

# Szénergetikai becslések mérési adatok és modellszámítások alapján



Gyöngyösi A. Z., Weidinger T., Gertner O.  
ELTE Meteorológia Tanszék

Bánfalvi Károly  
Netpoint Bt.

OMSz, 2012. április 18.

# Tartalom

- Probléma felvetés: Szélenergia hasznosítás lehetősége hazánkban meteorológiai szempontból
- Két féle kutatási irány:
  - Modellezés
  - Mérés
- Numerikus prognosztika alkalmazása
  - modellrendszer bemutatás
    - Modellek
    - Bemenő adatok
    - Utófeldolgozás
- Klimatológiai alkalmazások
- Napi numerikus szélprognózisok
- Kisteljesítményű szélgenerátorok

# Szélenergia hasznosítás lehetősége hazánkban meteorológiai szempontból

- Globális igény a szélenergia hasznosítására
- Szélgenerátorok fejlődésével ma már gazdaságos hazánk kontinentális szélviszonyai között is

DE:  $E \sim U^3$    $dE \sim 3 dU$

- Kontinentális szélviszonyok ( $2 \sim 5 \text{ m s}^{-1}$ ):
  - nagy területi és évek közötti változékonyság
  - szélirányra való nagyfokú érzékenység (komplex felszín)
  - uralkodó szélirány legtöbb helyen 20% alatti (ciklon -- a.c.)
- Energetikai szélmérés költséges, korlátozott lehetőségű, éves változékonyság miatt nem teljes
- A lehető legpontosabb széladatok szükségesek
  - tervezés fázisában
  - napi üzemeltetés során
- Interpol. módszerek használhatósága korlátozott
- numerikus prognosztika

# Numerikus prognosztika alkalmazása

## Az időjárás előrejelzés módszere

- Jelenlegi állapot minél pontosabb ismerete (mérés)
- Fizikai összefüggések alkalmazásával az előrejelzési feladat végrehajtása
  - adatasszimiláció, inicializáció
  - numerikus integrálás
  - utófeldolgozás
- Lehetőség idő- és térbeli interpolációra
- Nagy felbontású, pontos meteorológiai adatsorok
- Alkalmazása szélenergia kutatásra
  - tervezés
  - üzemeltetés



# Rendelkezésre álló modellek

- NCEP/Eta
  - ma már nem fejlesztett és támogatott
  - ELTE-n 2005-től 2008-ig használt modell
- WRF
  - folyamatosan fejlesztett és támogatott
  - ELTE-n 2007 óta használt
  - nagyon megbízható modell, amely
  - kutatási és veszély előrejelzési célból bevonásra került az operatív munkába is
- ALADIN/CHAPEAU
  - Hazai operatív modell hordozható változata
  - összehasonlító vizsgálatok: biztató előzetes eredmények

# Weather Research and Forecasting

- közösségi modell fejlesztés
- Nyílt forráskód, felhasználók és fejlesztők köre óriási (80 000 felhasználó világszerte), sok tapasztalat, "bug-fix"
- rendszeres munka-értekezletek, továbbképzések, online support
- teljes "összenyomható" egyenletrendszer
  - hanghullámok
  - Coriolis és metrikus tagok
  - Egy- és kétirányú beágyazás, mozgó tartomány
  - hordozhatóság (pl.: PGF 11-11-11 effektus)

# Bemenő adatok

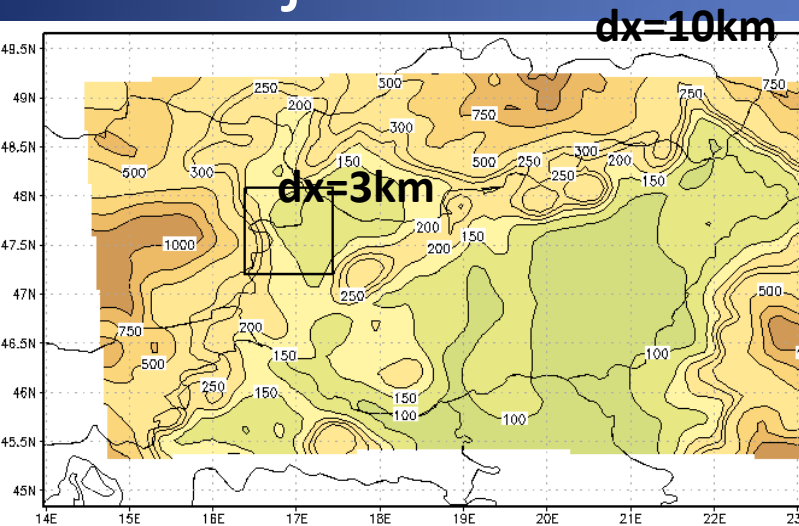
kezdeti- és peremfeltételek a numerikus integráláshoz

- NCEP
  - GFS ( $0,5 \times 0,5^\circ$   $3^h$ -ként, adott napra  $180^h$  előre)
  - GFS ( $2,5 \times 2,5^\circ$   $12^h$ -ként,  $180^h$  --  $364^h$  előre)
  - FNL ( $1,0 \times 1,0^\circ$   $6^h$ -ként, 1999-től folyamatos)
  - Reanal ( $2,5 \times 2,5^\circ$   $6^h$ -ként, 1948-től folyamatos)

