

Magyarország sugárzási és szélklímája, a szél- és napenergia előrejelzések meteorológiai háttere

Weidinger Tamás



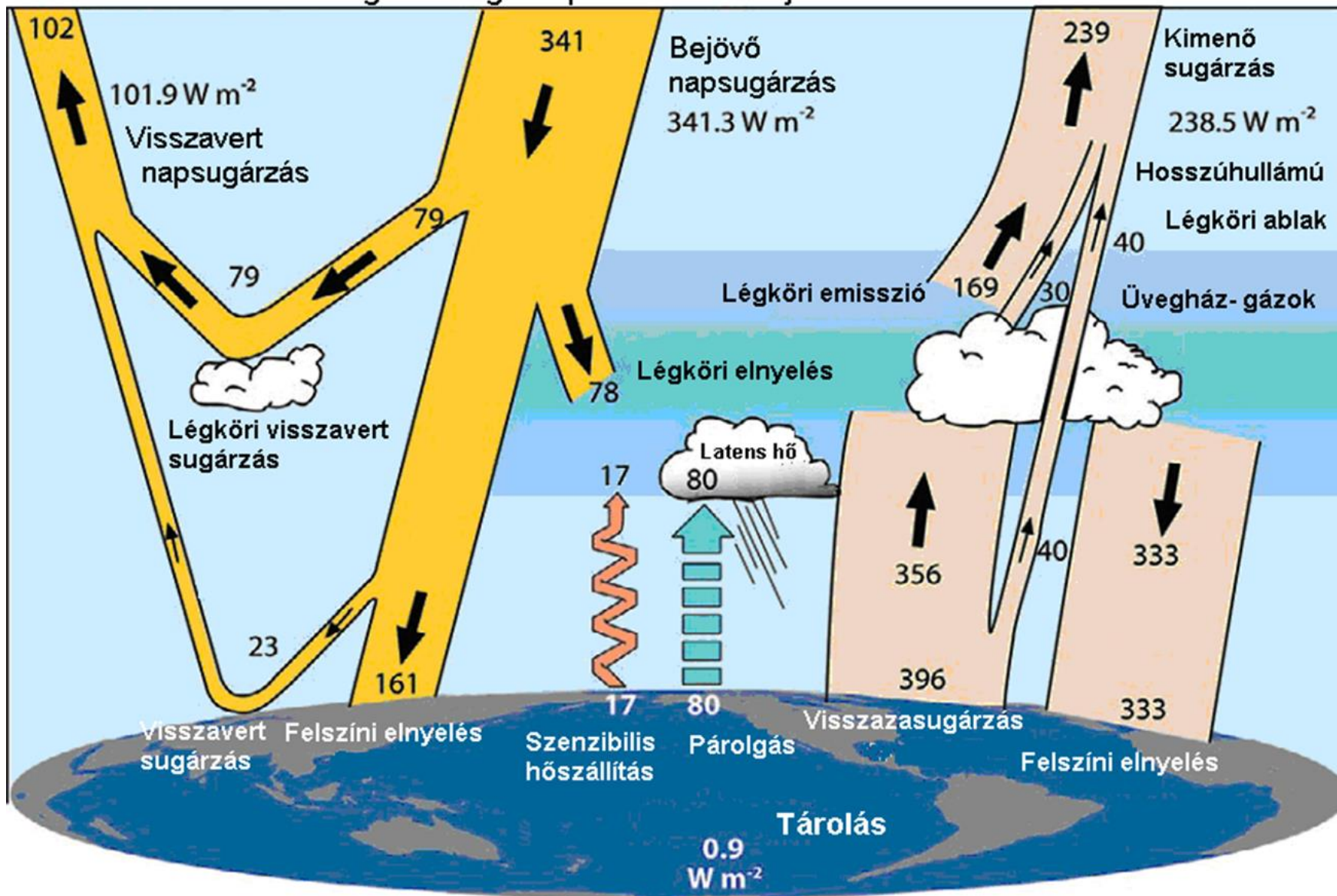
ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék

Sugárzási klíma

- Globálsugárzás
- Rendelkezésre álló adatbázisok
- Napsütéses órák száma – Mennyi az annyi?
- Az átlagolás kérdése
- Napenergia előrejelzések
- Szakdolgozatok diplomamunkák az elmúlt két évtizedből

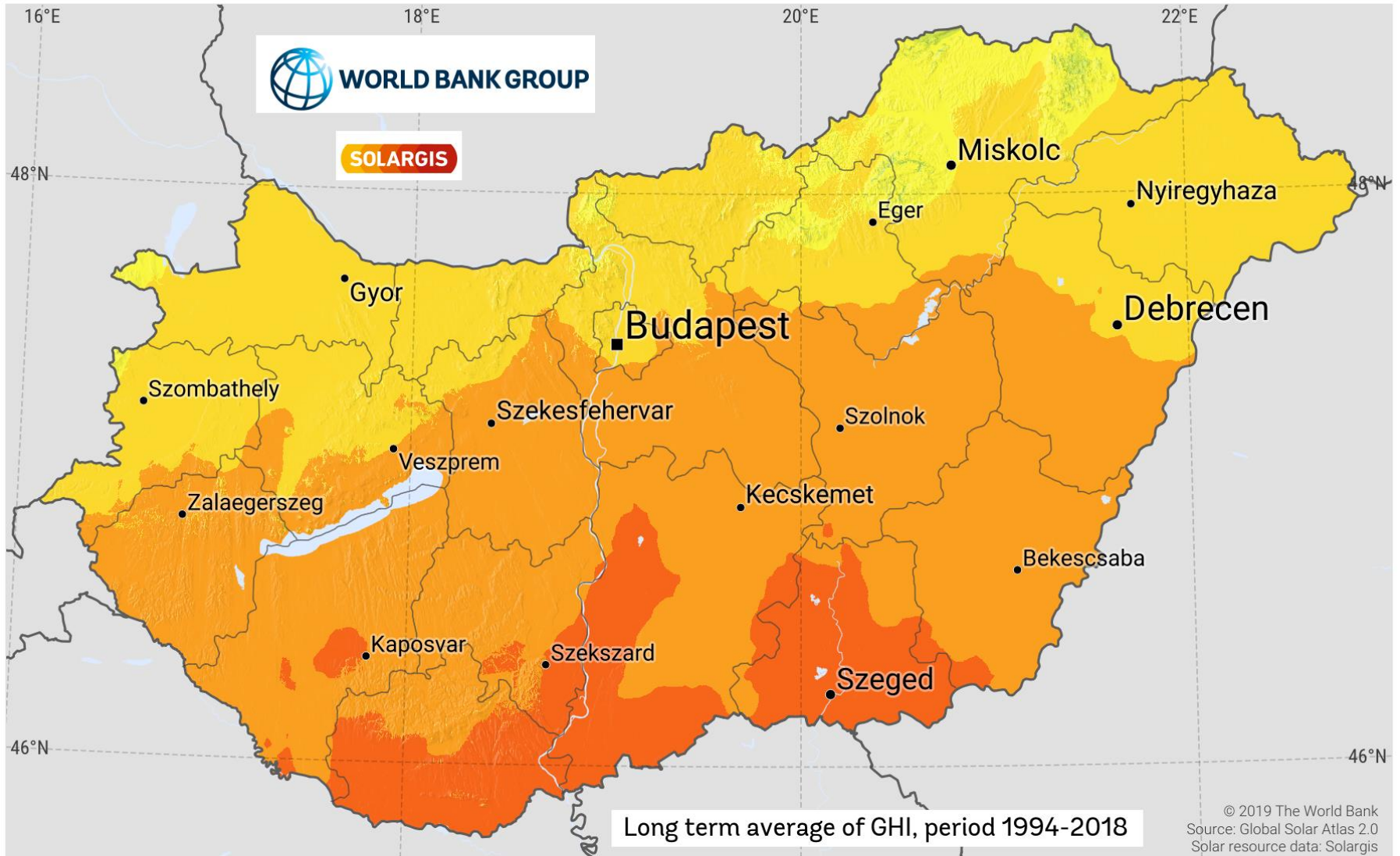
Föld-légkör rendszer energiaháztartása

Energia mérleg komponensek – a teljes Földre $W m^{-2}$

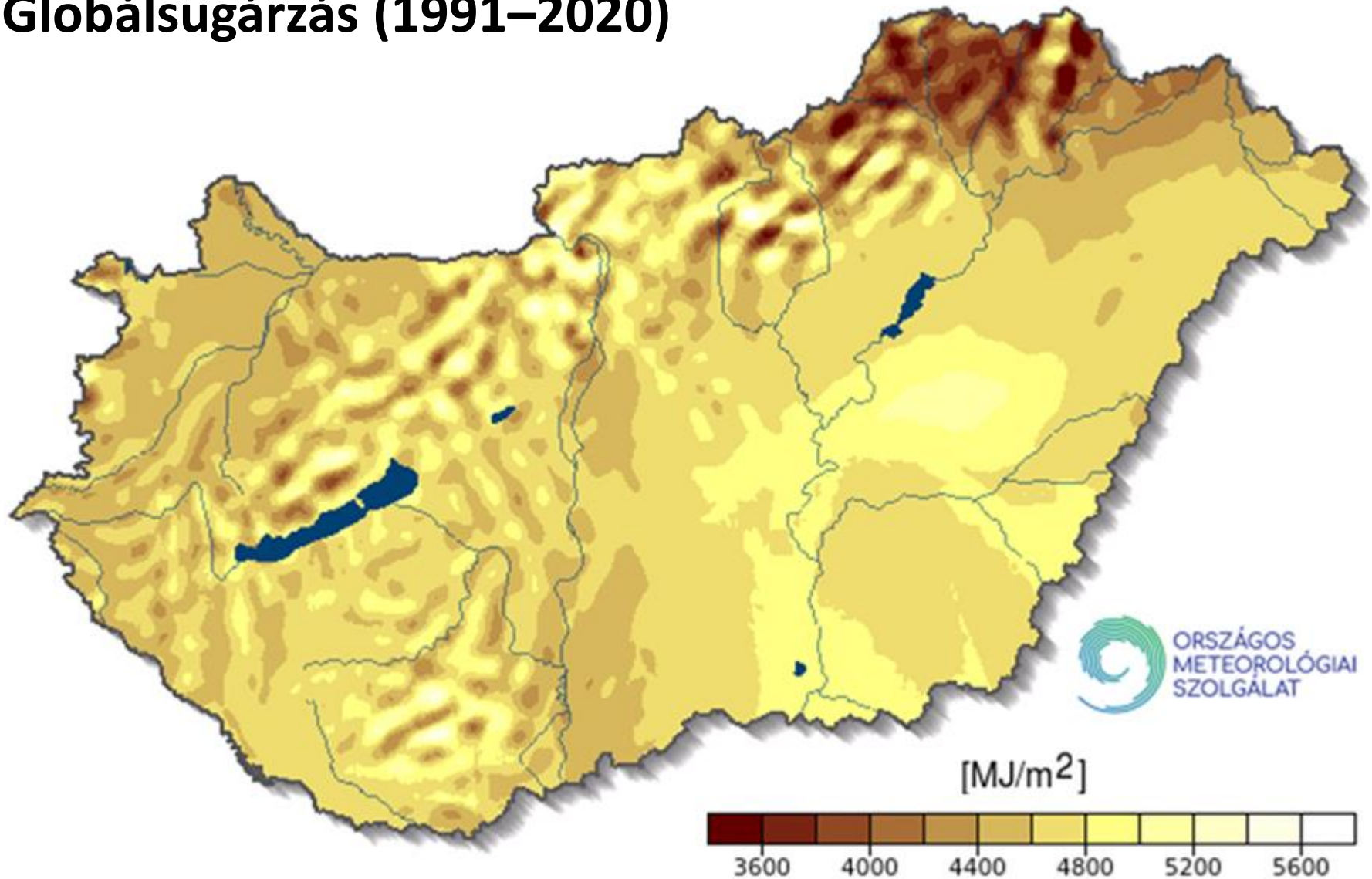


Napállandó: $1364 / 4 W/m^2 = 341 W/m^2$, $10\ 761 MJ/m^2/év$

Évi átlagos globálsugárzás eloszlása nyílt adatforrásból



Globálsugárzás (1991–2020)



Budapest (2011–2022) Átlag: 4740 MJ/m² , Min: 4411 MJ/m² , Max: 4975 MJ/m²

Maximális eltérések havi skálán: ±15-20% az átlagértéktől.

