

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Meteorológiai Tanszék

**A WRF modellre alapozott napi szélenergia előrejelzések
beválásának statisztikai vizsgálata,
az alkalmazott számítási módszer optimalizálása**

DIPLOMAMUNKA



Készítette:

Kovács Mónika Eszter

Meteorológus MSc

Témavezető:

Gyöngyösi András Zénó, ELTE Meteorológiai Tanszék

Konzulens:

Dr. Weidinger Tamás, ELTE Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2013.

Tartalom

Bevezetés	3
1. A szélenergia	5
1.1. Bemutatása.....	5
1.2. Hasznosításának története	5
1.3. A szélmalomok hazai elterjedése, fejlődése	7
2. A szélenergia helyzete	8
2.1. A világban	8
2.2. Európában.....	9
2.3. Magyarországon.....	10
3. Magyarország szélklímája	13
4. A szélenergia hasznosítás elméleti háttere	15
5. A szélenergia tervezése, telepítése	19
5.1. Táj- és környezetvédelmi szempontok.....	19
5.2. A szélenergia környezeti hatásai.....	20
6. A WRF modell számítások és a mérési adatok összehasonlítása	24
6.1. Az általam fejlesztett adatfeldolgozó program leírása.....	25
6.2. Eredmények.....	30
7. Összefoglalás	41
Irodalomjegyzék	42
Köszönetnyilvánítás	46
Függelék	47
F.1. Idősort diagramok	47
F.2. Szórásdiagramok	52
F.3. Kontingencia táblázatok	57
F.4. Adat táblázatok	62
F.5. Programok.....	64

Bevezetés

A megújuló energiák között kitüntetett figyelmet élvez a szélenergia. A szélenergia ideális eszköz az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséért vívott harcban. Termelés-biztonsága – eltekintve a hazai gyártókapacitás hiányától – független a politikai-gazdasági helyzettől és más energiahordozók árától a régiókban. Mindezek mellett a technológiai fejlesztéseknek és a viszonylag nagy energiasűrűségének köszönhetően az elmúlt évtizedben használata dinamikusan növekszik.

A világban a szélenergetika hasznosítása nagy múltra tekint vissza. Egyes történeti források szerint a legrégebbi szélmalomokat Perzsiában használták még az első évezredben. Hollandiában a XIV–XV. században már annyira tökéletesedett a technológia, hogy külföldi bér munkát is vállaltak (*Tamás, 2009*). Az első elektromos áramot is termelő szélturbina Dániában lépett működésbe 1890-ben. A XX. század első felében indult igazi fejlődésnek a szélenergetika kihasználása. Érdekességgént megjegyezhető, hogy az első 1 MW teljesítményt is meghaladó szélerőművet az 1940-es évek elején helyezték üzembe az USA-ban, ami képes volt ellátni egy egész település energiaháztartási igényét (*Kajogbola, 2009*). Magyarországon a XX. század elején közel 700 szélmalom működött, 95%-uk az Alföldön.

A XX. század hatvanas éveire az olcsó energiaárak következtében a szélenergetikai fejlesztések jelentősen csökkentek, a meglévő generátorok többsége leállt, úgy tűnt a szélenergia kihasználása szükségtelen, továbbá nem gazdaságos. A 70-es évek elejétől viszont újabb lendületet vett az ágazat és minden eddigit meghaladó fejlesztések következtek, s ez a lendület azóta is töretlen (*Bartholy és Radics, 2000*).

Diplomamunkámban a WRF modellel készített szélenergetikai előrejelzések beválását vizsgálom. Az első fejezetben a szélenergia hasznosítási lehetőségeivel és történetével foglalkozom, benne a szélmalomok hazai elterjedésével. A második fejezetben a szélenergia helyzetét tárgyalom a világban, Európában, és Magyarországon. Ezt követi hazánk szélklímájának rövid ismertetése. A negyedik fejezetben a szélenergia felhasználásának elméleti hátterét fejtem ki. A következő fejezet tartalmazza a szélerőművek telepítéséhez és tervezéséhez szükséges táj-és környezetvédelmi szempontokat, továbbá itt tárgyalom a szélenergia környezeti hatásait is. A hatodik fejezetben érkeztünk a diplomamunkám kutatási részéhez. Egy hónapos WRF modelleredmények, illetve 10 perces szélsősebesség, szélgenerátor teljesítmény adatok alapján próbálok optimális szélenergetikai előrejelzést adni, mind a

felszínközeli réteg szélprofiljainak optimális parametrizációjával, mind különböző modell output statisztikák alkalmazásával. A WRF egy mezoskálájú nem-hidrosztatikus numerikus időjárás-előrejelző modell, ami alkalmas mind operatív, mind kutatási célokra. Ismertetem az általam készített programrendszer leírását, a statisztikai adatfeldolgozás eredményeit. A diplomamunkát összefoglalás és részletes irodalomjegyzék, valamint függelék zárja.

Az általunk készített napi WRF futások alapján történik több Mosonmagyaróvár térségében működő szélgenerátor energiatermelési becslése – ez adja a munka aktualitását. A kidolgozott és egy hónapos időszakra bemutatott szélenergia előrejelzés verifikálása az első lépés a közel két éves adatbázis (előrejelzés és a szélgenerátoron mért szélsébségi és termelési adatok) kiértékelésében, az előrejelzést segítő félempirikus modell output statisztikák fejlesztésében.

1. A szélenergia

1.1. Bemutatása

A megújuló energiaforrások egyik legjobban felhasználható, leghatékonyabban megújuló eleme a szélenergia. A megújuló energiaforrás „olyan energiaforrás, amely természeti folyamatok során folyamatosan rendelkezésre áll, vagy újratermelődik (nap-, szél-, vízenergia, biomassza stb.). Ezzel szemben a fosszilis tüzelőanyagok (kőszén, kőolaj, földgáz) nem megújuló energiaforrások” (*Környezetvédelmi Lexikon, 2002*). Napjainkban a megújuló energiaforrások hasznosításának kérdése igen fontos, mivel a fosszilis energiahordozók használata környezetünkben már visszafordíthatatlan károkat okozott. A szélenergia a világ energiatermelési piacának egyik „húzóágazatává” vált. Bárhol elérhető forrásként nagyban hozzájárult az energiatermelés diverzifikálásához és az energiabiztonság növeléséhez (*Bíróné et al., 2009*). A szélenergia hasznosítása egy olyan lehetséges energiatermelési mód, mely szerepe a beruházás megtérülési idejével, az energiatermelés potenciáljával mérhető. A gazdaságosságának és tisztaságának köszönhetően a szélenergiát alkalmazó technológia fejlődik és terjed a leggyorsabban (*Innowatt Kft, 2009*).

1.2. Hasznosításának története

Az első írásos feljegyzést a szélmalomok létezéséről az alexandriai Heronál találjuk, *Pneumatica* c. könyvében. Az idők elteltével két nagy csoportra bontották a szélmalomokat a mechanikus szerkezetük és erőátviteli rendszerük alapján: horizontális, illetve vertikális típusra. Az előbbi típus legősibb szélmalma Perzsiából származik. Tibetben a VII.–VIII. században jelentek meg a szél hajtotta imalmok, melyek a mai napig megtalálhatóak. A X. századtól kezdve egyre több írásos feljegyzés jelzi a horizontális szélmalomok megjelenését Ázsia közel-keleti régiójában. Kínában is valószínűsíthetően ebben az időszakban terjedtek el a szélmalomok, ám dokumentált feljegyzés csupán a tizenharmadik századból került elő. A leírt szerkezeti felépítéshez közel azonos felépítésű malomok a 2000-es években is működtek még Kínában a Jangce folyótól északra eső tengerparti vidékeken, illetve a Tienshan hegység közelében fekvő Thangku és Taku tartományokban. A szélmalomokat sós-, valamint édesvíz kiemelésére használták tartományoktól függően gazdasági célokra. Európában az első függőleges tengelyű szélmalom leírása és szerkezeti vázrajza 1438-ból származik, azonban ezt sosem hozták nyilvánosságra. Írott sajtóban elsőként 1578-ban jelent meg Besson munkája által (*Bartholy és Radics, 2000*).