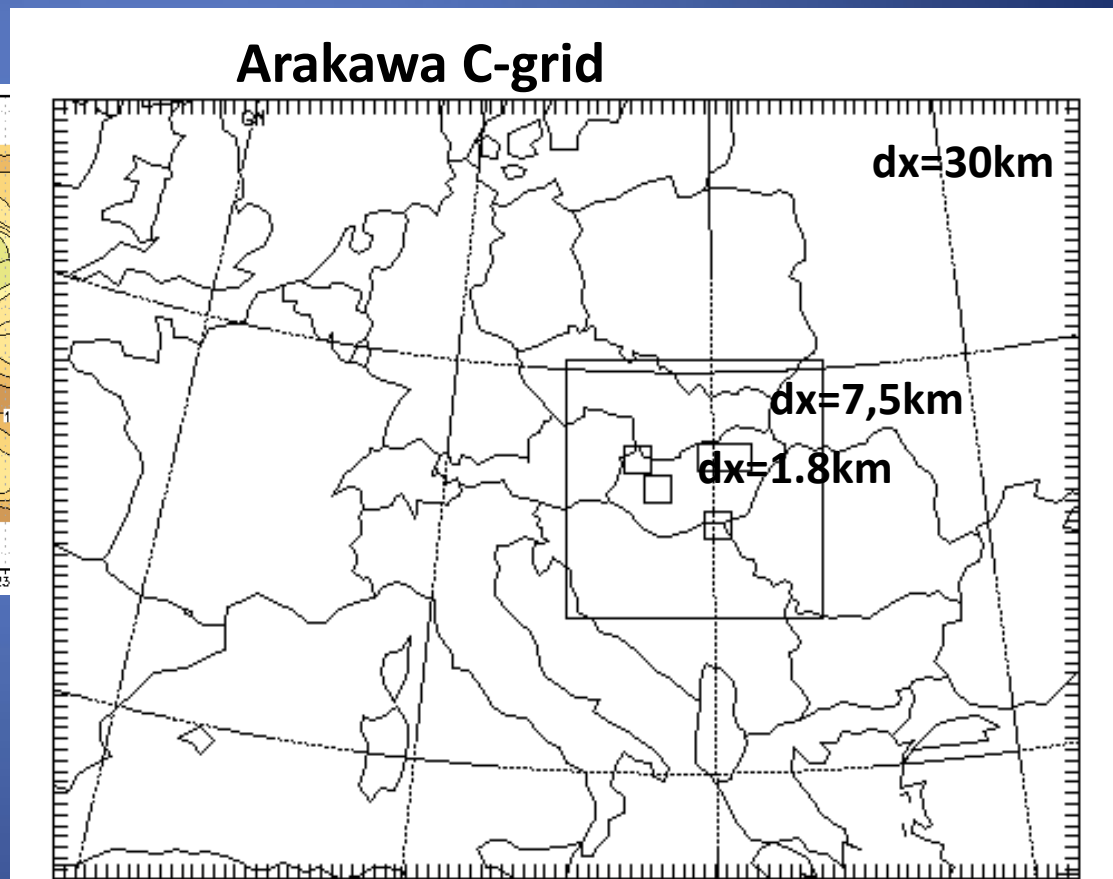
# Horizontális interpoláció

"beágyazás"

A legjobb interpolációt maga a modell dinamika adja futásidőben



A kompromisszum általában a rendelkezésre álló processzor erőforrás miatt szükséges

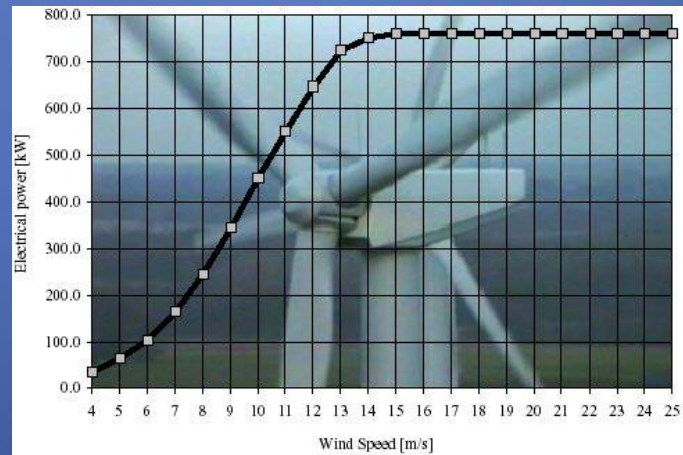
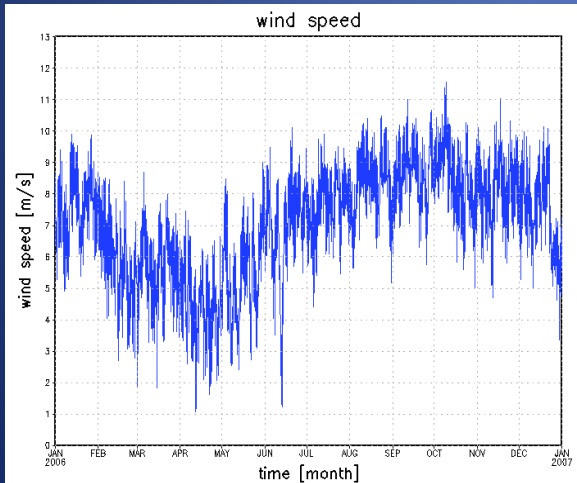




# Szélenergia számítások: *Modell utófeldolgozás*

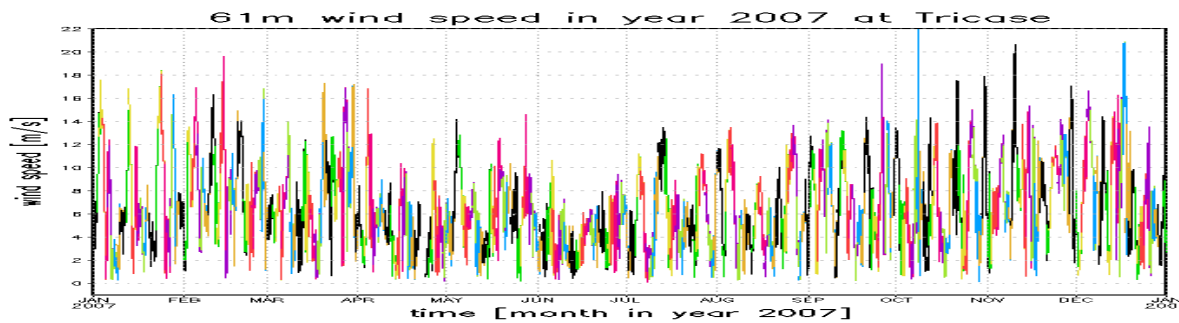
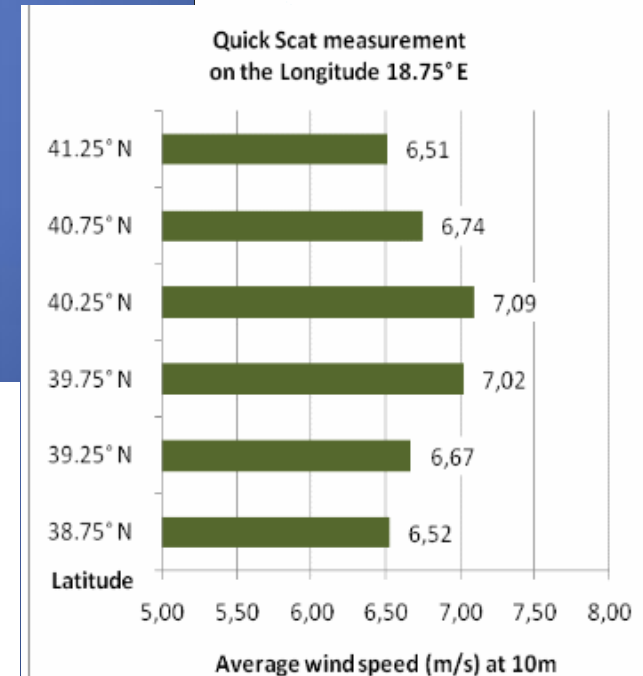
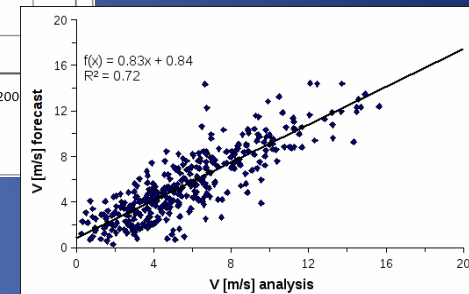
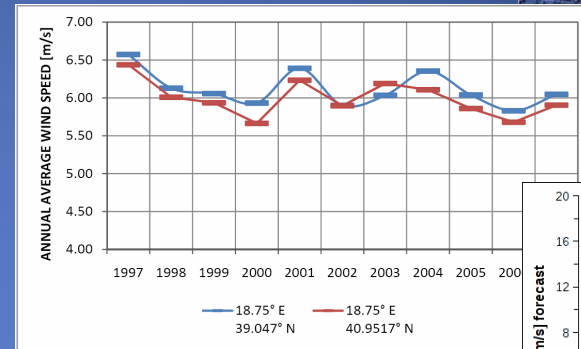
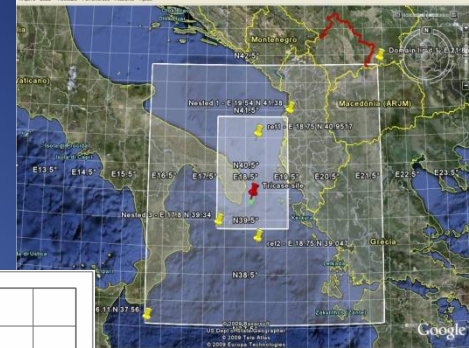
- Függ. Interpoláció
  - Logaritmikus szélprofil
- A hozamgörbe alkalmazása a széladatokra