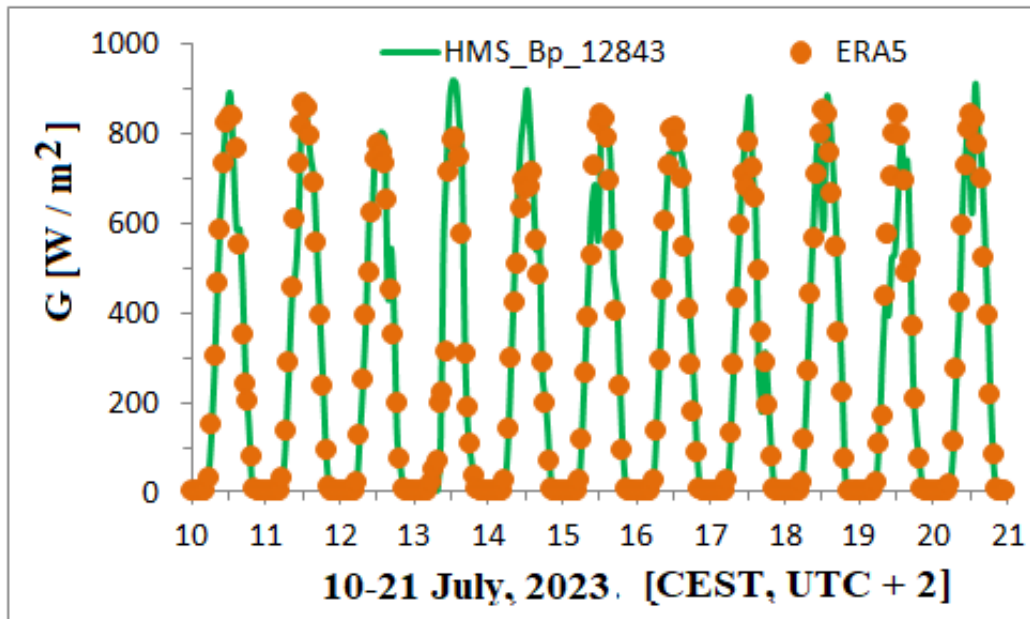
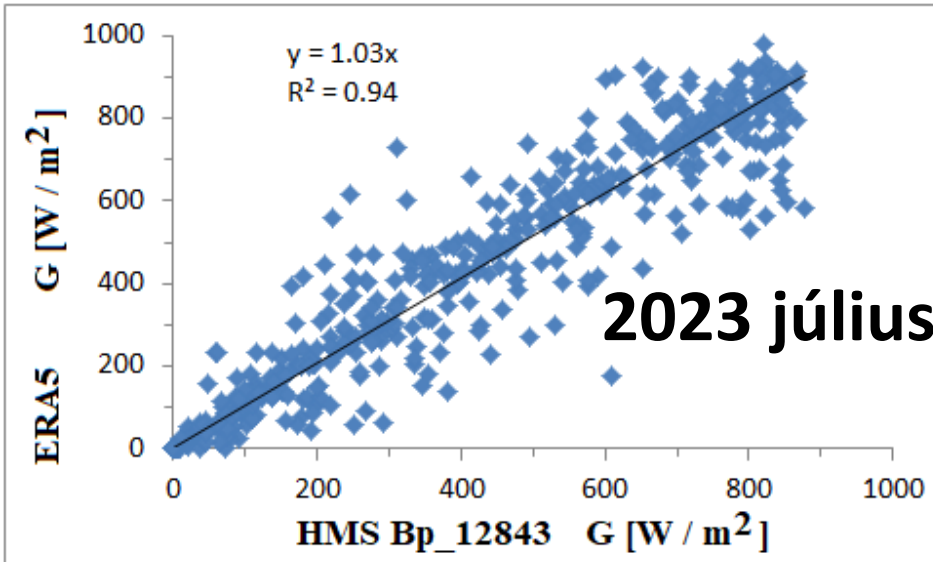
Adatforrások:

- 10 perces globálsugárzás adatok az OMSZ nyílt adatbázisában
<https://odp.met.hu/> (**Példaértékű nyílt adatpolitika**)
- Órás szinoptikus állomási adatok – felhőzet (**Egyre kevesebb adat!**)
<https://www.ogimet.com/home.phtml.en>
<http://www.meteomanz.com/?l=1>
- **ECMWF ERA5** – órás adatbázis 1940-től napjainkig
(**Szinte minden, amire szükségünk lehet**)
<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- Helyi mérések, pl. **ELTE BpART**
(**1 perces adatsűrűség, minőségbiztosítás**)

Mikrometeorológiai mérések városi és vidéki területen

- Mérési módszerek, minőségbiztosítási eljárások, ajánlások, adatbázisok
- COST program Action CA20108 (FAIRNESS)
FAIR NEtwork of micrometeorological measurements:
www.fairness-ca20108.eu/

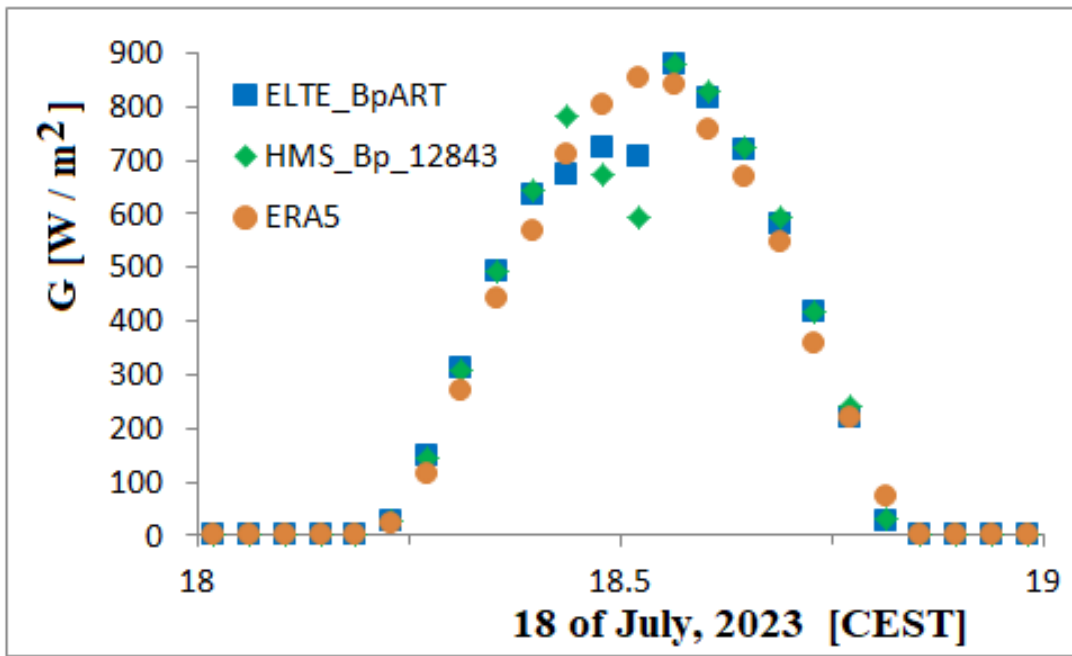
Mért és reanalízis (ERA5) globálsugárzás adatok



Marczell György
Főobszervatórium
Pestszentlőrinc
WMO kód 12843

HMS – Hungarian
Meteorological Service

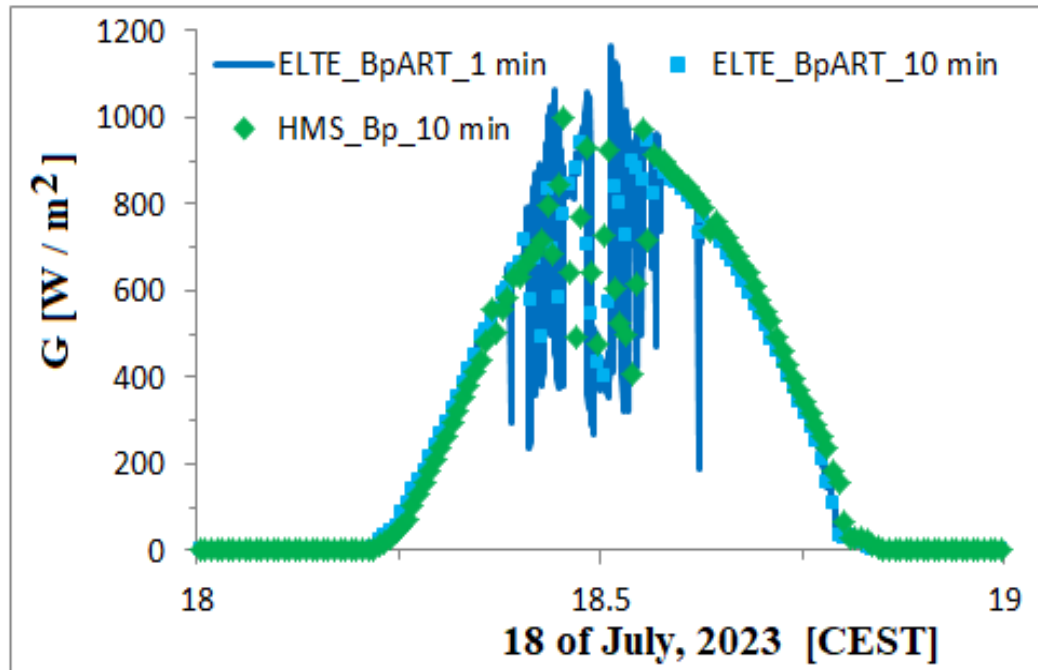
Egy tipikus nyári nap 2023. július 18



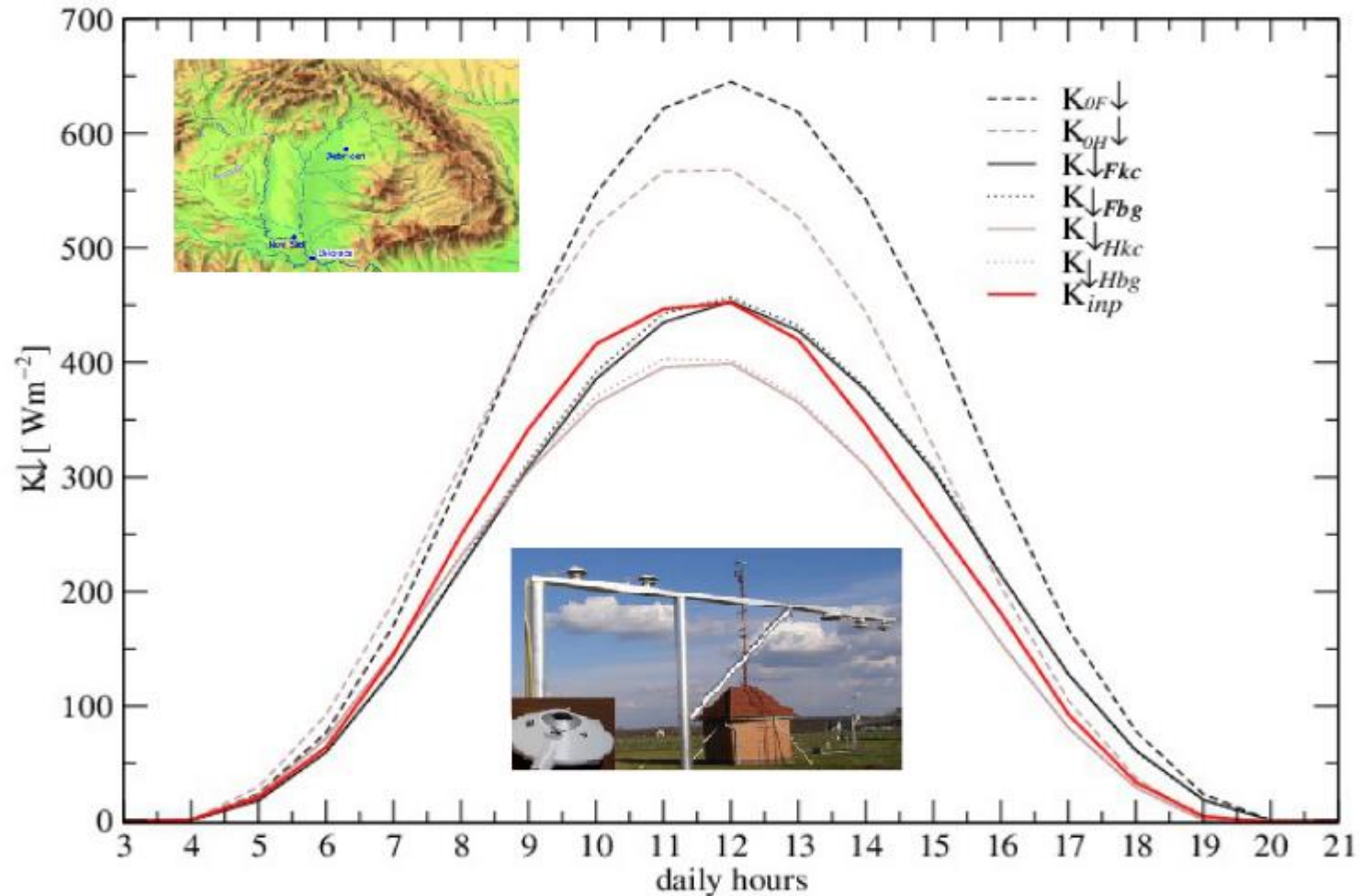
Kipp and Zonen
globálisugárzás mérő műszer