Európában a tizenhetedik századtól terjedtek el jelentősen a horizontális és vertikális tengelyű szélmalmok, 1680–1780-as években Angliában 94 találmányt regisztráltak, amelyek új szélmalom konstrukciót vagy számottevő szerkezeti változást jelentettek (Hills, 1994). A fejlesztések mindegyike a szélenergia hasznosításának hatásfokára irányul. Számos szélmalomfajta terjedt el, adott földrajzi körülményektől, pénzügyi helyzettől, és természetesen építőanyagtól függően. Kezdetben mezőgazdasági célokra, vízkiemelésre használták a malmokat. Ehhez a vertikális rendszerű malmok voltak a legmegfelelőbbek. Több típusuk is kialakult, mint például a mediterrán szélmalom. Jellemző felépítése a henger alakú fehér kőépület, tetején kúp formájú nádtető, amihez a fából készült forgó lapátvázat rögzítették. A szélirányba fordítás teljesítménynövelő hatásával ez a fajta malom viszont még nem számolt. Az 1500-as évek végén 1600-as évek elején kezdett elterjedni az ún. bástya-szélmalom (1. ábra). Itt már kőből épített malomfeljáró is része volt az épületnek, ami megkönnyítette a gazda munkáját. További újítás, hogy a lapátok tengelye már az elfordítható kalaphoz lett rögzítve, ezzel megoldva a teljesítmény növelés kérdését.



1. ábra: Bástya-szélmalom Felsősegesden (Somogy megye) (Seemayer Vilibald, 1910
Néprajzi Múzeum, Budapest)

Hollandiában még napjainkban is üzemelnek az ún. strázsa-szélmalmok. Ezek a malmok négyzet alakú faházak, amelyek egy korongon állnak és egy hajtókar segítségével szél irányába forgathatóak. Négy favázú lapátja van, és a lapátokra textil vitorlázatot lehet rögzíteni (Bartholy és Radics, 2000).

A szélmalmok elterjedésére jellemző, hogy Hollandiában az 1750-es években már 6–8000 volt, 1850-re pedig már hozzávetőlegesen 9000 malom üzemelt.

Összehasonlításképpen ez majdnem ötször annyi, mint amennyi szélgenerátor 2009 szeptemberében volt Hollandiában, ekkor 1974 darabot jegyeztek fel. Az Egyesült Királyságban 5–10000 szélmalom volt az 1820-as években, Franciaország pedig 8700 szélmalomával büszkélkedhetett 1847-ben. Európa további országaiban, mint például Németország, ahol 18242 szélmalomot számláltak 1895-ben (napjainkban több mint 18000 szélgenerátor üzemel), Finnország 20000 szélmalomot üzemeltetett 1900-ban (*De Decker, 2009*).

Forradalmian új fejezet kezdődött a XIX. század végén a széleenergia hasznosításban. C. F. Bush az 1890-es évek elején Cleveland-ben tervezte és építette meg az első elektromos áramot szolgáltató szélturbinát. Európában csaknem ezzel egy időben látott napvilágot Paul la Cour professzor által megalkotott első elektromos áramot adó szélturbina. Idővel a fából készült malmokat felváltották a vasból építettek, amelyek tovább fejlesztett változatai a mai napig megtalálhatóak (*Bartholy és Radics, 2000*).

A vas- és acélipar térhódításával együtt a szélerőművek alakja és anyaga is megváltozott. Kezdek elterjedni a többfunkciós vasszerkezetű generátorok, amelyekkel öntözési, vízátemelési, vízkiemelési és elektromos áram generálási feladatok is megoldhatóak lettek egy szerkezeten belül. Idővel megjelentek a szélgenerátorok mellé telepített akkumulátorok, mert a megrendelők igényelték az egyenletes energiatermelést, tehát szakaszosan keletkező, de nem teljes mértékben felhasznált energia tárolását szerették volna. Az első elektromos hálózatra termelő generátort az 1950-es években építette a dán származású Johannes Juul aszinkron generátor felhasználásával (*Radics, 2010*).

A XX. század közepe táján úgy tűnt a széleenergia a végnapjait éli, mivel a Földön nem volt jelentős energiahány és a széleenergia relatíve drágának bizonyult, nem jó hatásfokúnak és csak szakaszosan kinyerhető alternatív energiaforrásnak számított. A fosszilis tüzelőanyagok és az atomenergia ekkor rövid ideig háttérbe szorította a széleenergiát. Szerencsére csak átmeneti volt ez az időszak. Az 1970-es évek olajválsága és a globális felmelegedés problémaköre rádöbbsentette a társadalmat, hogy újra a szél, mint megújuló energiaforrás felé koncentráljanak. A gyors fejlődésnek köszönhetően önálló iparággá nőtte ki magát a szélerőművek tervezése, gyártása, karbantartása, illetve a szélparkok tervezése, telepítése (*Radics, 2010*).

1.3. A szélmalomok hazai elterjedése, fejlődése

Az első hazai szélmalom megjelenésének dátuma a mai napig bizonytalan, a történetírók a XVI. századra teszik, de elterjedésük csak a XVII. században következett be

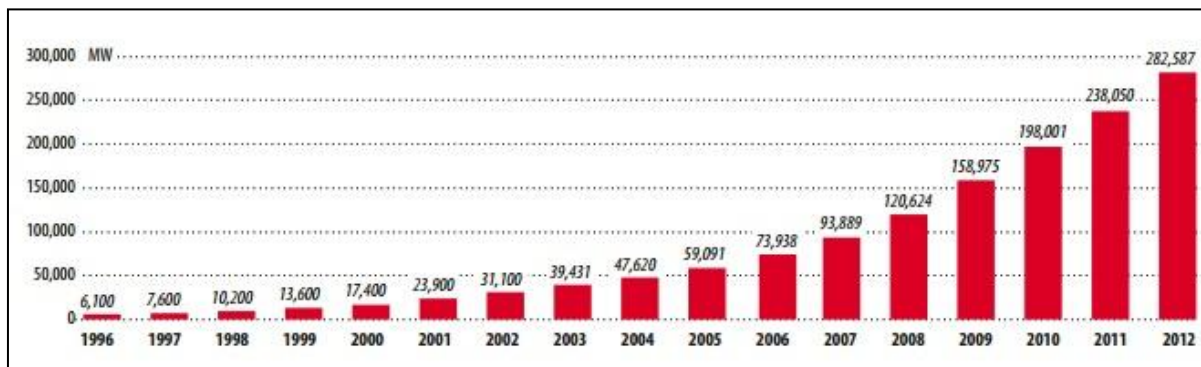
(Filep, 1981b). A leggyakoribbak a holland típusú forgatható tetejű malmok voltak. Nem bizonyított tézisek szerint terveiket a Hollandiából érkező protestáns teológusok és a németalföldi egyetemokről jövő hallgatók hozták magukkal. Egyéb feltevés szerint egy hosszabb, regionális folyamat része volt a malmok elterjedése hazánkban. Ezt az elméletet támasztja alá az Alsó-Ausztriában és Cseh-Morvaországban talált, az itteniekhez rendkívül hasonló szerkezetű malmok (Filep, 1981b). A legtöbb szélmalom országunkban 1866–1885 között építették (Bárany et al., 1970). A XIX. század második felében közel 200 szélmalom épült 10 évente (Filep, 1981b). A XIX. század végén és a XX. század elején hazánk szélmalmainak több mint 95%-a az Alföldön helyezkedett el (Keveiné Bárany, 1991). Az 1950-es évek végéig működtek a hazai szélmalomok utolsó példányai. A megfelelő állapotban megmaradt malmokat, valamint berendezéseiket műemléki védelembe vették vagy múzeumokba helyezték el. A működő szélmalomok eltűnésével a szél energetikai célú hasznosítása az 1990-es évek közepéig gyakorlatilag megszűnt (Radics, 2010).