$$u(z) = u(z_1) \cdot \left( \frac{z}{z_1} \right)^p$$
$$p = c \ln \frac{u_2}{u_1}$$
$$c = \left( \ln(z_2 / z_1) \right)^{-1}$$



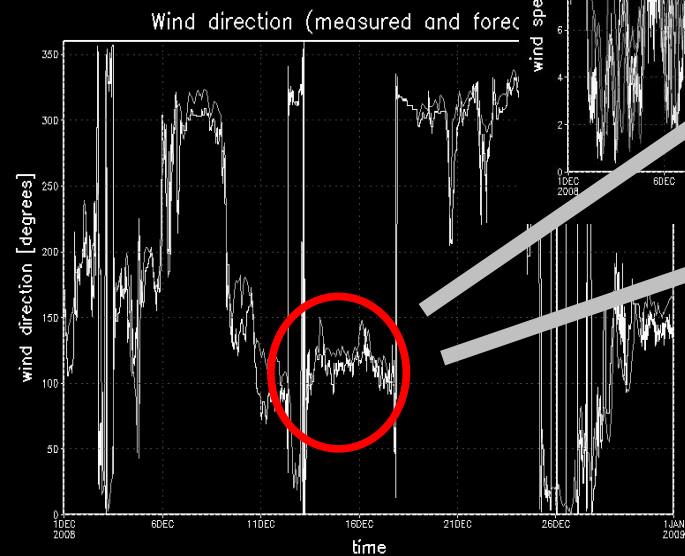
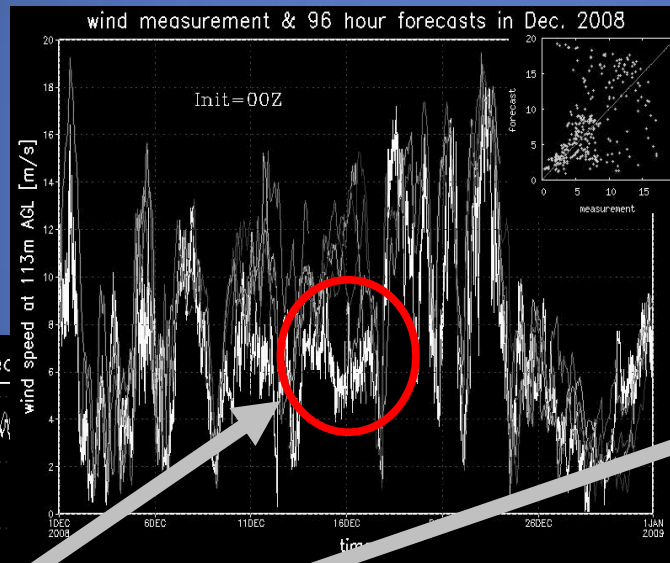
# Klimatológiai alkalmazások Tricase -- Olaszország (2008)

- o Tervezett off-shore szélpark
- o nincs az összehasonlításhoz szükséges direkt mérés a tenger fölött
- o Reanalízis (2000-2008)
- o FNL (2000-2008)
- o WRF (2006 -- 2008)
- o WRF (jan: 2000 -- 2008)
- o QuickSat



# Napi numerikus szél-prognózisok Mosonmagyaróvár – eredmények

- o Szélirány függő szisztematikus hiba
  - o W, NW, N irányok esetén: megfelelő egyezés
  - o E, NE irányok: jelentős hiba, DE:  $U < \text{cut-in}$
- o Fontos irány:  
N, NW (erős szelek)



sector	nu	avg. [ $\text{m s}^{-1}$ ]			error [%]	
		M	F	C	M	C
NNE	67	5.0	4.9	4.2	-9.5	-28.9
ENE	75	3.1	3.6	3.1	5.0	-11.8
ESE	130	5.7	9.8	8.4	38.8	28.2
<b>SSE</b>	<b>116</b>	<b>7.0</b>	<b>7.6</b>	<b>7.0</b>	<b>-7.7</b>	<b>-29.0</b>
SSW	94	6.0	9.3	7.9	27.0	14.1
WSW	21	4.3	4.4	3.7	24.5	-46.5
WNW	64	7.0	9.4	8.0	16.6	1.9
NNW	153	10.0	11.8	10.1	15.0	-0.01
avg/su	720	6.6	8.5	7.2	7.6	-9.0