ELTE lágymányosi épülete
BpART

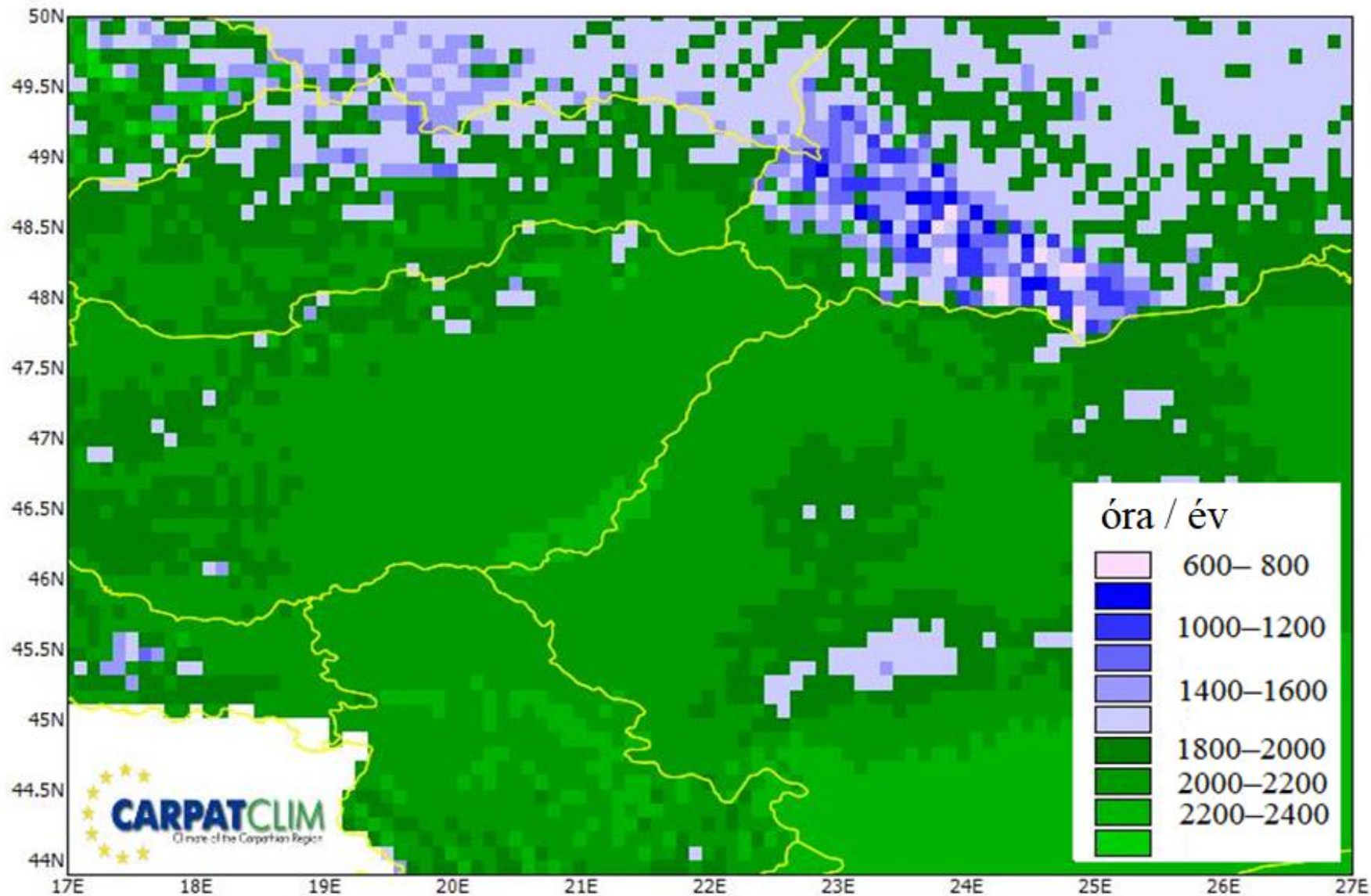


A besugárzás átlagos évi menete mérések és optimális modellszámítások alapján Debrecenre



Optimális megoldás: Foken-féle felhőmentes parametrizáció ($K_0 \downarrow$) együtt Kasten és Czeplak felhőzeti parametrizációjával ($K \downarrow$).

Évi napsütéses órák száma (1991–2010)



Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T., Stepanek, P., ..., Spinoni, J., 2013: Climate of the Greater Carpathian Region. Final 740 Technical Report. <http://www.carpatclim-eu.org>.

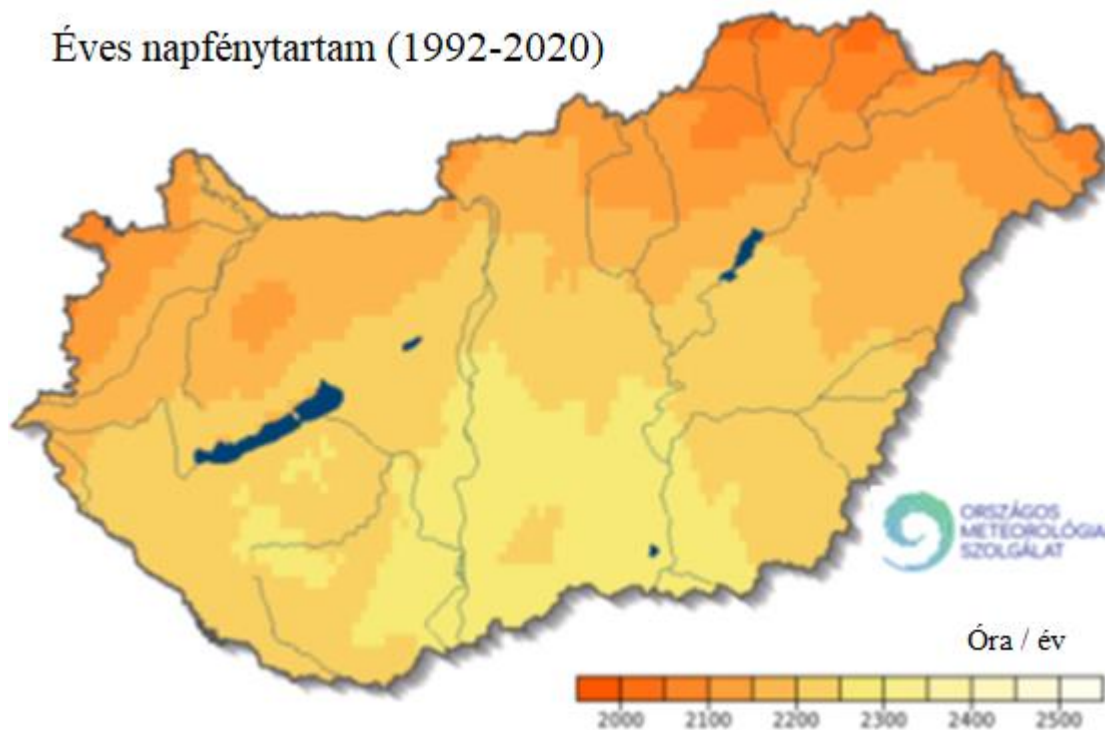
Sunshine duration in Hungary Climate atlas of Hungary



Sokévi átlagos napfénytartam:
1850 – 2200 óra/év

Műholdas alapú új módszertan
szerint (EUMETSAT CM SAF)
1950 – 2300 óra/év

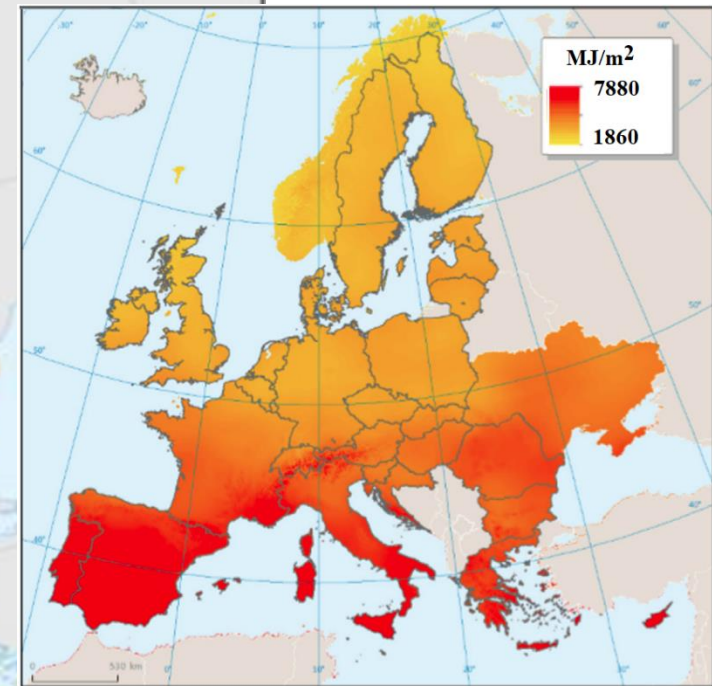
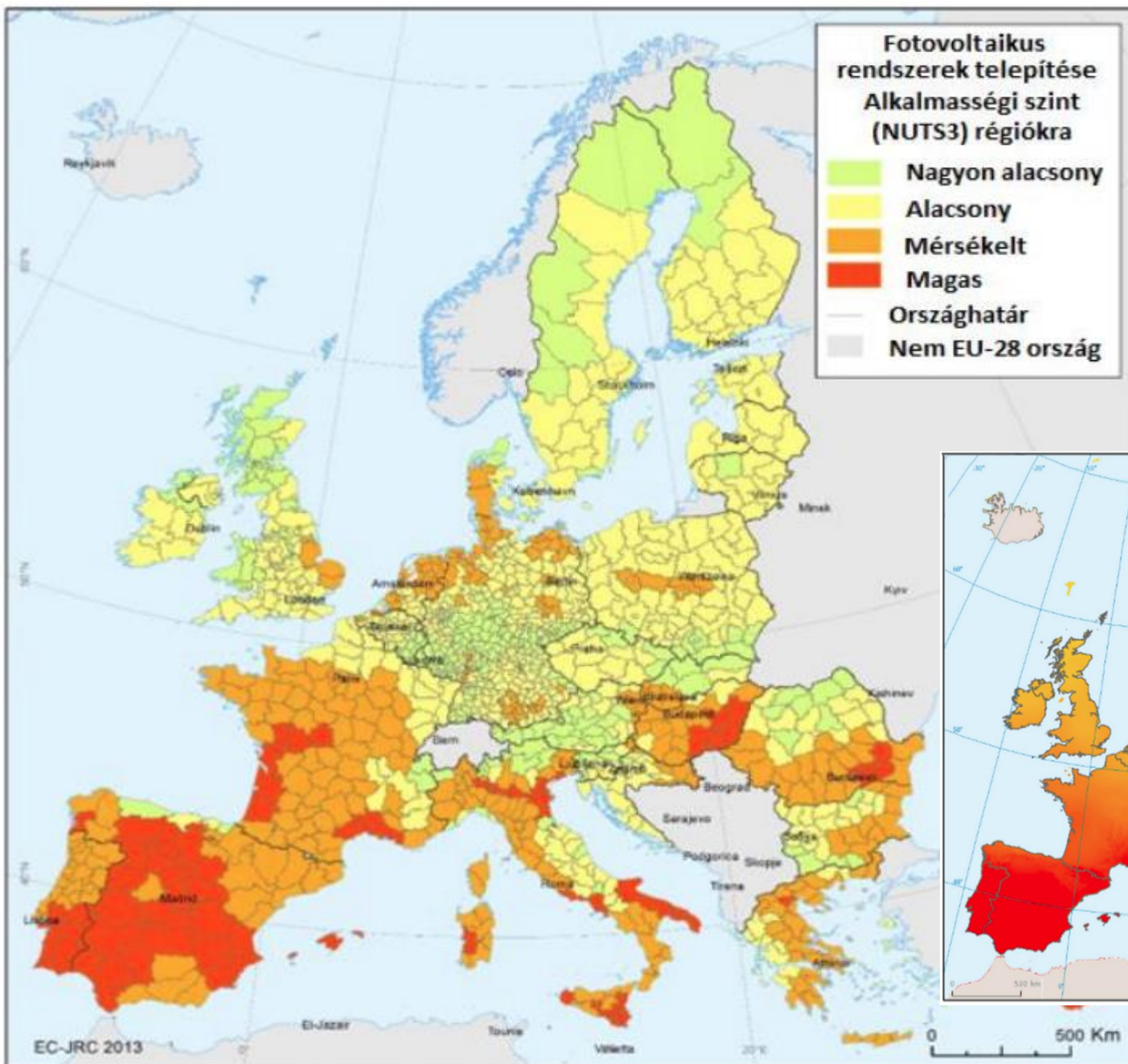
Éves napfénytartam (1992-2020)