2. A szélerő helyzete

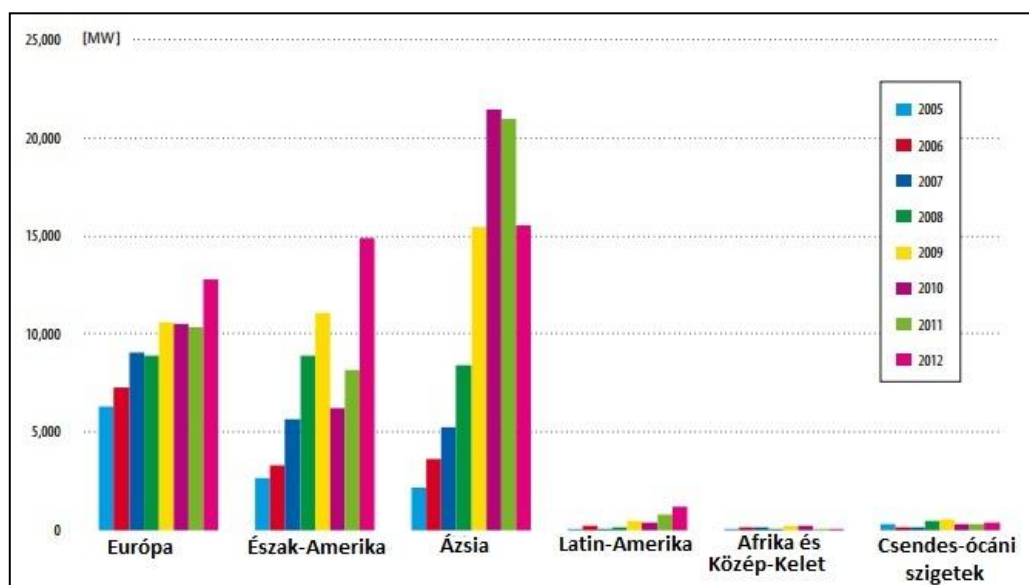
2.1. A világon

A szélerő hasznosítás fejlődése az ezredforduló óta világszerte dinamikusan fejlődik, valamint a szélerőművek telepítésének növekvő üteme is töretlennek tűnik. Versenyképes a fosszilis energiára, elsősorban a szénre alapozott villamos energiatermeléssel, nincs üzemanyag igénye, ingyen rendelkezésre áll és kimeríthetetlen, nem keletkezik üvegházhatású gáz a kitermelésekor, továbbá a szélerő hasznosítással elkerülhető a villamos energiaárak fosszilis energiaárakat követő áringadozása, a szélerőművek gyorsan felépíthetőek, illetve a szélerőművek üzemelése nem akadályozza a mezőgazdasági tevékenységet (Tóth et al., 2011a). 2008 végére a Földön összességében 120,8 GW névleges teljesítményű szélerőmű üzemelt, ami az előző évekhez képest 28,8% növekedést jelent. Csak a 2008-as évben a világon 36,5 milliárd eurót investáltak szélerőmű telepítésbe (Bíróné et al., 2009). 2009-ben mind Európában, mind a világon tovább folytatódott a szélerő hasznosítása, a szélerő-iparág növekedése a világméretű gazdasági válság ellenére is. A következő évben 37,5 GW szélerőmű teljesítményt helyeztek üzembe a világban (Tóth et al., 2011a). 2011-ben ez a szám már 41,2 GW-ra emelkedett, de az új kapacitások több mint fele már Ázsiában épült (Tóth et al., 2011b). A Globális Szélerő Tanács (GWEC) legfrissebb adatai szerint a világ összes szélerőmű- kapacitása 282,5 GW-ra

növekedett (2. ábra). Jelenleg 79 országban vannak ipari méretű szélörművek, 24 országban 1 GW feletti a beépített szélörművi kapacitás.



2. ábra: Összesített szélörmű-kapacitás a világon 1996 és 2012 között (GWEC, 2013)



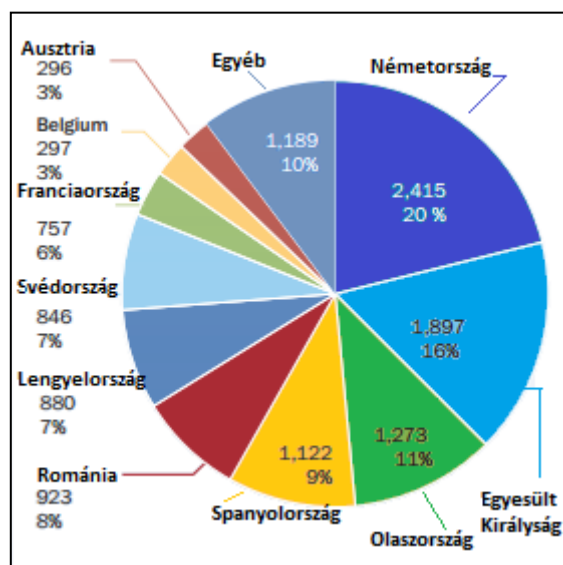
3. ábra: Évente épülő szélörmű-kapacitás régióként 2005 és 2012 (GWEC, 2013)

2009 óta Kína vezeti a szélenergia-piac listáját, ám 2012-re piacának tevékenysége lelassult, így az Egyesült Államok visszaszerezte a vezetést. Azonban a létesítmények kapacitását tekintve Ázsia még mindig vezeti a listát, de szorosan mögöttük Észak-Amerika, majd Európa (3. ábra).

2.2. Európában

Európában 2012-ben a teljes installált szélenergia-kapacitás 12,7 GW volt, ebből az Európai Unió tagállamai 11,9 GW-ot teljesítettek. Összehasonlításképpen 2008-ban ez még csak 10,2 GW volt. Ugyanakkor a 2012-es évre vonatkozó mérőszámok tükrözik a politikai

bizonytalanságot és a gazdasági válság hatásait. Az európai szélerőmű kapacitás az európai villamos energiafogyasztás 7%-át biztosítja. Ezt az évet a szélenergia felhasználásában Németország vezette 20%-kal, majd az Egyesült Királyság (16%) és Olaszország (11%) következik, ezt mutatja az 4. ábra. Megjegyezzük, hogy a teljes szélerőmű-kapacitást összesítve még mindig Németország vezet, a második helyet Spanyolország birtokolja, őt követi az Egyesült Királyság. A jövőt tekintve - az Európai Bizottság és Globális Szélenergia Tanács forgatókönyvei szerint - 2050-re a szélenergia-hasznosítás, mint energiatermelés, vezető technológiává válik (GWEC, 2013).



4. ábra: 2012-ben telepített szélerőmű-kapacitások megoszlása az Európai Unió tagállamai közt (EWEA, 2013)

2.3. Magyarországon

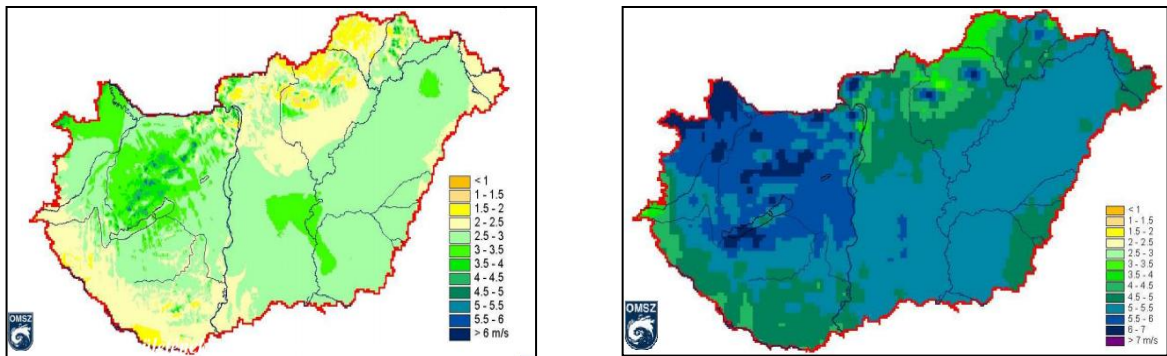
Az EU-ajánlásaihoz igazodva Magyarországon is nagy erővel folyik a megújuló energiák hasznosítása (Bíróné et al., 2009). Sajnálatos módon az ország földrajzi helyzete miatt a megújuló energiafajták egy részéből a többi országnál csak kisebb tartalékkal rendelkezik. Többek közt a medencei jellegből adódóan a szélenergia is ilyen. További nehézségek a földrajzi helyzeten kívül, a szabályozási rendszer, mely szintén nem könnyíti meg a szélenergia-hasznosítás magyarországi fejlődését. A szélerőművek nyereségét csökkenti a sok adminisztrációs akadály, a pontos lokális előrejelzések követelménye, vagyis büntetik a napi és havi menetrendtől való eltérést (Szalai et al., 2010).

Magyarországon a szélenergia hasznosítására leginkább megfelelő térség az északnyugati országrész, azonban a délkeleti területek is jelentős szélenergia-kinccsel bírnak

(Bartholy *et al.*, 2004). Az első szélérőművet hazánkban 2000-ben Inotán (Várpalotán) adták át, az első villamos hálózatra kapcsolt szélérőmű pedig 2001-től üzemel Kulcsen. Az első szélérőművek villamoshálózatra csatlakoztatása 20 kV-on történt (Tóth *et al.*, 2011a).