# Online adatok 96<sup>h</sup> @ 1130LT

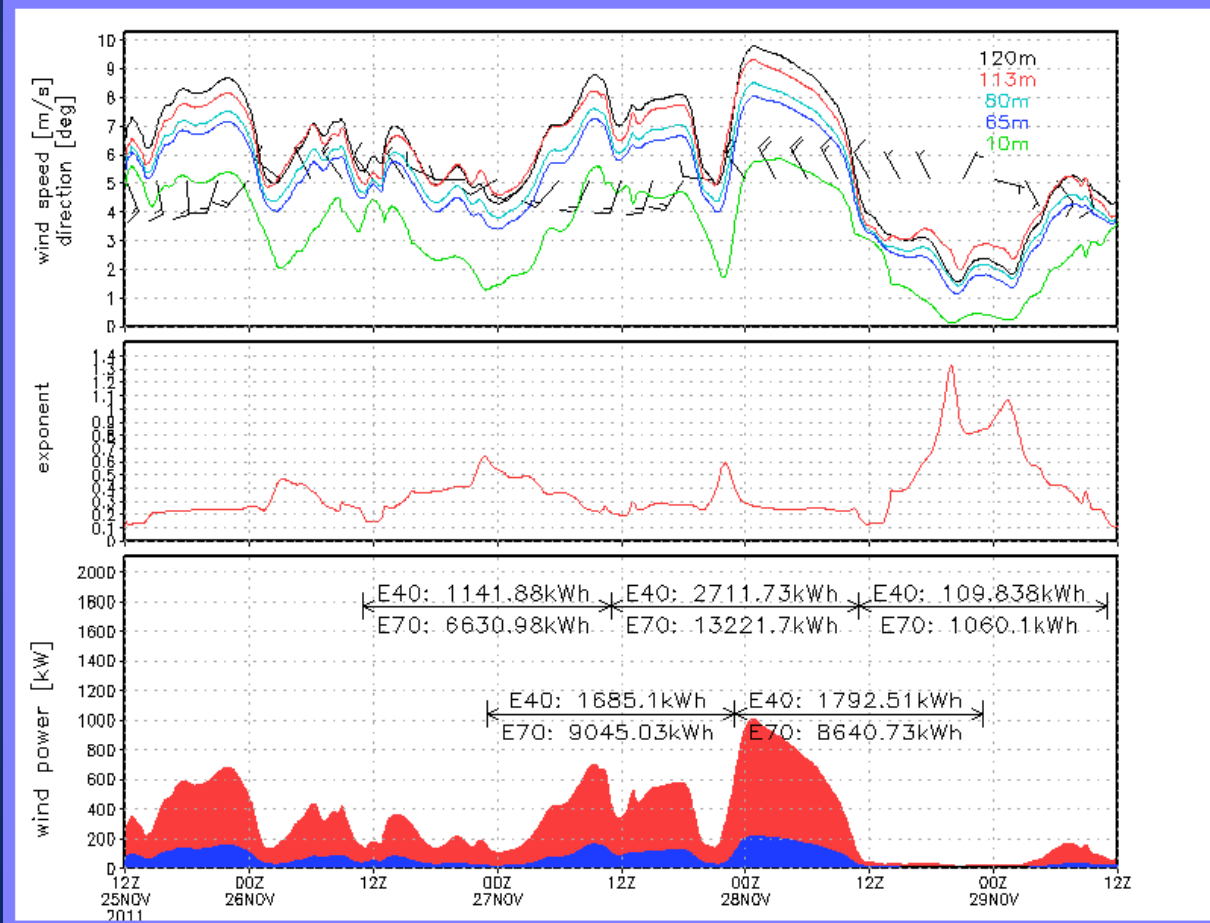
WRF Wind Energy Forecast - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://meteor24.elte.hu/wrf/mmo/wind.html

debreceeni kolekedesi vallalat

WRF Home @ ELTE Meteograms Timetable - Bus - 32 | DKV MÁV-START :: ELVIRA - bel... WRF Wind Energy Forecast



MMO Wind  
Click diagram for  
numerical data!

[Early forecast \(48h\)](#)

[click here for csv datafile](#)

[backup](#)



# Online adatok 96<sup>h</sup> @ 1130LT

WRF Wind Energy Forecast - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://meteor24.elte.hu/wrf/mmo/wind.html

debreceni kolekedesi vallalat

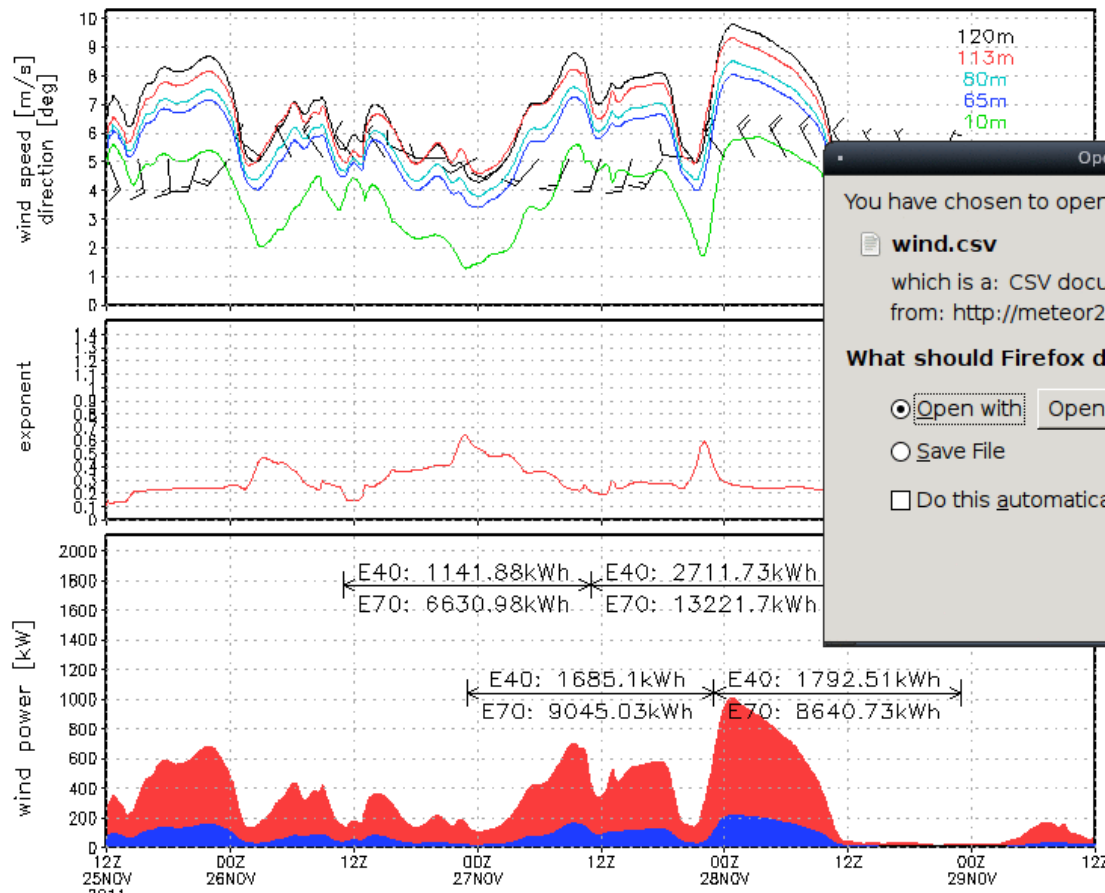
WRF Home @ ELTE

Meteograms

Timetable - Bus - 32 | DKV

MÁV-START :: ELVIRA - bel...

WRF Wind Energy Forecast



Opening wind.csv

You have chosen to open

**wind.csv**  
which is a: CSV document  
from: http://meteor24.elte.hu

What should Firefox do with this file?