Több mint 100 óra különbség

Napenergia potenciál

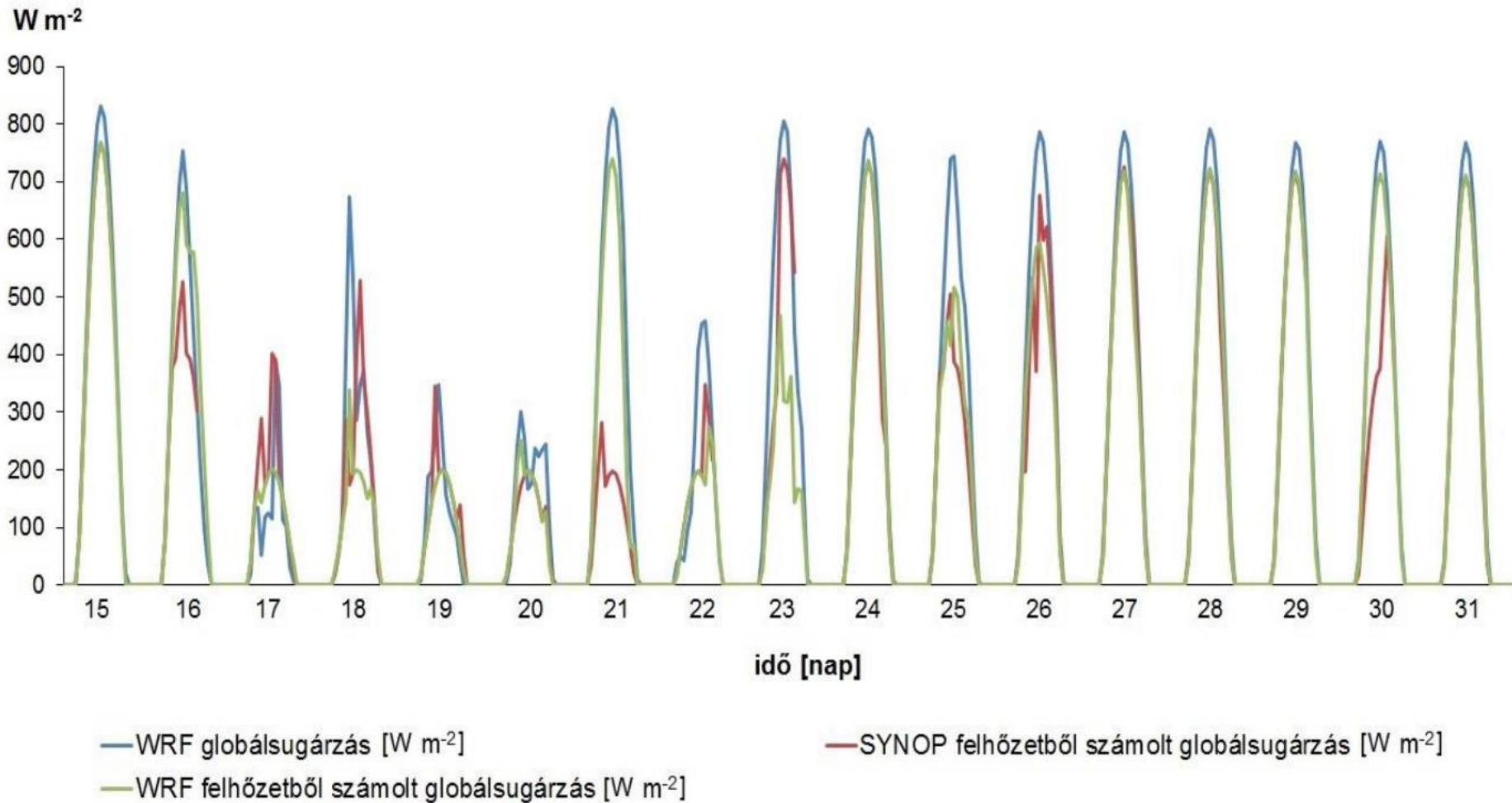
Reális esély
a gazdaságos
működésre



Megújuló energiatermelés előrejelzése

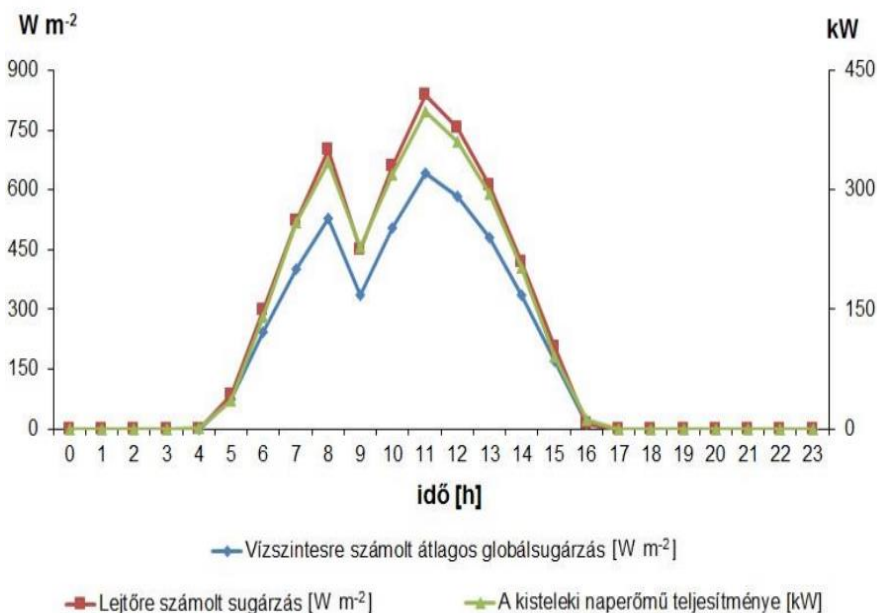
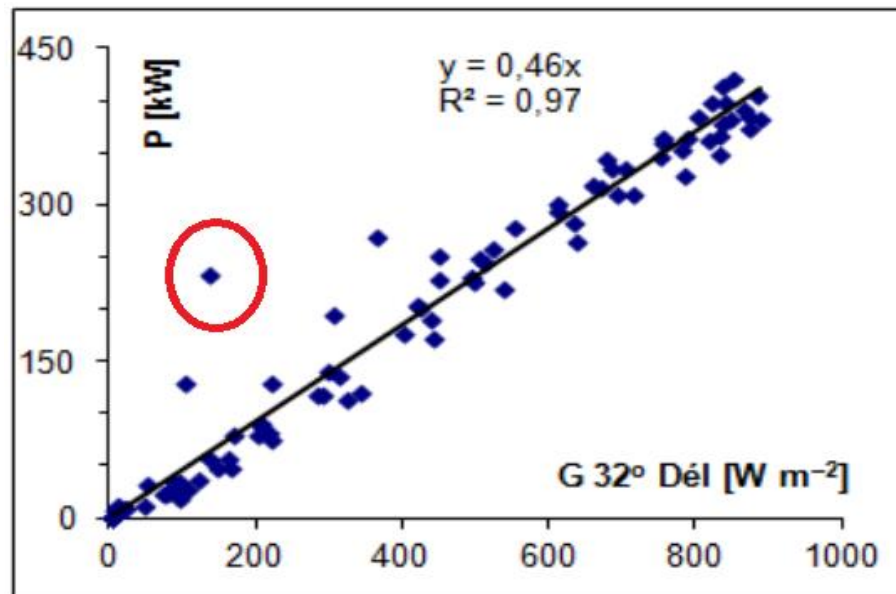
- Komplex meteorológiai matematikai és gazdasági feladat
- Olyan döntési algoritmus kell, ami minimalizálja a veszteséget
- Skálafüggő (térben és időben) módszerek alkalmazása
- Nowcasting (mérés, advekció, MOS, tanuló algoritmusok, **DE** mögötte a meteorológiai tapasztalat kell, hogy legyen) MOS, machine learning, etc.)
- Rövidtávú előrejelzések (NWP + modellfejlesztés + statisztikai módszerek (modell klíma) + MOS)
- Néhány napos előrejelzések (modelleredmények, valószínűségi előrejelzések, MOS)
- Éghajlati információk

Hallgatói munka 1: Numerikus modellszámításokra (WRF) alapozott napenergia termelési előrejelzés fejlesztése, 2016



A WRF modellből kinyert debreceni globálisugárzás, a WRF által szolgáltatott felhőzeti adatokból számolt globálisugárzás és a debreceni szinoptikus állomás felhőzeti adataiból számolt globálisugárzás összehasonlítása a **2015. 08. 15–31-ig tartó időszakra.**
(Bán B., 2016, TDK DOLGOZAT (témavezetők: Weidinger T., Gyöngyösi A.Z).)

Hallgatói munka 2: Kisteleki naperőmű nyílt termelési adataira alapozott vizsgálatok: analízis, és egy érdekes esettanulmány



32°-os déli lejtőszöggel számolt globálsugárzás és a naperőmű teljesítményadatainak összehasonlítása (órás időlépcső, 2015. március 17 – 23).