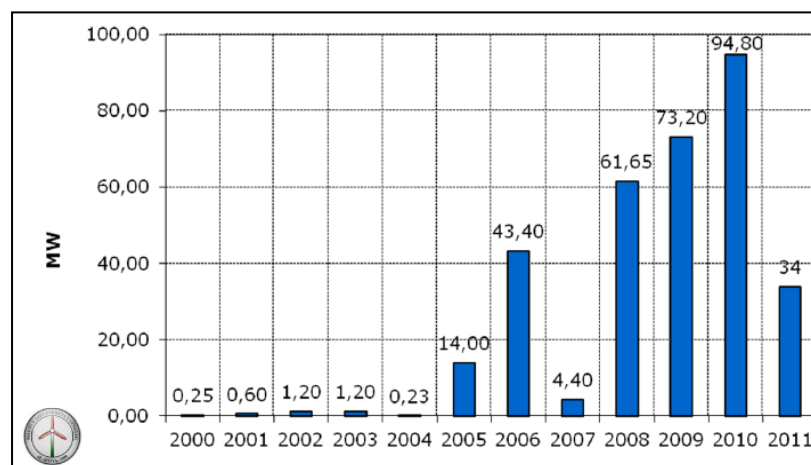
A meteorológiai és energetikai célú szélesebségmérés követelményei eltérőek. A meteorológiai szélesebségnek többnyire nagyobb környezetre kell reprezentatívnak lennie, míg az energetikai célú mérések a lokálisan nagy szélesebségű helyeket részesíti előnyben. Ezért is van az, hogy a meteorológiai szélmérésekre alapozva külön energiaszámítási módszert fejlesztettek ki (a legelterjedtebb, a WASP-módszer) (Szalai *et al.*, 2010). Ez egy egyszerű áramlási-domborzati modell. A meteorológiai célú szélmérések előnye az idősorok hossza, melyből az évek közti, éven belüli eltérések is megismerhetők, továbbá fontos információt szolgáltatnak a szélpotenciál becsléséhez (Tar *et al.*, 2005). Hazánkban úgy választották meg a széleenergetikai mérőhelyeket, hogy az elektromos hálózat leggyakoribb és legnagyobb kárt szenvedett helyein, oszlopokra telepítettek mérőműszereket (Szalai *et al.*, 2010).

A hosszabb idejű szélmérés meteorológiai állomásokon történik, a javasolt szabvány-magasság 10 m. A szélesebség a magassággal nő. Nehézséget okozhat ennek pontos meghatározása is. A sebesség magasságtól való függése miatt elvileg a minél nagyobb tengelymagasság adja a nagyobb hasznot. Ám az állványmagasságot, az állvány költségei és a biztonsági problémák csökkentésének a költségei optimalizálják. A nemzetközi tendenciák a nagyobb teljesítményű turbinák és magasabb tartóoszlopok irányába mozdultak el. Magyarországra általában a 100 m körüli magasság ajánlható. A potenciális széleenergia a szélesebség köbével arányos, ezért hosszabb időszak, például egy nap szélesebség-átlagából nehéz következtetni. A rövid ideig tartó széllökések viszont a nagy tehetetlenségű turbinára nincsenek hatással. Így általában 10 perces átlagértékeket vesznek az energetikai számításokhoz a szélesebség optimális időintervallumának. A szélturbinák főként 2,5–3 m/s sebességnél indulnak be, míg ha a szélesebség átlép egy kritikus értéket (22–25 m/s), akkor a szélérőművet inaktívválik, hogy ne érje károsodás a generátort. Ez azt jelenti, hogy az értékes szélesebségi tartomány a két érték között, de főként a felső határhoz közel van. A széleenergia termelés szempontjából a nem túl erős szél az ideális, amely irányát csak kis mértékben változtatja egy-egy periódusban (Szalai *et al.*, 2010).



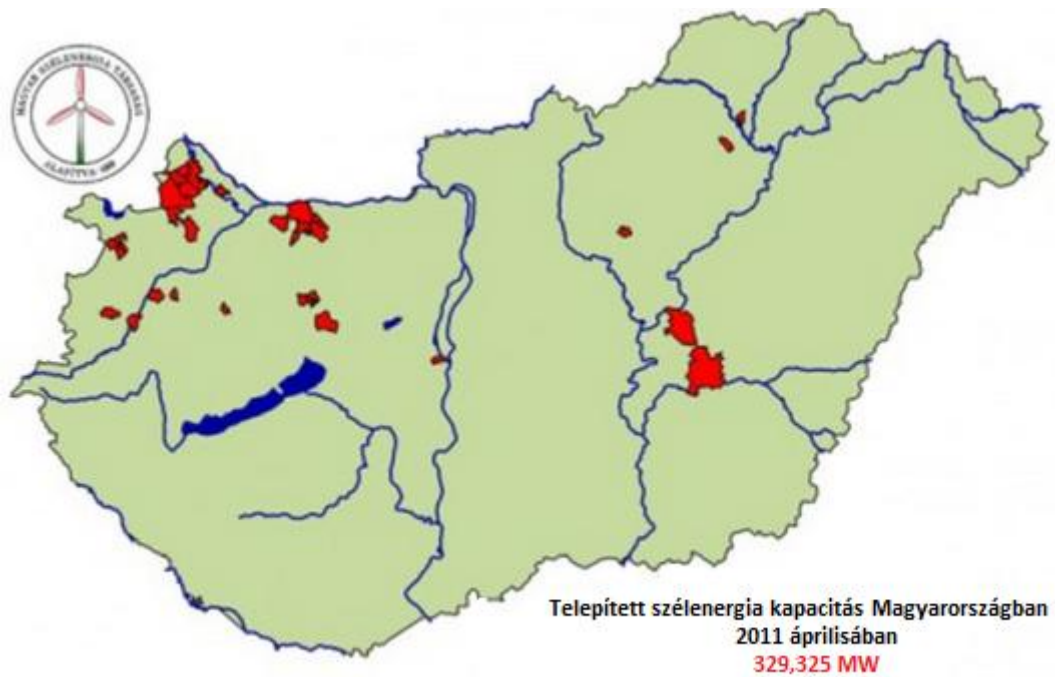
5. ábra: Meteorológiai széltérkép 10 m-en (bal oldal) és 75 m-en (jobb oldal)
(Wantuchné, 2005)

A baloldali ábra jól mutatja, hogy 10 m-en mért átlagos szélesebbesség az ország 72%-án 3 m/s-nál nagyobb. A jobboldali ábráról elmondható, hogy 75 m-en 5–6 m/s az átlag érték. Továbbá a baloldali 10 m-es és a jobboldali 75 m-es széltérképen is megfigyelhető, hogy országunk északnyugati szeglete a legszelesebb.



6. ábra: Évente telepített szélenergia-kapacitás Magyarországon (Tóth et al., 2011b)

A 6. ábrán megmutatkozik a már említett gazdasági bizonytalanság, hiszen a 2011-es évben visszaesett a telepített szélenergia-kapacitás. 2011-ben Magyarországon 329 MW-ot tett ki a szélenergia-kapacitás, ami 2013-ra sem változott lényegesen.



7. ábra: Telepített szélenergia kapacitás hazánkban 2011 áprilisában
(Mészáros A., 2011)

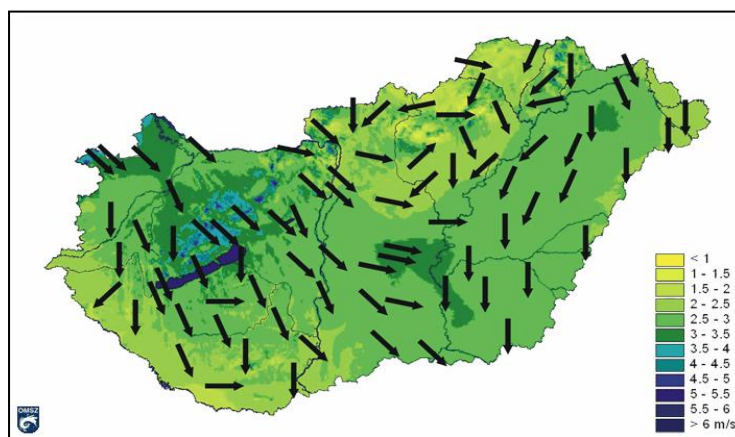
A szélerőművek túlnyomó része a potenciálisan nagy szélenergia-kapacitással rendelkező területeken összpontosulnak (7. ábra).

A szélenergia felhasználás terjedésének az energiatárolás gazdaságos kivitelezhetősége, a villamos energia rendszer szabályozhatósága, befogadó képessége szab határt. A szélenergia felhasználás 2020-as nemzeti célkitűzése a villamos energia rendszer szabályozhatósági korlátjához igazodik, ami a mostani ismeretek alapján hozzávetőlegesen 740 MW összteljesítményig képes a szélenergiát befogadni (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2010).