Open with **OpenOffice.org Spreadsheet (defa...**

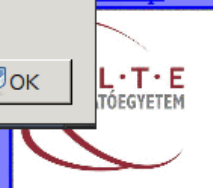
Save File

Do this automatically for files like this from now on.

Cancel OK

Wind  
ogram for  
cal data!

cast (48h)  
or csv datafile



Done



# Online adatok 96<sup>h</sup> @ 1130LT

WRF Wind Energy Forecast - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://meteor24.elte.hu/wrf/mmo/wind.html

debreceeni kolekedesi vallalat

WRF Wind Energy Forecast

Text Import - [wind.csv]

Import

Character set: Western Europe (ISO-8859-1)

Language: Default - Hungarian

From row: 1

Separator options

Fixed width

Separated by

Tab  Comma  Other

Semicolon  Space

Merge delimiters

Text delimiter: "

Other options

Quoted field as text

Detect special numbers


Fields

Column type

	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Sta
1	time		windspeed120m		ws113m		ws80m	
2	12Z25NOV2011		6.39066		5.69476		5.48025	
3	12:05Z25NOV2011		6.70151		6.0768		5.76559	
4	12:10Z25NOV2011		6.87543		6.19993		5.90907	
5	12:15Z25NOV2011		7.013		6.29837		6.02273	
6	12:20Z25NOV2011		7.05303		6.32793		6.05596	
7	12:25Z25NOV2011		7.07573		6.34619		6.07508	
8	12:30Z25NOV2011		7.16727		6.42605		6.15506	

Done

three WRF Wind Energy Forecast - M Downloads Text Import - [wind.csv] 8:33

MMO Wind  
click diagram for  
numerical data!  
[Early forecast \(48h\)](#)  
[click here for csv datafile](#)  
[backup](#)  


# Online adatok 96<sup>h</sup> @ 1130LT

wind.csv (read-only) - OpenOffice.org Calc

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Find

A1 time

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	time		windspeed120m		ws113m		ws80m		ws65m		ws10m		p		E70
2	12Z25NOV2011		6.39066		5.69476		5.48025		5.35519		5.11658		0.111176		208
3	12:05Z25NOV2011		6.70151		6.0768		5.76559		5.5862		4.94257		0.152224		260
4	12:10Z25NOV2011		6.87543		6.19993		5.90907		5.7408		5.20539		0.13913		278
5	12:15Z25NOV2011		7.013		6.29837		6.02273		5.86285		5.41197		0.129576		294
6	12:20Z25NOV2011		7.05303		6.32793		6.05596		5.89811		5.4688		0.127199		298
7	12:25Z25NOV2011		7.07573		6.34619		6.07508		5.91769		5.49499		0.126417		301
8	12:30Z25NOV2011		7.16727		6.43605		6.15506		5.99206		5.53453		0.129259		315
9	12:35Z25NOV2011		7.3007		6.55858		6.27013		6.10285		5.62662		0.130231		336
10	12:40Z25NOV2011		7.28128		6.53813		6.25291		6.08746		5.62378		0.129151		332
11	12:45Z25NOV2011		7.24655		6.51392		6.22434		6.05647		5.56882		0.131671		328
12	12:50Z25NOV2011		7.21135		6.48295		6.19422		6.02686		5.53904		0.131917		323
13	12:55Z25NOV2011		7.20278		6.47683		6.18714		6.01925		5.52611		0.132491		322
14	13Z25NOV2011		7.13069		6.41432		6.12563		5.95836		5.46153		0.13334		312
15	13:05Z25NOV2011		7.04734		6.34152		6.05442		5.8881		5.38896		0.134149		300
16	13:10Z25NOV2011		6.97223		6.27907		5.99081		5.82391		5.31101		0.136077		291
17	13:15Z25NOV2011		6.94129		6.25156		5.96429		5.79796		5.28602		0.136211		286
18	13:20Z25NOV2011		6.8997		6.21755		5.92917		5.76226		5.24066		0.137515		281
19	13:25Z25NOV2011		6.84582		6.17224		5.88344		5.71635		5.18687		0.138754		274
20	13:30Z25NOV2011		6.77846		6.11441		5.82607		5.6593		5.12436		0.139872		266
21	13:35Z25NOV2011		6.73755		6.07742		5.79089		5.62517		5.09381		0.139835		260
22	13:40Z25NOV2011		6.65004		5.99781		5.71556		5.55229		5.0303		0.139572		249
23	13:45Z25NOV2011		6.52735		5.887		5.61008		5.4499		4.93808		0.139512		233
24	13:50Z25NOV2011		6.37249		5.7507		5.47758		5.31966		4.80768		0.140888		215
25	13:55Z25NOV2011		6.27888		5.67357		5.39843		5.23947		4.70825		0.143938		205
26	14Z25NOV2011		6.25748		5.66497		5.38194		5.21862		4.65045		0.148407		204
27	14:05Z25NOV2011		6.24909		5.67877		5.37852		5.20569		4.56242		0.157291		206
28	14:10Z25NOV2011		6.2339		5.69498		5.37075		5.18476		4.4395		0.16973		208
29	14:15Z25NOV2011		6.23101		5.72742		5.37443		5.17276		4.31093		0.184192		212
30	14:20Z25NOV2011		6.25587		5.76765		5.39892		5.18867		4.26705		0.191299		217
31	14:25Z25NOV2011		6.28848		5.81858		5.43071		5.21007		4.21738		0.199753		224
32	14:30Z25NOV2011		6.33509		5.87251		5.47284		5.24577		4.21195		0.204089		231
33	14:35Z25NOV2011		6.37258		5.92443		5.50822		5.27219		4.1794		0.210918		238
34	14:40Z25NOV2011		6.4538		6.00674		5.5796		5.33756		4.21015		0.213585		250
35	14:45Z25NOV2011		6.5572		6.11206		5.67057		5.42065		4.24777		0.217085		265

Sheet1

Sheet 1 / 1 Default STD Sum=0 100%

one zeno@discus: ~/work/weird/wind 20111126\_DAB\_eloadas.odp wind.csv (read-only) - Ope 8:32