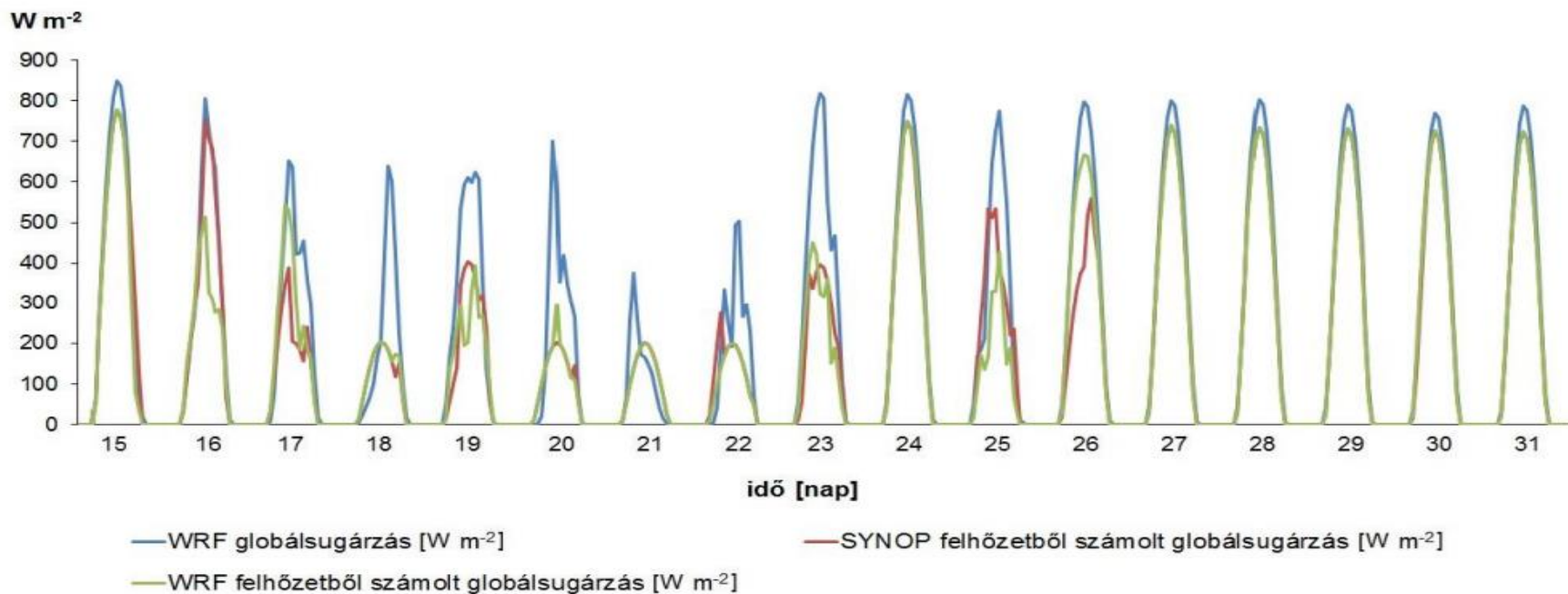
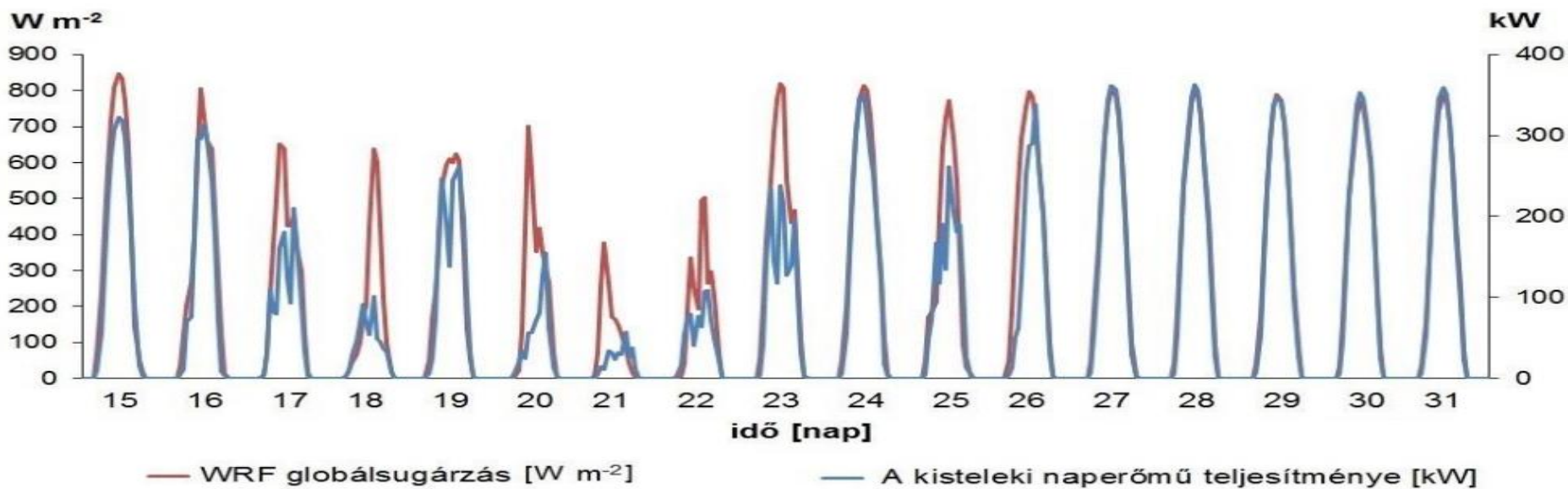
499 kW beépített villamos teljesítmény
500 millió forint-os projekt 2013-ban

<https://www.kistelekjaras.hu/index.php?module=cikk&id=398>

Részleges napfogyatkozás 2015. március 20.

Sugárzásbecslés – szegedi állomási mérések alapján.

Kisteleki naperőműre vonatkozó meteorológiai előrejelzések és termelési adatok 2015 augusztus második fele (96 órás napi előrejelzések 2. napi adatai alapján)



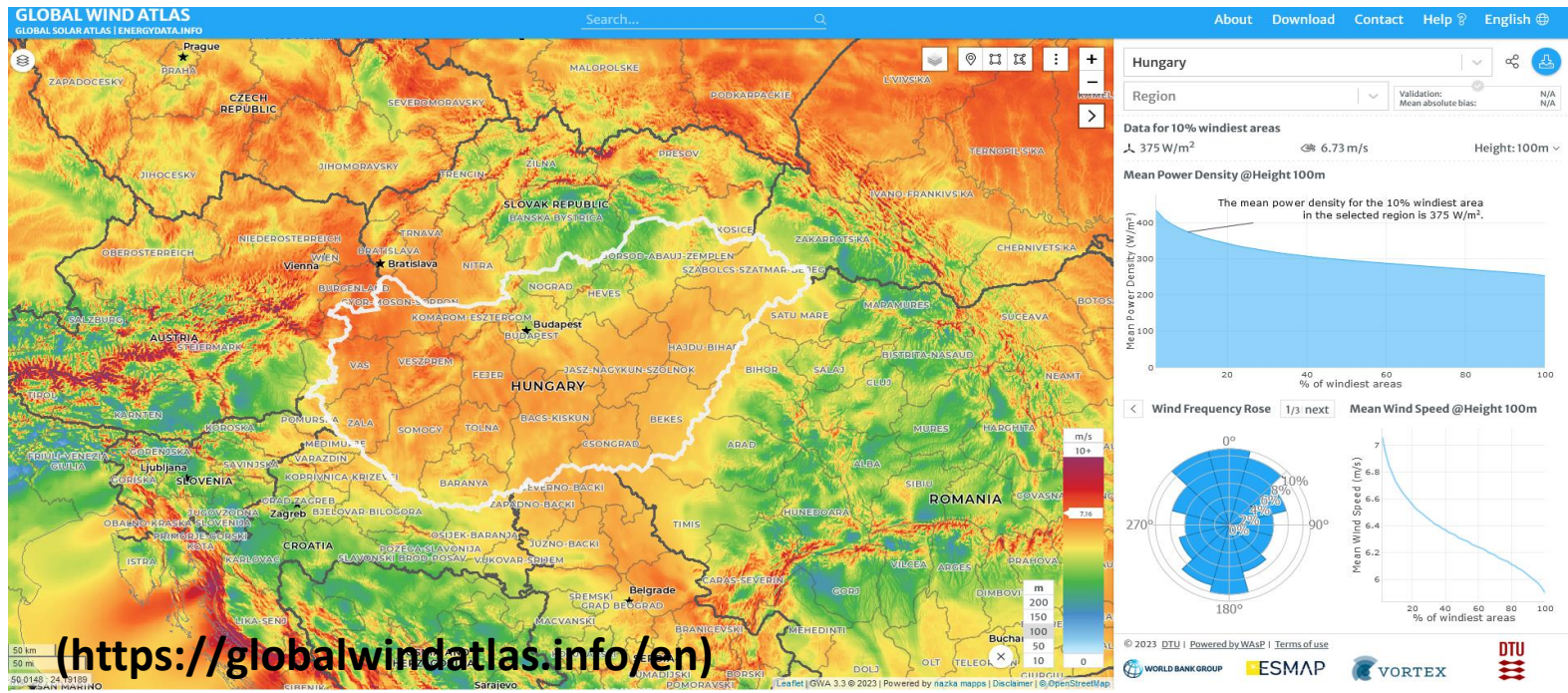
Szakdolgozatok – diplomamunkák 2000-tól, ELTE Met.

Név	Évszám	Típus	Cím
Rajna Szilárd	2003	MsC	Lejtők sugárzásviszonyainak modellezése
Hajdú Máté	2008	MsC	A szél-, és napenergia hasznosításának lehetőségei Magyarországon
Miklós Erika	2009	BsC	Sugárzási paraméterek 2071-2100-ra várható változása Magyarországon a PRUDENCE szimulációk alapján
Molnár Csilla	2012	Bsc	Komplex felszínek sugárzásmérleg komponenseinek modellezése
Pátkainé Rusznayk Renáta	2014	MsC	EUMETSAT CM-SAT sugárzás produktumok validálása felszíni globálsugárzás adatokkal
Molnár Csilla	2015	MsC	A rövidhullámú sugárzás modellezése komplex felszínek felett
Bán Beatrix	2015	BsC	Globálsugárzás modellezése energetikai vizsgálatokhoz
Czelnai Levente	2016	BsC	Felhőtlen égbolt infravörös sugárzásának vizsgálata
Sürge Evelin	2016	BsC	A globálsugárzás modellezése a Bristow-Campbell módszer alapján
Kerek Alíz Natália	2017	BsC	Rövidhullámú sugárzás mérése és modellezése
Kordás Nóra	2018	MsC	A globálsugárzás előrejelezhetőségének vizsgálata műholdas adatok alapján
Bán Beatrix	2018	MsC	A WRF modellre alapozott napenergia előrejelzések fejlesztése
Sürge Evelin	2018	MsC	Globálsugárzás-becslő modellek alkalmazhatóságának vizsgálata
Gulyás Márk	2018	BsC	A légköri visszasugárzás parametrizálása
Deczki Zoltán	2021	MsC	Rövidtávú előrejelzések kiértékelése a megújuló energia célú felhasználásra

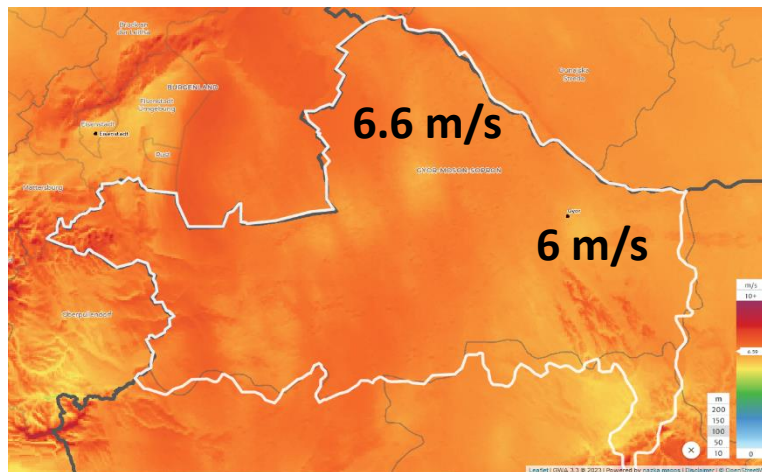
Szélenergetikai vizsgálatok

- Regionális szélklimatológiai térképek, adatbázisok
- Átlagos napi szélprofilok különböző szinteken
- Statisztikai eloszlások
- Új generációs szárazföldi szélgenerátorok
- Szélenergetikai előrejelzések
- Szakdolgozatok, diplomamunkák

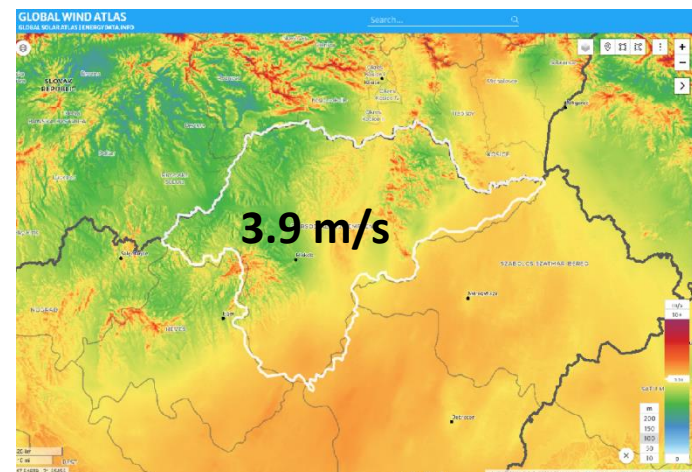
Átlagos évi szélesebbeloszlás a Kárpát-medencében és hazánk két megyéjére 100 m-es magasságban



