar Meteorológiai Társaság XXXIX. Vándorgyűlése. Debrecen, 2024. augusztus 29–31.  
<https://doi.org/10.57091/MMT.2024.1>
- Czelnai, R.*, 1980: A meteorológia eszközei és módszerei, OMSZ, Budapest, 256 p.
- Ephemerides Societatis Meteorologicae Palatinae*, 1784: Historia et Observationes Anno 1781. Mannheim. 310 p.
- Kozák, B.*, 1960: A FUESS-féle egyetemes szélíró. *Légkör*, 5(1): 12–14.
- MacArthur, C. D., Haines, P. A.*, 1982: The roughness lengths associated with regions of heterogeneous vegetation and elevation. *Defense Technical Information Center*, 41 p.
- Róna, Zs.*, 1925: Meteorológiai megfigyelések kézikönyve, Magyar Meteorológiai Társaság Budapest, 196 p.
- Szentimrey, T.*, 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). In: *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*, Budapest, Hungary. WMO, WCDMP (41), 27–46.
- Szentimrey, T.*, 2017: New developments of interpolation method MISH: modelling of interpolation error RMSE, automated real time quality control, *Proceedings of the 9th Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and 4th Conference on Spatial Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology* (Eds. Szentimrey T, Lakatos M, Hoffmann L), Budapest, Hungary, 2017, WCDMP-No. 85, 115–124.
- Szentimrey, T., Bihari, Z.*, 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis), *Proceedings of the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology*, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, 2007, 17–27.
- Szentimrey, T., Bihari, Z.*, 2014: Manual of interpolation software MISHv1.03. p. 89. Hungarian Meteorological Service, Budapest, Hungary.
- Takács, L.*, 1969: A műszerezettség és a megfigyelésszervezés 1870-ben II. rész. *Légkör*, 14(4): 86–89.
- 

## ORCID

- Bokros K.*  <https://orcid.org/0009-0006-5323-2421>
- Izsák B.*  <https://orcid.org/0000-0003-1323-5389>
- Lakatos M.*  <https://orcid.org/0000-0002-3705-0306>
- Pongrácz R.*  <https://orcid.org/0000-0001-7591-7989>