3. Magyarország szélklímája

A szél, mind nagyságát mind irányát tekintve változékony meteorológiai elem. Hazánk szélviszonyainak kialakításában két fontos tényező játszik szerepet, az általános cirkuláció által meghatározott alapáramlás, illetve a domborzat módosító hatása. A mérsékelt éghajlati övben a nyugatias szelek a meghatározóak a nagyobb magasságokban, viszont alacsonyabb szinteken (a határrétegben) a domborzat ezt nagymértékben befolyásolja. Hazánk elhelyezkedéséből adódóan az uralkodó szél (a leggyakoribb szélirány) az északnyugati, míg

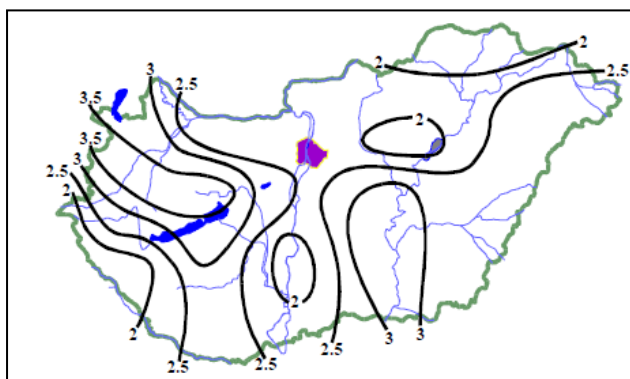
a délies szeleknek másodmaximuma van. Az általános cirkuláció északnyugatias irányú fő áramlása a Duna-Tisza közén és a Dunántúl keleti felén mutatkozik legjobban, míg a Tiszántúlon északkeleti a releváns szélirány (8. ábra). A mérsékelt öv szelei azonban nem állandók, ennek oka a cirkuláció különböző fázisai (ciklon-anticiklon átvonulások), nálunk a leggyakoribb szélirány relatív gyakorisága többnyire csak 15–35% között ingadozik. Így az esetek 65–85%-ában nem az uralkodó irányból fúj a szél (www.met.hu/szel). Magyarország területének 2/3-a 200 m alatti. Az évi átlagos szélesebesség 2–4 m/s között mozog (Pécze, 2002). A szélesebességnek markáns évi menete van, a tavasz első fele a legszelesebb időszakunk, míg általában ősz elején tapasztalhatóak a legkisebb szélesebességek. Országunkban átlagosan évente 122 szeles nap fordul elő, amikor a maximális széllökések elérik vagy meghaladják a 10 m/s-ot, és ennek körülbelül ¼ részében (35 nap) viharos széllal találkozunk, amikor a maximális széllökések meghaladják a 15 m/s-os értéket. (www.met.hu/szel). Megjegyezzük, hogy az átlagos szélesebesség és a maximális széllökések között első közelítésként 1,5-ös szorzó van.



8. ábra: Az évi átlagos szélesebességek (m/s) és az uralkodó szélirányok Magyarországon 10 m-es magasságban (2000–2009)(www.met.hu)

A magyarországi széltérképen (9. ábra) is jól látható, hogy a maximális szélesebességek az ország északnyugati részén fordulnak elő. 29 hazai meteorológiai állomás minimum öt éves (jelen esetben 1995–2002), 10 m-es magasságra vonatkoztatott szél adatsora alapján az éves átlagos szélesebesség 1,47 m/s és 4,05 m/s között mozog. Az előbbi alacsonyabb szélesebességet Jósvafőn, a legmagasabb szélesebességet Szentkirályszabadján mérték. Ezek alapján Magyarország a szélosztályozás kategóriájában a mérsékeltlen szeles

pozíciót foglalja el. A szélesség havi anomáliái nagyrészt 1 m/s-on belül ingadoznak, tehát a szélklímánk az egész év során kiegyenlítettnek tekinthető (Bartholy et al., 2004).



9. ábra: A 10 m-re interpolált szélességi értékek (m/s) éves átlagának területi eloszlása Magyarországon (Bartholy et al., 2004)

A 8. és 9. ábrát összevetve elmondható, hogy a legnagyobb mért szélesség adatok korrelálnak az északnyugati iránnyal. A kis szélesség értékek, mint például országunk jobb felső szegletében az északkeleti széliránnyal egyeznek meg.

4. A szélesség hasznosítás elméleti háttere

A szélesség hasznosításán a légkör kinetikus energiájának közvetlen hasznosítását vagy elektromos energiává történő alakíthatóságát értjük. Vegyünk egy m tömegű, v sebességgel mozgó légtömeget. Ennek a kinetikus energiáját (E) a következőképpen írhatjuk fel:

$$E = \frac{1}{2}mv^2. \quad (4.1)$$

A szél teljesítőképességét egy adott felületen megadott idő alatt átáramló levegő tömegéből és sebességéből lehet kiszámítani. Felhasználva a sűrűség (ρ) és az időegység alatt a rotor felületén áthaladó levegő térfogatának meghatározását ($V = A \cdot v$), az egységnyi idő alatt felhasználható széltejesítményt ezzel a képlettel adhatjuk meg:

$$P = \frac{1}{2}\rho v^3 A. \quad (4.2)$$

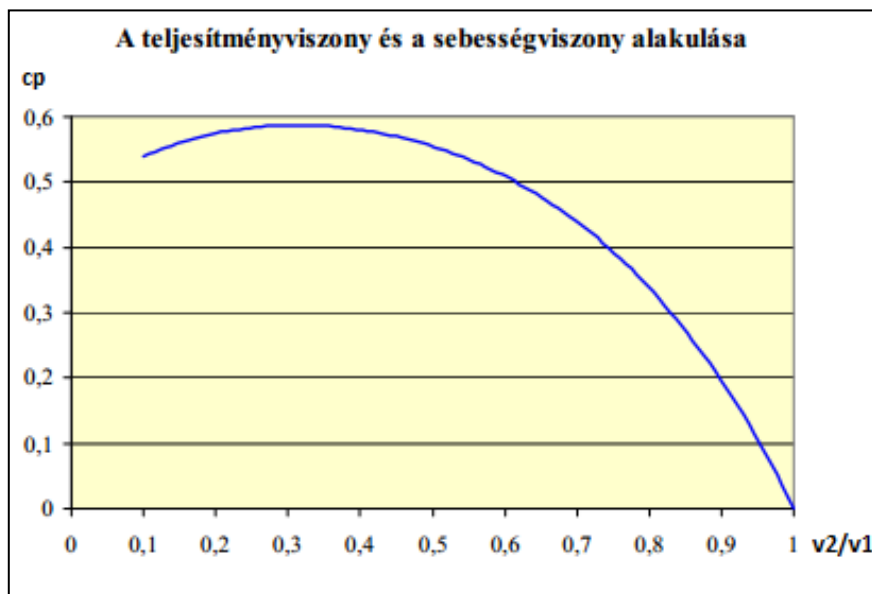
Az egyenlet három tényezőre is rámutat, mégpedig a szélesség arányos a levegő sűrűségével, tehát a magasabb tengerszintfőlötti pontoknál ugyanahhoz a szélességhez

kevesebb energia kapcsolódik, illetve a szélenergia a szélsébség harmadik hatványával arányos, ezért fontos a nagy átlagos szélsébségű pontok kiválasztása. A szélgenerátorok esetén a szélenergia arányos a rotor által súrolt felülettel, vagy a rotor átmérőjének négyzetével (Schrempf, 2007).

Minél több szélenergiát hasznosít a szélerőmű, annál inkább fékezi az áramlását. Tegyük fel, ha minden energiát hasznosítanánk, akkor a rotor mögött nulla lenne a szélsébség, ami azzal egyenlő, hogy az áramló levegő nem hagyja el a szélerőművet. Ekkor nem tudnánk hasznosítani az energiát, mert a szél a rotor másik oldalán nem fejt ki hatását. Egy másik extrém helyzetben fékezés nélkül áramoltatnánk át a szelet, persze ilyenkor sem tudnánk energiát hasznosítani. Így tehát kell lennie egy olyan állapotnak, amelyben a szél lefékeződéséből hasznos mechanikai energiát nyerünk. Az ideális szélerőmű – az uralkodó szélirányba fordítva – 2/3-ával csökkenti a szélsébséget. Ezt írja le a Betz-törvény, amelyet Albert Betz német fizikus 1919-ben mondott ki: a szélerőmű kinetikus energiájának legfeljebb 16/27-ed részét (59%) tudja mechanikai energiává alakítani. A szélerőmű elméleti maximális teljesítményét a következő képlet adja:

$$P_{vill} = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \rho v^3 A, \quad (4.3)$$

ahol a 16/27-ed a Betz féle maximum hatásfok tényező.