(<https://globalwindatlas.info/en>)

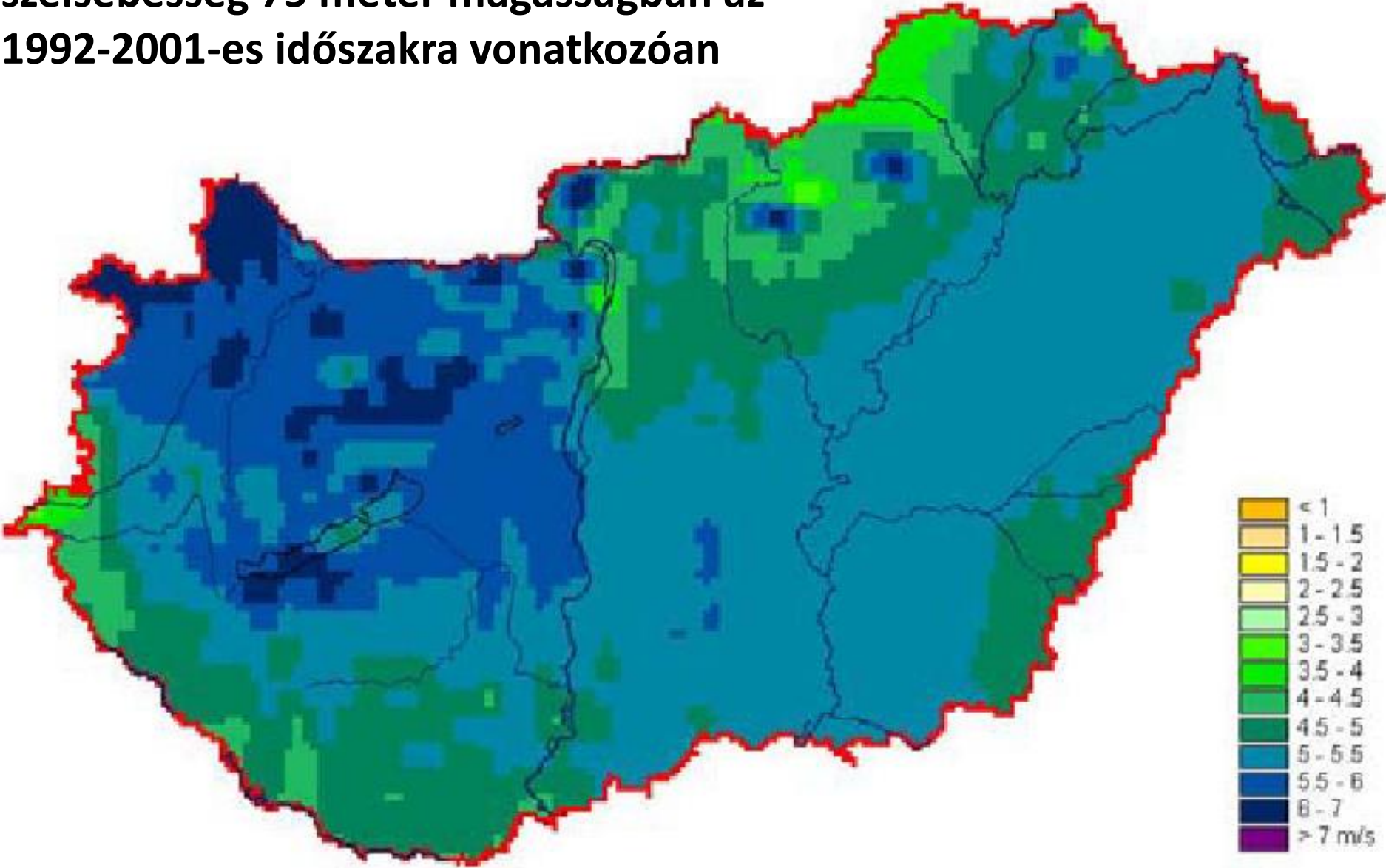


Győr-Moson-Sopron

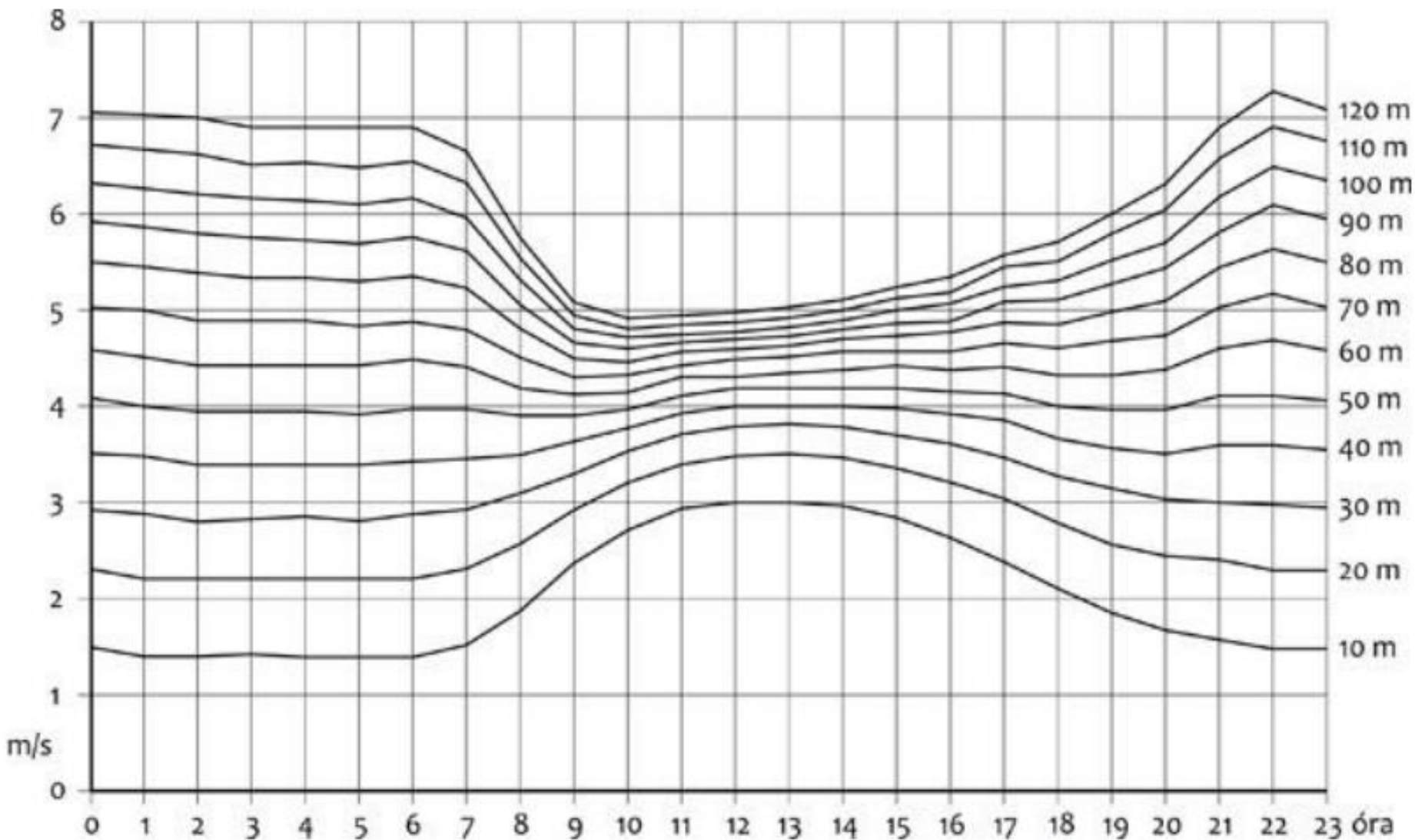


Borsod_Abaúj-Zemplén

Dinamikai leskálázással számított átlagos szélsebesség 75 méter magasságban az 1992-2001-es időszakra vonatkozóan



A szélesebbesség átlagos napi menete a 120 m-es paksi mérőtorony adatai alapján



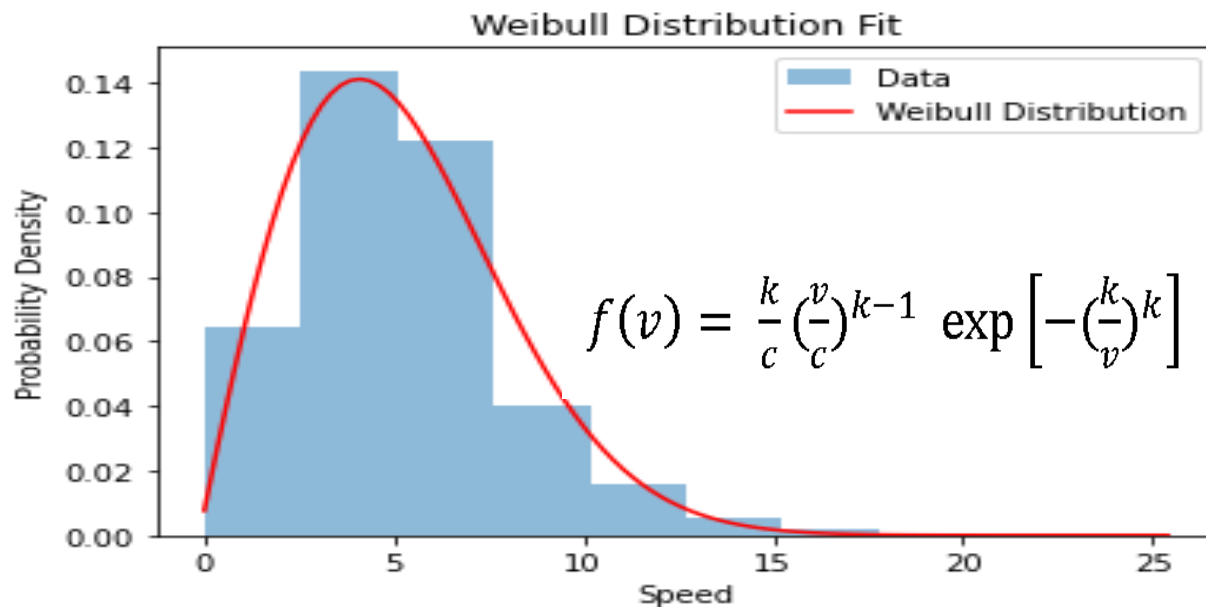
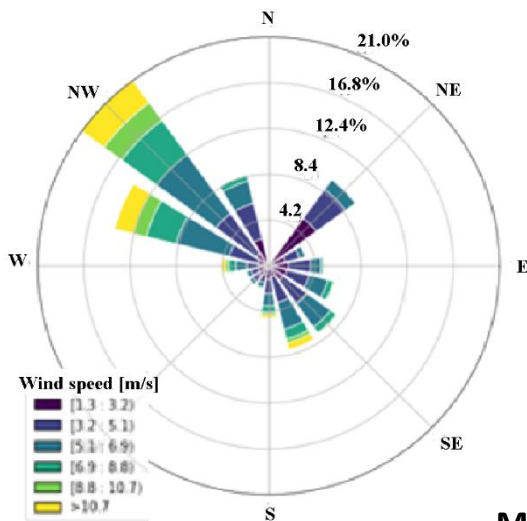
Szalai, S., Gács, I. and Tar, K. (2010). the situation of wind energy utilization in Hungary. Magyar Tudomány, 8.(In Hung.)