# Online adatok 96<sup>h</sup> @ 1130LT

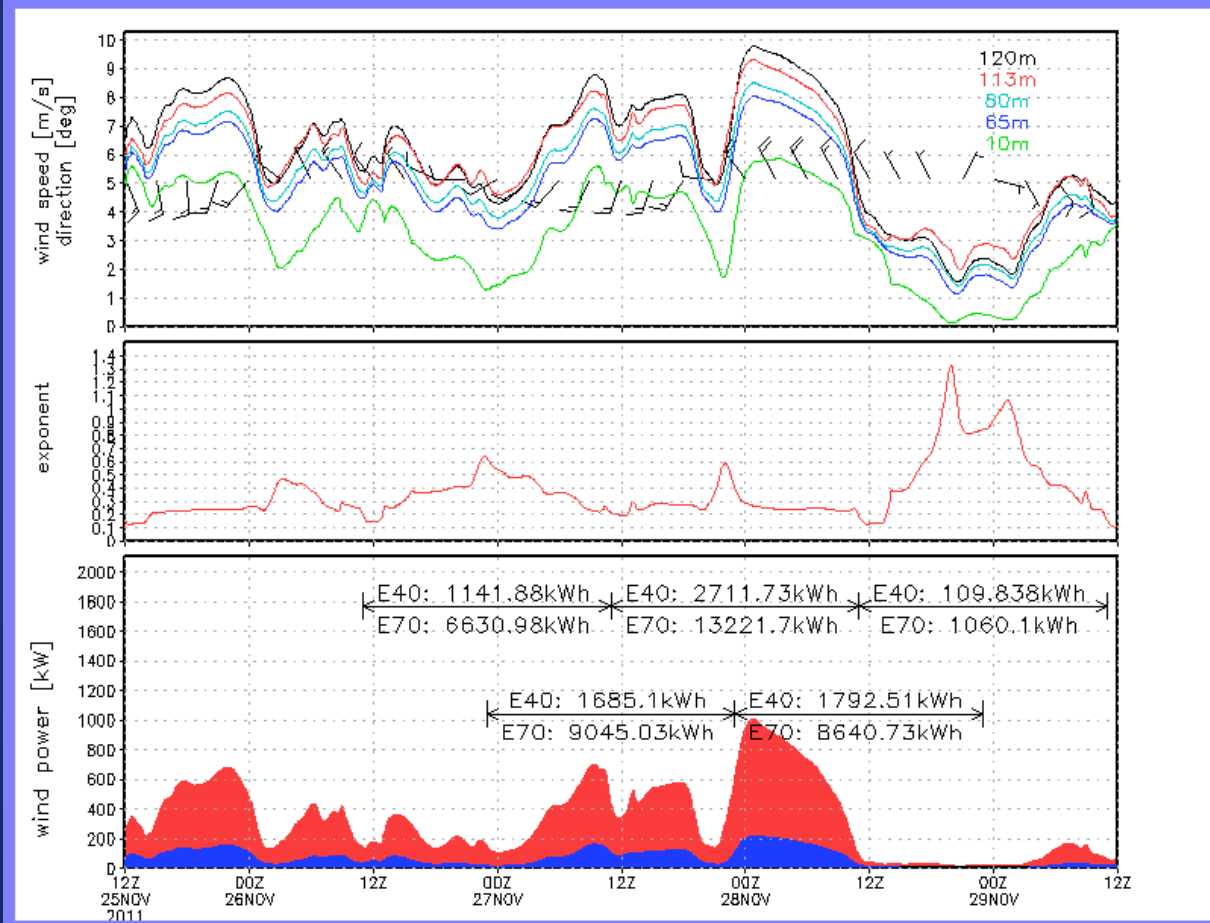
WRF Wind Energy Forecast - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://meteor24.elte.hu/wrf/mmo/wind.html

debreceeni kolekedesi vallalat

WRF Home @ ELTE Meteograms Timetable - Bus - 32 | DKV MÁV-START :: ELVIRA - bel... WRF Wind Energy Forecast



MMO Wind  
Click diagram for  
numerical data!

[Early forecast \(48h\)](#)

[click here for csv datafile](#)

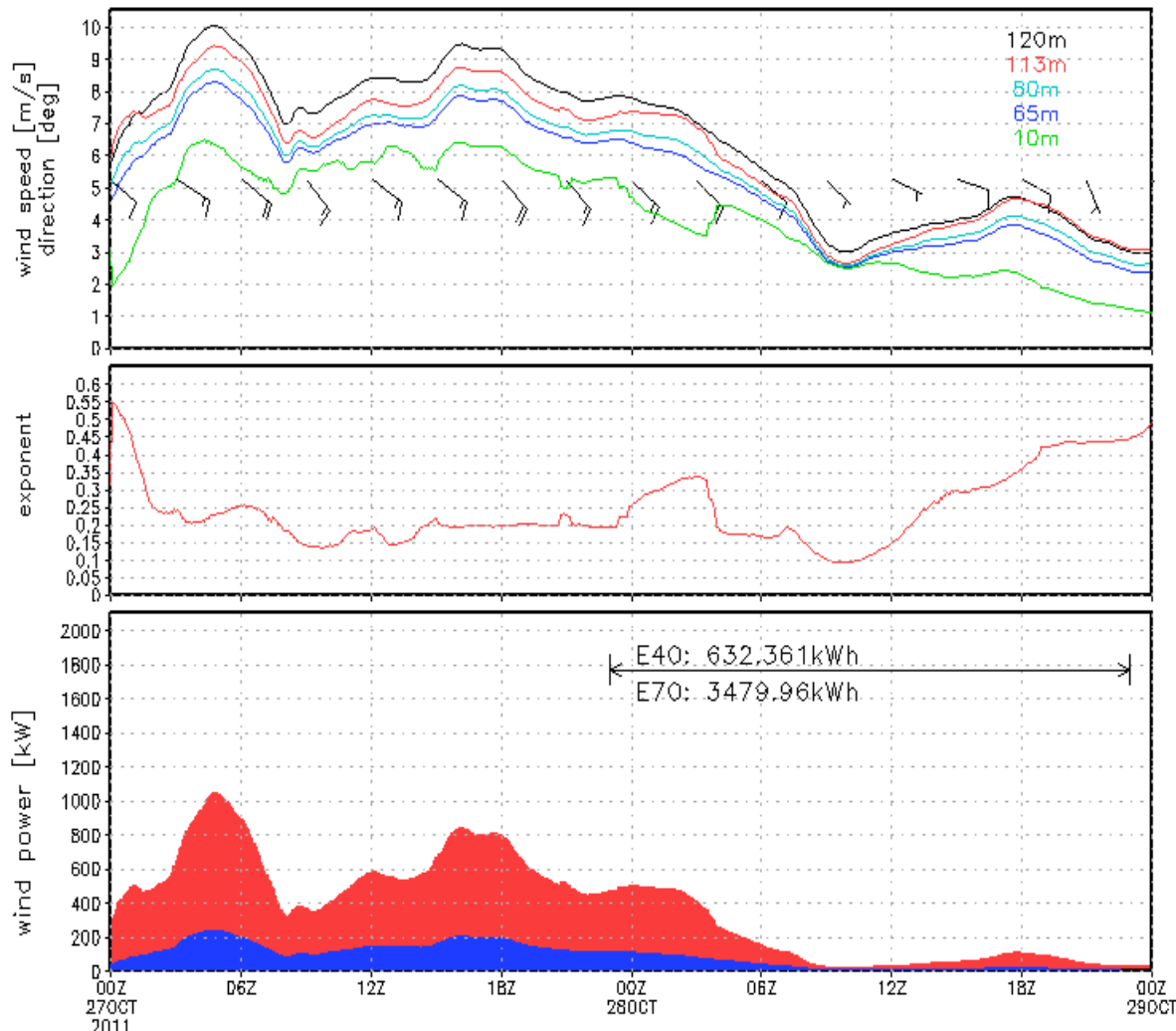
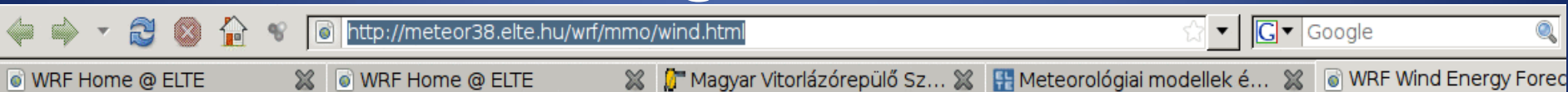
[backup](#)