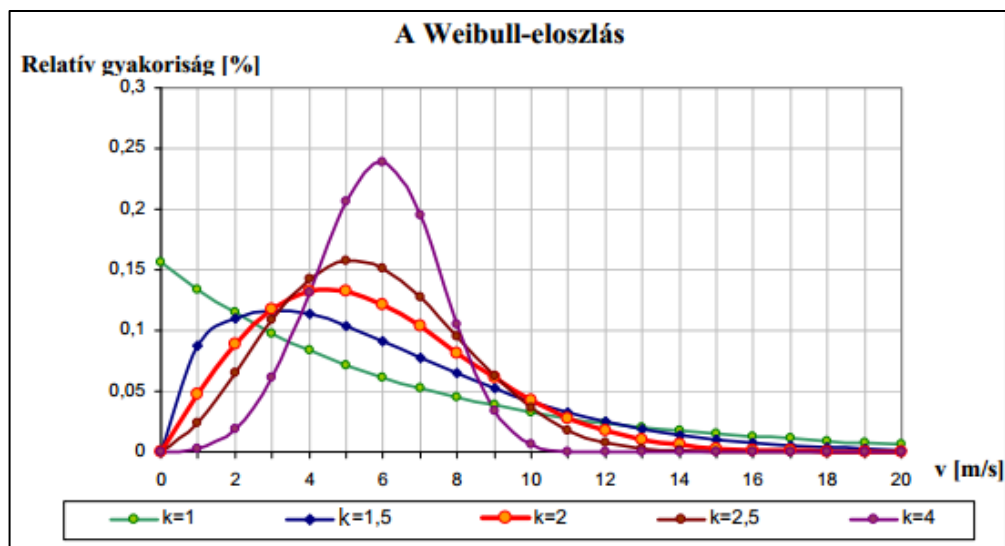
10. ábra: A teljesítménytényező ($c_p = P_{max}/P_0$) értéke (y tengely) és a rotor mögött és előtt kialakuló szélsébségek hányadosának (x tengely) kapcsolata (Schrempf, 2007)

Az adott generátorral termelhető energiamennyiséget a pillanatnyi átlagos szélsébség határozza meg. A szél viszont egy változékony meteorológiai elem, és ez bizony megmutatkozik a villamos energiatermelésben is. Ezért van szükség jó szélelőrejelzésre. A termikus és a mechanikus turbulencia, a konvekció és az ennél nagyobb skálájú folyamatok együttesen alakítják a szélmezőt, s így a szél lökésességét. Emiatt pillanatnyi változások következnek be a szél sebességében és irányában egyaránt. Természetesen a turbulenciának is van hatása az energiatermelésre, de csak közvetett módon, mivel a szélerőművek nem tudnak azonnal reagálni a szél pillanatnyi változásaira.

Nézzük a szélmező időbeli változásait! Egy terület szélenergetikai jellemzésére az első adat az éves átlagos szélsébség. Egyetlen adat nem adhat teljes képet. A termelhető villamos energia a szélsébség köbével arányos, így a köbös átlagokat kell meghatározni, ami jelentős különbséget idézhet elő az éves energiapotenciál becslésénél. A probléma megszüntethető a széladatok részletes éves adatfelvételével. Ezért az energetikai szélmérés gyakorlatában 1–60 másodperces mintavétel átlagából vett, 1–10 perces adatrögzítés honosult meg. A mérés során rögzítik a szélirányt és a szélsébséget, s lehetőség szerint a hőmérsékletet, nedvességet és a légnyomást is (sűrűségszámításhoz). Az adatbázis kiértékelésével megkapjuk az adott terület széljárásának statisztikai elemzését. A szélsébség analíziséhez a kétparaméteres Weibull-eloszlás bizonyult a legjobbnak azáltal, hogy megfelelő pontossággal illeszkedik az adatsorokra.

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}, \quad (4.4)$$

ahol v a szélsébség, c a mérték-tényező, k az alak tényező. Ha $k = 2$ akkor Rayleigh-eloszlásról beszélünk, abban az esetben, ha $k = 1$, exponenciális eloszlásról van szó (11. ábra). Ezek a Weibull-eloszlás speciális esetei.



11. ábra: A Weibull-eloszlás alakulása különböző k értékek esetén (Tóth, 2005)

A szélsősebesség-gyakoriság matematikai analízise lehetővé teszi a generátorok teljesítmény-görbéivel való összehasonlítást. Ezáltal becsülhető a szélturbina éves energiahozama, illetve kiválasztható az a turbinatípus, ami a legnagyobb hozamot biztosítja a be- és kikapcsolási szélsősebességek figyelembevételével (Schrempf, 2007). Az optimális szélbecsléshez ismernünk kell a szélprofilot. A legegyszerűbb a logaritmikus közelítés:

$$\frac{v}{v_r} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)}, \quad (4.5)$$

ahol z_0 az érdességi magasság, z_r a referenciaszint magassága (általában 10 méter), v_r a referencia sebesség v a keresett szélsősebesség, a z magasságon. A mérnöki gyakorlatban a hatványkitevős profilok terjedtek el, amelyek a stabilitási viszonyokat is figyelembe veszik:

$$\frac{v}{v_r} = \left(\frac{z-d}{z_r-d}\right)^\alpha, \quad (4.6)$$

ahol d a kiszorítási rétegvastagság. α kitevő értéke 0,1 és 0,45 között változik a stabilitás, a felszínborítottság és a felszín feletti magasság függvényében. Indifferens esetben 1/7 (Touma, 1977; Emeis, 2013). Nagyságát megannyi tényező befolyásolja, többek közt a táj felszínének jellege, a területen lévő növényzet. Az energiatermelés szempontjából a szélgenerátorok oszlopmagassága 30–40 m-től 100–200 m-es magasságig terjed (Tóth, 2005). Davenport (1960) vizsgálatai szerint az α értéke a felszínborítottságot is figyelembe véve:

Sík mező	0,12
Nyílt terep	0,16
Erdős síkság	0,28
Város alacsony épületekkel	0,35
Város magas épületekkel	0,45

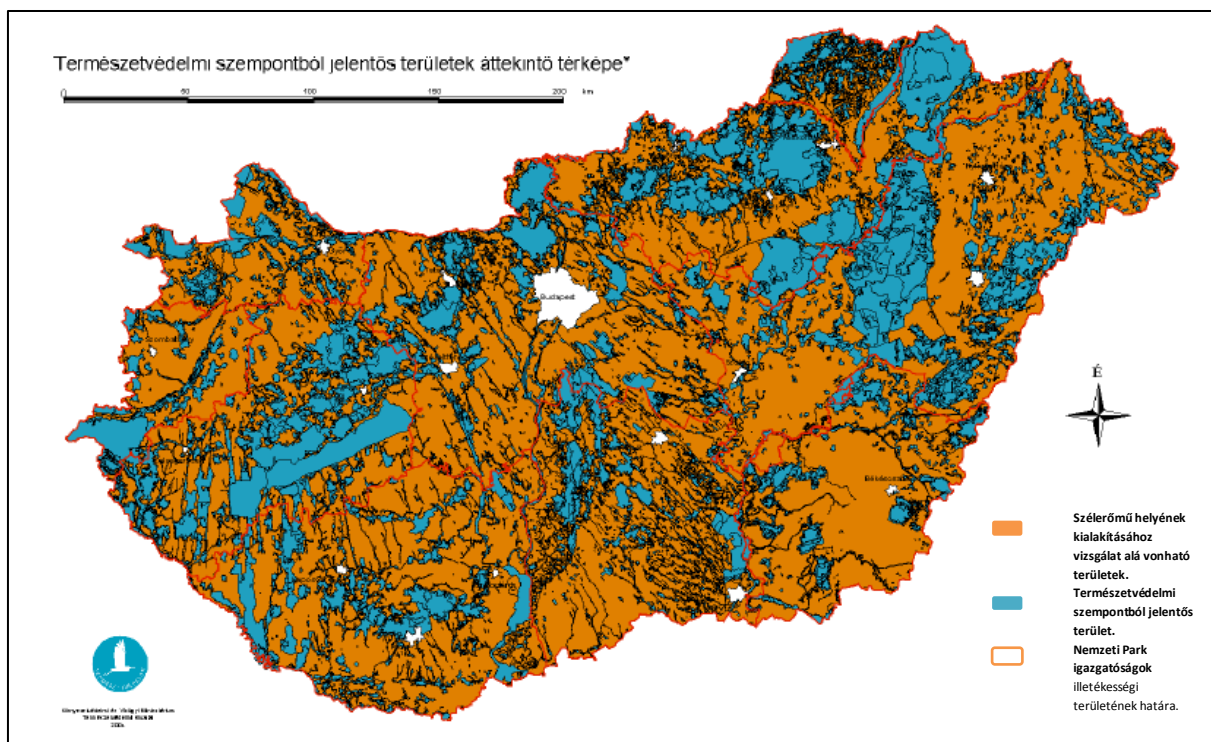
1. táblázat: a kitevő értékei Davenport (1960) alapján

Megjegyezzük, hogy ezek tájékoztató adatok. A pontos értékeket a stabilitástól függően profilmérések alapján határozhatjuk meg (Emeis, 2013).