<http://www.matud.iif.hu/2010/08/06.htm>

Szálsébbesség statisztikai szerkezete, ENERCON 40 szélturbína mérési adataiból 65 m-en Mosonmagyaróváron



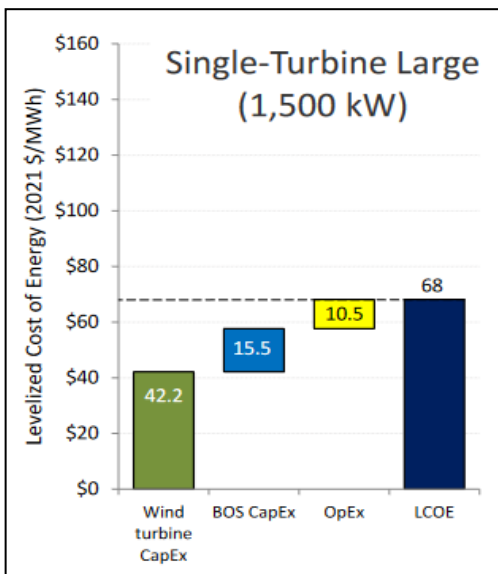
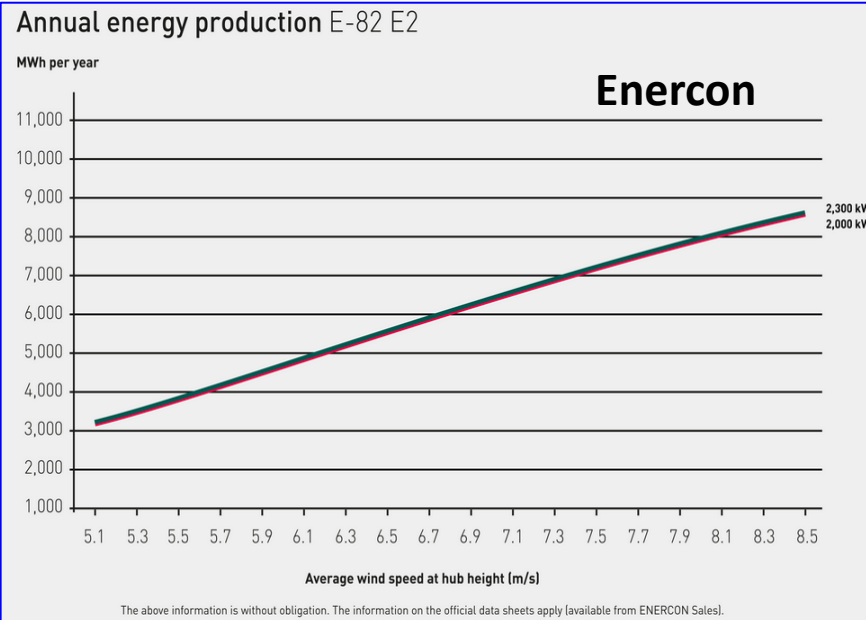
Wind rose - Year 2013



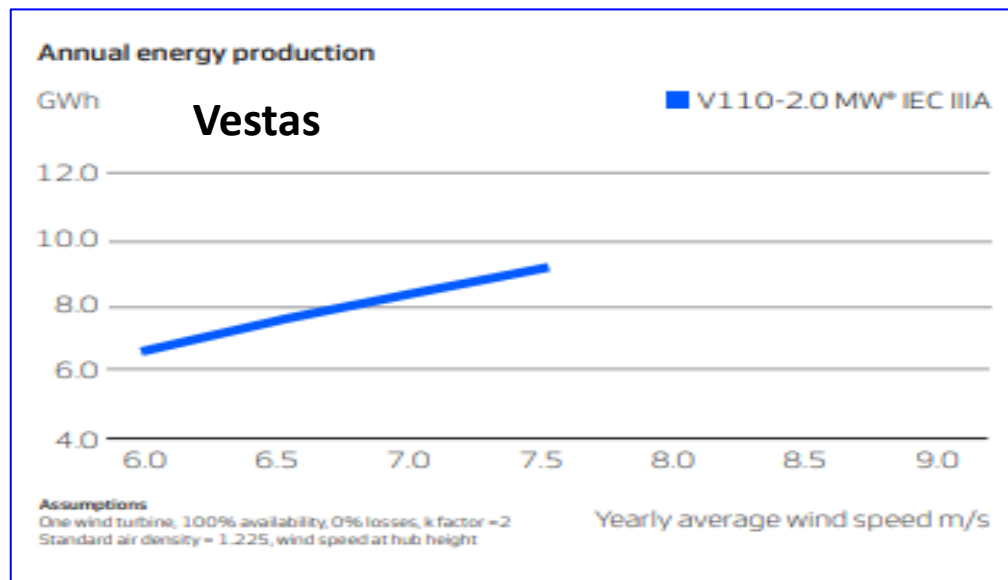
Év	Átlag	Szórás	Skála param. (c)	Dőlés (k)
2010	5,25	2,58	0,898	1,689
2011	4,96	2,43	0,935	1,654
2012	5,28	2,49	0,809	1,837
2013	5,16	2,53	0,864	1,711
2014	4,99	2,39	0,929	1,719