# Online adatok 48<sup>h</sup>

@ 0730LT



MMO Wind  
Click diagram for  
numerical data!

[96h forecast](#)

[click here for csv datafile](#)

[backup](#)



# Kisteljesítményű szélgenerátorok Magyarországon

- Egyre népszerűbbek hazánkban (vidéki házak, marketing célok, takarékoság).
- A szélgépek elterjedtebbek (öntözés, halgazdálkodás, vadgazdálkodás, stb.).
- Rendeletek támogatják a megújuló energiaforrások alkalmazását.

# Esettanulmányok

- Saját energetikai szélmérések:
  - Észak-pesti bevásárlóközpont
  - Budaörsi családi házas környezet
- OMSz állomások adatai:
  - Budapest-Lőrinc
  - Kecskemét
  - Kékestető
  - Szolnok
  - Sopron

# Esettanulmányok

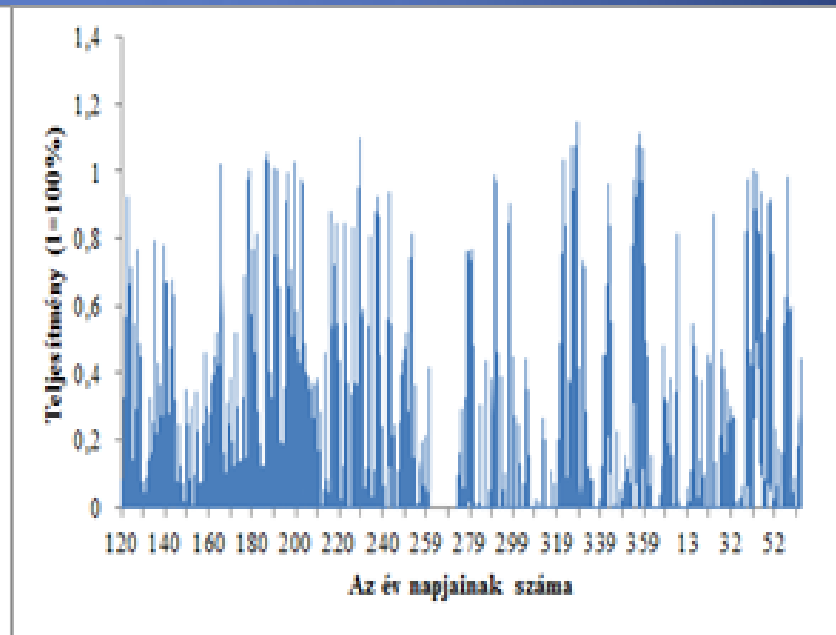
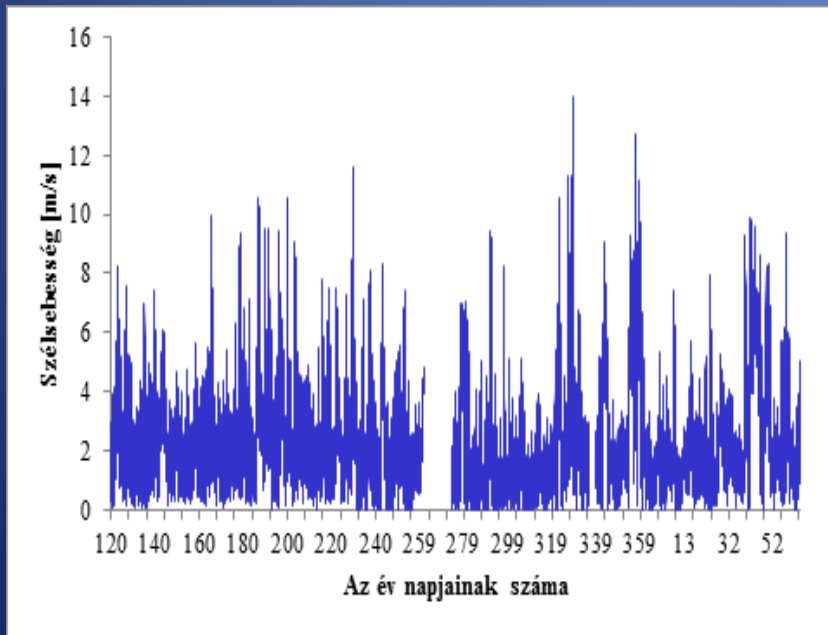
- A saját energetikai mérések során a kínai gyártmányú Vk1-5 szélgenerátorra készítettük a becsléseket.
- DE: túlságosan „jó” gyári hitelesítőgörbével rendelkezik, ezért az OMSz-os energetikai becsléseknél a Fortis Montana generátorra készítettük a becsléseket.
- Fortis Montana: európai viszonylatban jól teljesítő és hiteles adatok állnak rendelkezésre.