5. Szélerőművek tervezése, telepítése

5.1. Táj- és környezetvédelmi szempontok

Az egyes szélerőművek, illetve a szélfarmok telepítésénél a természet- és környezetvédelmi szempontokat is figyelembe kell venni. 2005-ben Magyarország területének 7%-a volt természetvédelmi terület (12. ábra), napjainkban ez 10%-ra emelkedett. Egy szélerőmű közvetlen helyigénye 300 m²-re becsülhető, ami az alapozás területigényét jelenti. Ezeken kívül számolni kell a vezetékekkel, feltáró utakkal, transzformátor házakkal. Természetesen szélerőmű parkok esetében mindez megsokszorozódik. A természetvédelmi területek és az értékes élőhelyek védelmében egy biztonsági övezetet is célszerű megadni, azaz a védett területek határától 800–1000 m-re javasolt a telepítés (Tóth et al., 2011).



12. ábra: Magyarország természetvédelmi területeinek megoszlása
(KVVM, Természetvédelmi hivatal, 2005)

Ha szélerőművek élővilágra gyakorolt hatásait elemezzük, elsősorban az állatvilágra, különösen a madarakra és a denevérekre kifejtett hatásokat kell számba venni. Figyelembe kell venni az élőhelyek elvesztésének a kockázatát, a közvetlen madár-ütközésekből eredő hatások elkerülését, s a természeti értékek megőrzését (beleértve a táj szerkezetet is). Több jogszabályi előírásra is tekintettel kell lenni, mint például a hazánk által is elfogadott bonni egyezményre, ami a vándorló madárfajok védelmét szolgálja. E szerint meg kell határozni azokat a területeket (madárvonulási folyosókat), ahol a szélerőművek, szélerőmű-parkok potenciális veszélyforrást jelentenek; átfogó stratégiai környezeti hatásvizsgálatot kell végezni (Tóth *et al.*, 2011).

5.2. A szélerőművek környezeti hatásai

A szélenergia hasznosítás hatásait két szempont szerint ajánlatos vizsgálni, az egyik a „komfortérzés”-re gyakorolt hatás, a másik a környezeti hatás. A „komfortérzés” olyan faktorokat foglal magában, amelyek befolyásolják az emberi érzékelést és a viselkedést. Ilyen tényezők például a szélerőművek látványa, a megváltozott tájkép, a zavaró hang, és az elektromágneses hatások. A környezeti hatás mind növény mind állatvilágra vonatkozó

közvetett és közvetlen tényezőket foglalja magába. Ezek közé tartoznak például a madarak, ritka növényfajták vagy például a lokális hidrológiai változások (Tóth, 2005).

A szélenergiák nagymértékben képesek csökkenteni a szén-dioxid emissziót. Német vizsgálatok szerint egy 2 MW-os szélenergia-előállító elkészítéséhez, felállításához, működtetéséhez, majd elbontásához az üvegházhatású gázok akkora kibocsátása szükséges, amennyit az erőmű nyolchónapos működtetése fedez. A további működés során már nem kell kibocsátással számolni. Minden 1%-nyi hagyományos energiatermelő kapacitás megújuló energiaforrásokkal való felváltásával 0,3%-os CO₂ kibocsátás-csökkentés valósul meg. Vegyünk példaként egy 600 kW-os szélenergiát, aminek 20 évre tervezzük az élettartamát: ezalatt körülbelül 20000–35000 tonna CO₂-kibocsátást akadályoz meg a hagyományos energiaforrásokhoz képest.

Az EWEA, azaz az Európai Szélenergia Egyesület felmérései bizonyították, hogy 2012-ben a szélenergia alkalmazásával már 156 millió tonna CO₂ kibocsátását előzte meg Európa (2. táblázat). Ez a szám - elképzelésük szerint - 2020-ra már 342 millió tonnára emelkedik majd (EWEA, 2012).

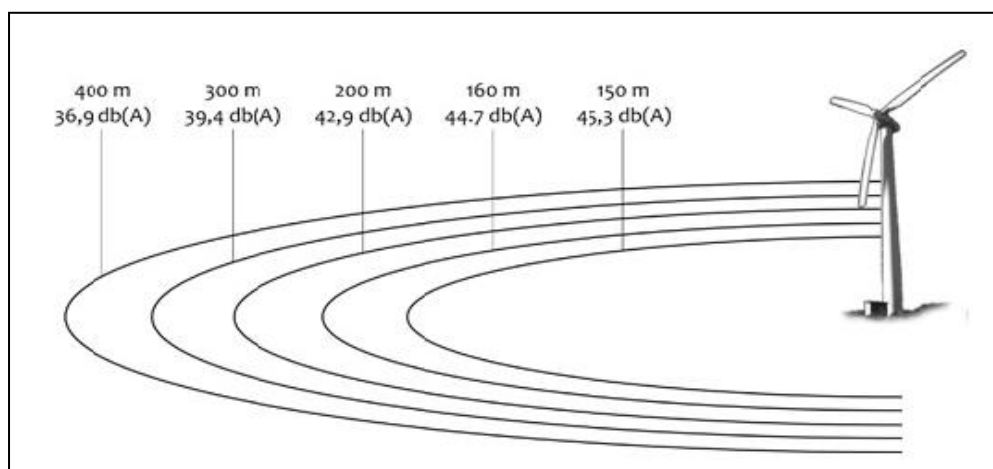
	2008	2009	2010	2012	2020
Beépített kapacitás (GW)	65	75	84	103	230
Energiatermelés (TWh)	136	159	181	229	581
Elkerült CO₂ kibocsátás (Mt)	97	112	126	156	342

2. táblázat: Az elmúlt (2008–2012) és várható (2020) évek szélenergia kapacitás, termelés, elkerült CO₂ kibocsátás az Európai Unióban (EWEA, 2011)

Térjünk most át a vizuális hatás elemzésére! A szélenergia-parkok nyílt területen vannak, hogy gazdaságilag megérje a fenntartásuk, éppen ezért messziről is jól láthatóak. A lakosság véleménye megoszlik a látványukat illetően: egyesek szerint a tiszta energia szimbólumai, mások a tájkép elrontóit látják bennük. Az ipar jelentős lépéseket tett azért, hogy beillesse a tájképbe a szélgenerátorokat. Számítógépes fotomontázsok, animációk segítségével objektív előrejelzést adnak megjelenésükről. A napfény periodikus tükröződésének (felvillanás) vagy megszakításának (árnyékvibrálás) hatásaira is ügyelni kell a szélenergia telepítésénél és a generátor lapátok felületi kezelésénél. A tartószerkezet és a

generátor kiképezése is csökkentheti az érzékelt hatást. Magyarországon a szélerőműveket hosszú, csonka kúp alakú acéltornyokra szerelik, amelyeket esztétikusnak ítélnék meg egy közvélemény-kutatás megkérdezettjei.