Power curves for new generation Vestas and Enercon continental wind generators

Régebbi Enercon-70 (115 m) – Mosonmagyaróvár

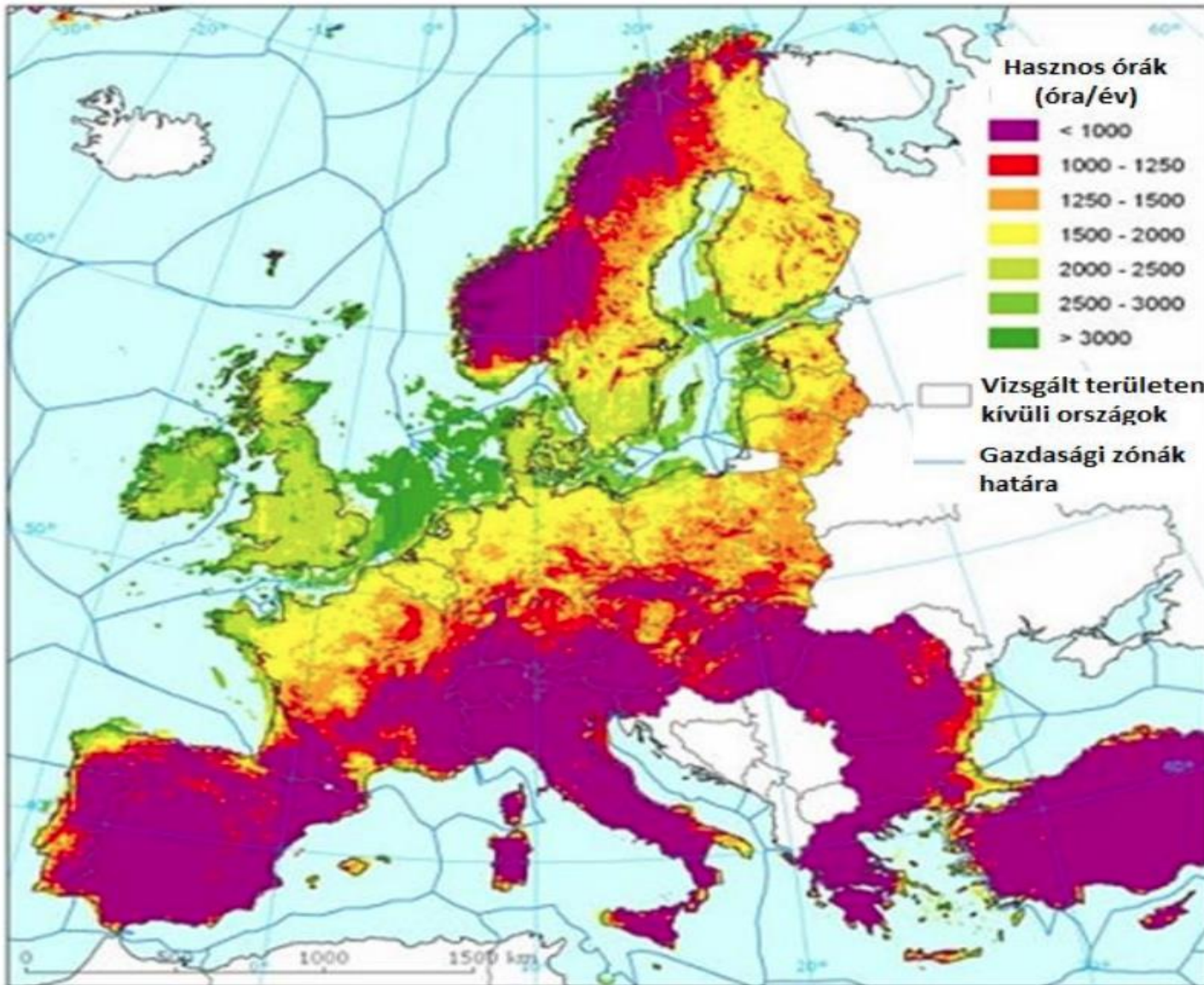


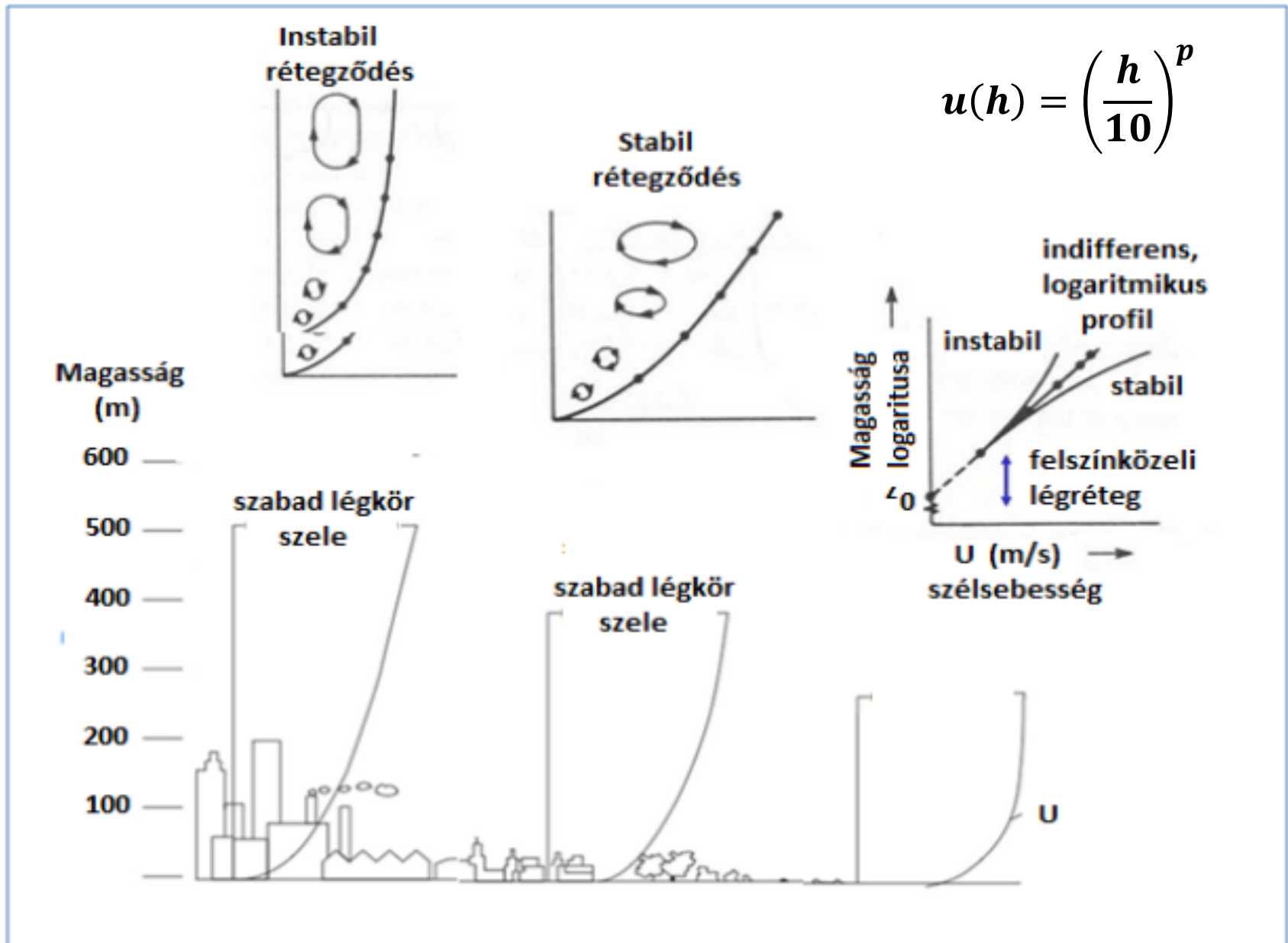
www.nrel.gov/docs/fy23osti/84774.pdf



us.vestas.com/en-us/products/2-mw-platform/V110-2-0-mw

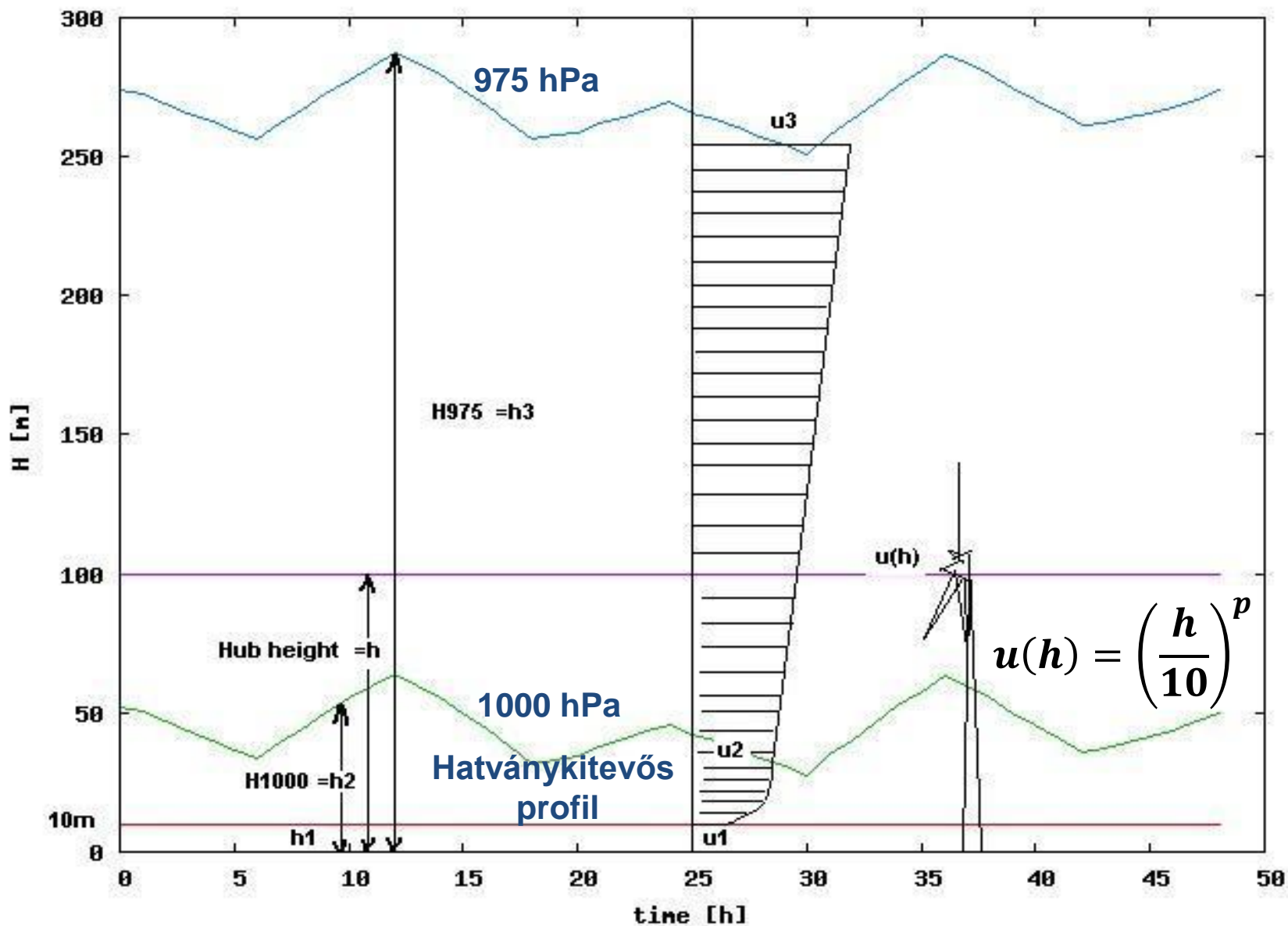
ECMWF szélmező analízis 80 m-es szinten a domborzat és az érdeesség figyelembevételével





A szélprofilok alakja a légköri stabilitástól (fent) és a felszín borítottságától (érdességétől) függően.

Szélprofil számítás – p kitevő becslésével



A szélenergetikai becslések illetve előrejelzések meteorológiai vonatkozásai

Felszíni modell paraméterek (domborzat, vegetáció, érdesség, albedó, talajféleség, stb.)

Bemenő adatok
(GCM, NCEP, ERA-40, ECMWF, mérések.)

Mezoskálájú modell
(pl. ALADIN, MM5, RAMS, ETA, WRF)

Utófeldolgozás

Éghajlati adatsorok, statisztikák

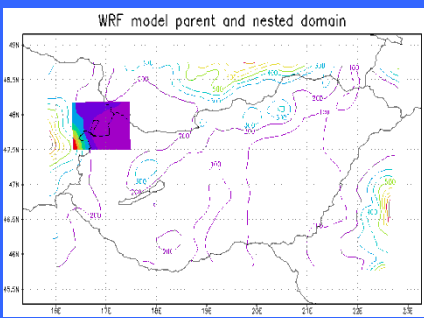
MOS (modell output statisztika)

Interpoláció, lokális skála

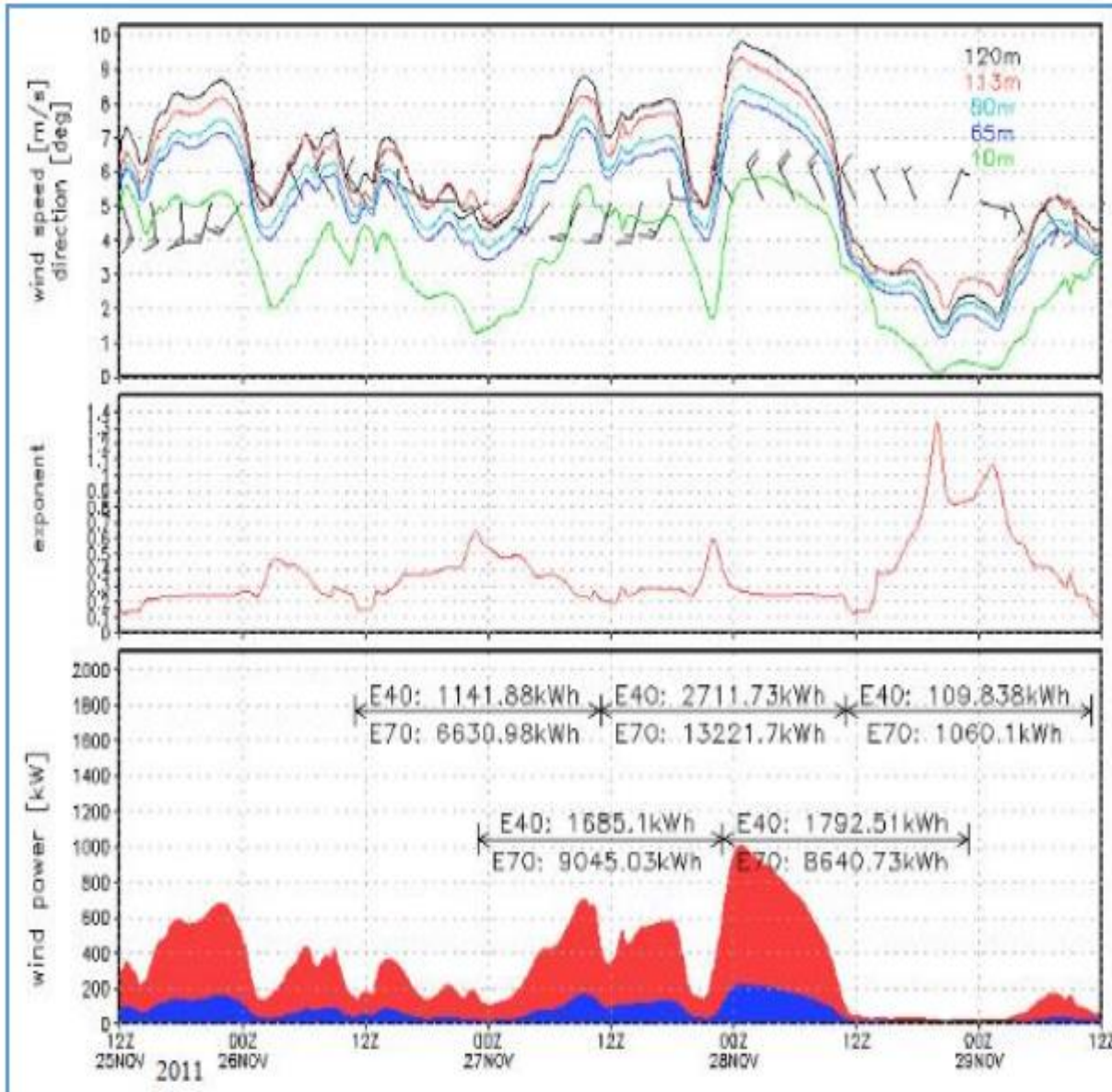
Energetikai becslés, előrejelzés

Lokális modellszámítás
(pl. WasP, LES)

Nagyfelbontású adat-bázisok:
pl. domborzat



Operatív előrejelzés a mosonmagyaróvári szélerőművekre WRF modellszámítások alapján – amíg szükség volt rájuk





Szélturbina-lapát újrahaszználata a dániai Aalborgban. Forrás: Schmid, M. et al. 2020

Munkácsi B. et al., 2020: SZÉLENERGIA A 21. SZÁZADBAN - ÉS MAGYARORSZÁGON

Szakdolgozatok, diplomamunkák, Phd dolgozatok 2000-től

Név	Évszám	Típus	Cím
Varga Bálint	2003	MsC	Széleenergetikai becslésekre vonatkozó vizsgálatok néhány magyarországi térségre
Radics Kornélia	2004	PhD	A szélenergia hasznosításának lehetőségei Magyarországon: hazánk szélklímája, a rendelkezésre álló szélenergia becslése és modellezése
Tarjányi Zsuzsanna	2007	MsC	Szélelőrejelzés és az éves energiatermelés statisztikai korrekciója
Hajdú Máté	2008	MsC	A szél-, és napenergia hasznosításának lehetőségei Magyarországon
Wendl Bernadett	2009	MsC	A WRF modellel készített szélenergia becslések Mosonmagyaróvárra
Dobor Laura	2009	BsC	Magyarországi szélesebesség várható változása a XXI. század végére a PRUDENCE eredményei alapján
Gertner Orsolya	2011	BsC	A kisteljesítményű szélgenerátorok városi alkalmazási lehetőségei
Kovács Mónika Eszter	2013	MsC	WRF modellre alapozott napi szélenergia előrejelzések beválásának statisztikai vizsgálata, az alkalmazott számítási módszer optimalizálása
Illy Tamás	2014	MsC	Szélenergia becslések regionális éghajlati modellek alapján
Pátkainé Rusznyák Renáta	2014	MsC	EUMETSAT CM-SAT sugárzás produktumok validálása felszíni globálsugárzás adatokkal
Lencse Róbert	2015	BsC	Statisztikai alapú valószínűségi előrejelzés készítése a szélerőművek által termelt energia becslésére
Péliné Németh Csilla	2015	PhD	A regionális szélklíma tendenciáinak elemzése a globális klímaváltozás függvényében
Deczki Zoltán	2021	MsC	Rövidtávú előrejelzések kiértékelése a megújuló energia célú felhasználásra
Bordi Sára	2021	BsC	Szélel kapcsolatos összetett extrém események elemzése

Összefoglaló megjegyzések

- Új, európai léptékben is példamutató hazai meteorológiai adatpolitika (OMSZ)
- Jól használható éghajlati és reanalízis adatbázisok (ERA5, CarpatClim, OMSZ adattár)
- Problémát jelent a csökkenő számú felszíni felhőzet és napfénytartam mérés – *fontos lenne az adatbázisok integrálása*
- Egyszerű becslés szerint, *hózzávetőlegesen az év harmadában áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű* felhasználható nap- és szélenergia
- Szükség van más energiaforrásokra (alaperőmű, nemzetközi együttműködés, optimális szabályozás, és felhasználás stb.)
- Az előrejelzés módszertana függ a tér- és időbeli felbontástól és a gazdasági elvárásoktól
- Fontosak a modell output statisztikák, de nem helyettesíthetik a jelenségek megértését a modellfejlesztés elméleti feladatait.