# Észak-pesti bevásárlóközpont



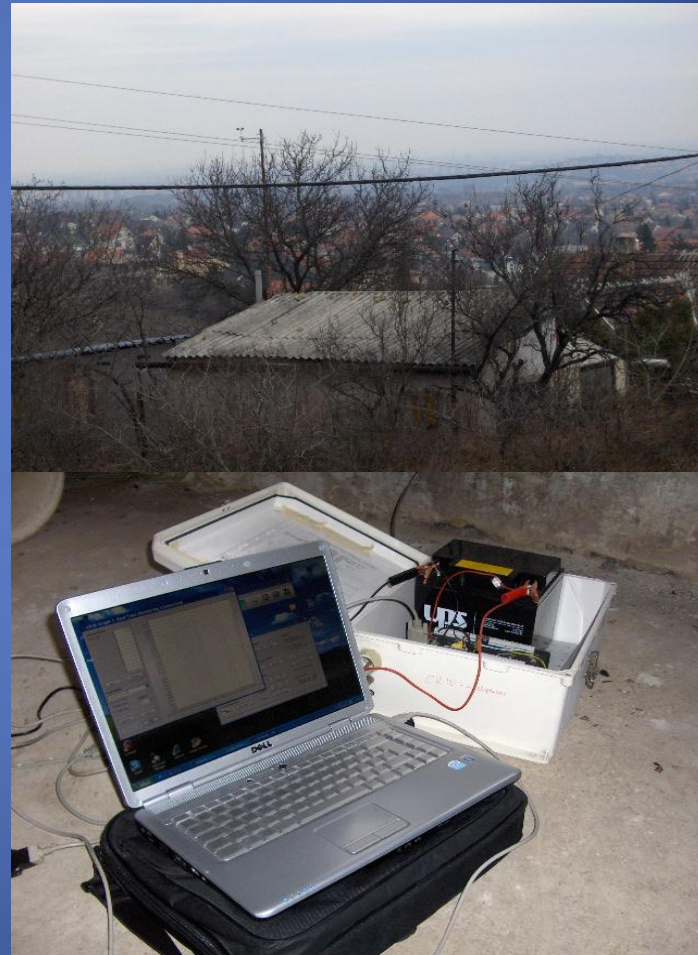
# Észak-pesti bevásárlóközpont

- A mérés 10 hónapjára az átlagos szélesség 2,5 m/s volt.
- A Vk1-5 típusú generátorra a lehetséges energiatermelés 9,8%-a.



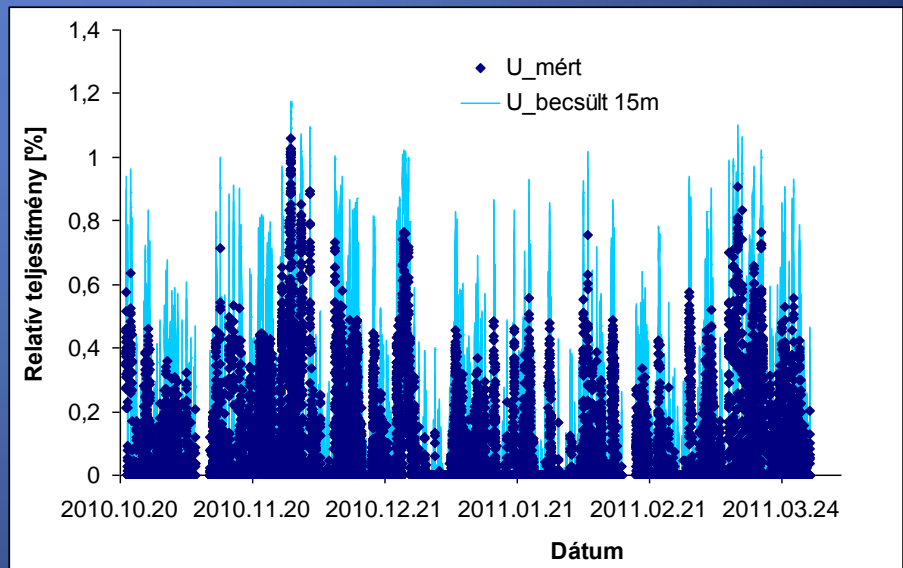
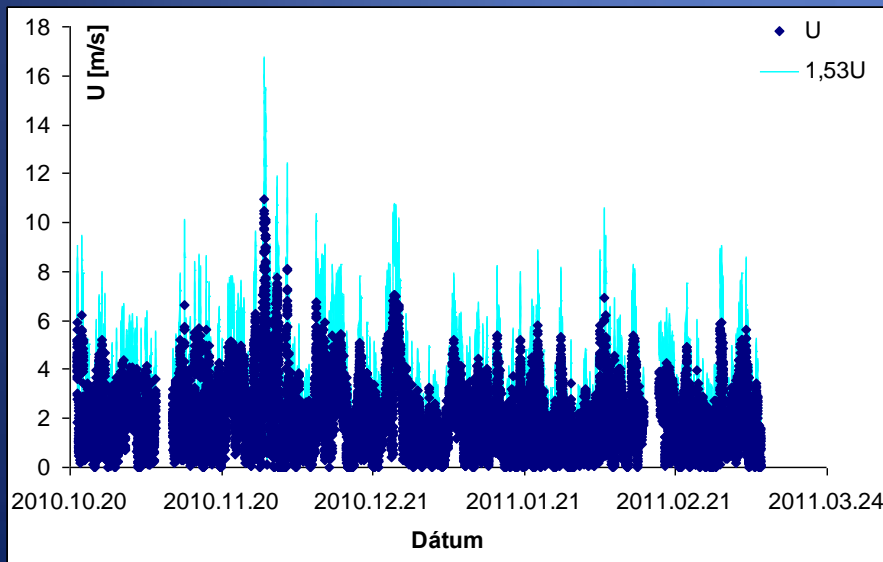


# Budaörsi családi ház



# Budaörsi családi ház

- A mérés időszakára az átlagos szélesség  $2,02 \text{ m/s}$  volt. A  $15 \text{ m}$ -re extrapolált évi szélesség sem érte el a  $3 \text{ m/s}$ -ot.
- A V<sub>k1-5</sub> szélgenerátor a teljesítménye  $15,5\%$ -a.





# OMSz állomások

Állomás	Átlagos szélsebesség 10m [m/s]	Átlagos szélsebesség 18m [m/s]	Éves átlagos energiatermelés [kWh]	Energiatermelés Ezer [Ft]
Budapest-Lőrinc	2,42	2,73	1289	<b>60</b>
Kecskemét	3,27	3,68	2831	133
Kékestető	–	3,84	3026	<b>142</b>
Szolnok	3,32	3,73	2926	138
Sopron	3,08	3,47	3225	<b>152</b>

# Összefoglalás

- A WRF modell, megfelelő függőleges szintekkel és utófeldolgozással, alkalmasnak bizonyult szélenergia előrejelzésére.
- Rövid és hosszú távú futtatások megfelelő alapot szolgáltatnak a szélparkok fejlesztéséhez és üzemeltetéséhez.
- A Nyugat-Dunántúlra vonatkozó napi előrejelzések és az eredmények összevetése mérésekkel folyamatos.
- A szélenergiatermelés on-line számításához szükséges szélenergia modul beépítése a WRF modell kódba fejlesztés alatt áll.

# Összefoglalás

- 5 kW és az alatti kisteljesítményű szélgenerátorok élettartama 15–20 év.
- Egy ilyen befektetés összege 2–3 millió Ft, ezen felül a karbantartás költségei az évek során.
- Még Kékestető és Sopron esetében sem térül meg a befektetés.
- **Jelentős anyagi támogatás nélkül ezek a befektetések nem valósíthatók meg gazdaságosan.**
- Mérések eredményei alátámasztják a **fejlesztések szükségességét.**

Köszönöm szépen megtisztelő  
figyelmüket!

További info:  
zeno@nimbus.elte.hu

<http://meteor38.elte.hu/>