A szélerőművek zajhatását vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a modern szélturbinák már csendesek. Az észlelt zajterhelések közül megkülönböztetjük a mechanikai és az aerodinamikai eredetűeket. A mechanikai zajok közé tartozik a fogaskerék-áttétel és a generátor működése során keletkező hang. E hatások a modern erőműveknél minimálisak, de tovább csökkenthetőek áttétel nélküli hajtóművel, speciális áttétekkel és generátorokkal, illetve hangszigetelő borítással. Az aerodinamikai zajt a hajtóműről és szárnyakról leváló légáramlatok keltik. Ezeket is csökkentheti a lapátok alakja, különösen a lefutó rész és a lapát csúcsának kialakítása, továbbá a turbina forgási sebessége. Az áramlástechnikai zaj csökkenthető a lapátok szögállásának változtatásával, ami azért fontos, mert kis szélesebbségen a kisebb háttérzaj miatt az emberek kellemetlenül reagálnak a szélerőmű okozta zajra (Szalai et al., 2010). A környezeti zaj mértékegysége dB(A), ami az emberi fül érzékenységének korrekcióját is figyelembe veszi. A hangnyomás szintje a szélerőmű mellett 70–90 dB(A), azonban 80–100 méter távolságból már csak 50–60 dB(A). Összehasonlításképpen ez olyan szintű, mint egy párbeszéd két ember között. Egy turbina esetén az 500 méterrel messzebb lévő háznál - amikor a szél a turbina felől fúj - a hangnyomás hozzávetőlegesen 35 dB(A), ami annak a hangnak a leírója, ami egy csendes házban belül van (lásd a 13. ábrát is). Amennyiben több szélgenerátorról beszélünk 500 méteres távolságba 42 dB(A) zajszintet okoznak, ami egy nyugodt irodában mérhető hanggal azonos. Amikor a szél az ellenkező irányba fúj a hangszint-csökkenés akár 10 dB(A) is lehet (Tóth, 2005).



13. ábra: Szélerőművek zajhatása a hallható hang tartományában (Tóth, 2007)

A komfortérzést befolyásoló elemek közé tartozik még az elektromágneses hatás. A tapasztalatok azt bizonyítják, hogy a szélerőmű-parkok elővigyázatos tervezése elkerülhetővé teszi a telekommunikációs eszközök bármiféle zavarását. A szélturbinák úgy tudnak elektromágneses hatást kelteni, hogy a jelek visszaverődnek a lapátokról és így a közelben lévő vevőkészülék egyszerre foghatja a közvetlen és a visszavert jeleket. Az üvegszálaspoliészter, amit a modern lapátkerekhez alkalmaznak, az elektromágneses hullámoknak részlegesen áteresztő és ezért közbenső értéket képvisel az elektromágneses zavarás skáláján. A szélerőmű-parkok vezetői konzultálnak az illetékes polgári és katonai hatóságokkal, hogy felmérjék, várhatók-e elektromágneses zavarások. Már a tervezés szakaszában szükséges rendezni a mikrohullámú hálózatokat és a légügyi kommunikációs rendszereket befolyásoló problémákat (Tóth, 2005).

A szélerőművek állatvilágra gyakorolt hatásának analízisekor elsősorban a madarakra vonatkozó hatások kerülnek előtérbe. A kezdetekben főként attól tartottak, hogy a madarak szélerőműveknek való ütközései miatt számottevő veszteség éri az állományt, addig napjainkban az élettérre gyakorolt kockázatos hatások kerültek a vita középpontjába. A szélerőművek telepítési helyének megtervezésekor figyelembe kell venni az egyes madárfajok szélerőművekkel szembeni érzékenységét, vonulási útvonalát és az érintett területek természetvédelmi jelentőségét - ezek alapján kell döntést hozni a kivitelezésről. A szélerőművek miatti madárpusztulások három fő okra vezethetők vissza: a madarak nem érzékelik a forgó rotorlapátokat ezért nekirepülnek; a vonuló madarakat vonzzák a széltornyok fényei, bizonyos mértékig megzavarodnak, kimerültek és a szerkezetnek ütköznek; a madarak a szélerőművekhez vezető magasfeszültségű vezetékeknek vagy a rögzítő köteleknek csapódnak. Mindezek ellenére elenyésző az ilyen madárpusztulás, sokkal nagyobb veszélyforrást jelentenek számukra a járművek, épületek, ablakok, adótornyok. Megállapítható, hogy a madarakra gyakorolt hatást mind a tervezők, mind a hatóságok komolyan veszik, a fejlesztésekből kihagyják a madárvédelmi körzeteket.

Összefoglalva a környezeti hatásokat: a szélturbinák működésének nincs közvetlen káros anyag kibocsátása, az elavult szélturbinák lebontása nem jár különösebb kötelezettséggel, és a modern szélturbina anyagainak 98–99%-a újrahasznosítható, továbbá a szélerőmű-park által elfoglalt terület 99%-a továbbra is használható mezőgazdasági célokra, s a korszerű turbinák zajszintje is alacsony. Nincs olyan indok, amiért ne mondhatnánk környezetkímélő ágazatnak a szélenergia hasznosítást (Tóth, 2005).

6. A WRF modell számítások és a mérési adatok összehasonlítása

Diplomamunkámban egy mosonmagyaróvári szélérőmű parkban felállított szélgenerátor (ENERCON 70) szélmérési adatait hasonlítottam össze a WRF modell előrejelzéseivel 2011 áprilisi hónapjára. Hazánk legszelesebb hónapja az április, ezért esett erre a hónapra a választásom. Célom, hogy e hónap adatai alapján bemutassam a szélenergia termelést meghatározó különböző időtávú szélsébség előrejelzések pontosságát. Bemutatom az általam készített adatfeldolgozó programok szerkezetét, s az általuk kapott eredményeket. Ezt tartom a diplomamunka fő alkalmazott kutatási eredményének.

Tekintsük át röviden a modell verifikáció témakörét! A modell-előrejelzések bevalásának kiértékelése (verifikációja) során az előrejelzések és megfigyelések értékeiből származtatott valamilyen mérőszámot elemzünk (*Csima, 2003*). A verifikáció elvégzése több szempontból is meghatározó. Ezek a mérőszámok hasznos információt szolgáltatnak a modellfejlesztők számára a modell bevalásáról. Megadják, hogy mely meteorológiai elem előrejelzésén kell javítani, mely paraméternél fordulnak elő szisztematikus hibák. Emellett a fejlesztők a verifikációs mérőszámok figyelésével könnyen és gyorsan követhetik a modell hibáit, és azok változását. A verifikációs mérőszámok fontosak az előrejelző szakemberek számára is. Megállapíthatják, hogy a modell előrejelzésének bevalása milyen mértékben tér el az általuk készített prognózisok jóságától. Használhatunk objektív és szubjektív módszereket. Az objektív verifikáció során a modellezett és a megfigyelt (mért) adatsorok statisztikai összehasonlításából vonunk le következtetéseket. A szubjektív verifikáció alatt pedig azt értjük, hogy az egyes meteorológiai elemeket térképen ábrázoljuk és vizuálisan hasonlítjuk össze.

Ismerkedjünk meg az alkalmazott időjárási modellel! A WRF (Weather Research and Forecasting Model – időjárás kutatási és előrejelzési modell) egy mezoskálájú, 1–10 km-es horizontális felbontású időjárás-előrejelző és adatasszimilációs modell, mely kutatási és operatív célokra egyaránt használható (*Skamarock et al., 2005; 2008*). A modellt az Egyesült Államokban dolgozták ki, a folyamatban több intézmény is részt vett: az NCAR MMM (Center for Atmospheric Research Mesoscale and Microscale Meteorology Division), NOAA NCEP (National Oceanic and Atmospheric Administration National Centers for Environmental Prediction), NOAA FSL (Forecast System Laboratory), AFWA (Air Force Weather Agency), NRL (Naval Research Laboratory), CAPS (Center for Analysis and Prediction of Storms) és az FAA (Federal Aviation Administration). A modell felhasználói

között ott van az Amerikai Meteorológiai Szolgálat, az Amerikai Hadsereg, illetve kisebb meteorológiai szervezetek is alkalmazzák különböző céllal (*Gyöngyösi et al, 2011*). Hazánkban is több helyen futtatják. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén 2008 óta végeznek napi modellfuttatásokat a Kárpát-medence térségére oktatási-kutatási, szélenergetikai és repülésmeteorológiai előrejelzési céllal. A WRF modell alkalmazásával több szakdolgozat és diplomamunka készült, közöttük szélenergetikai előrejelzésekkel kapcsolatos is (Wendl, 2009; Hermann, 2011). A korábbi eredményekre építve a dolgozatban olyan módszertani fejlesztés eredményeit mutatom be, ahol a fő cél a 12–96 órás előrejelzések és a mért adatok összevetése diagramok, kontingencia táblázatok és Taylor-diagram segítségével. A fejlesztésben támaszkodtam Szépszó és Horányi (2010) Időjárás cikkére.

A vizsgálatba bevont szélerőmű park Mosonmagyaróvár térségében (Győr-Moson-Sopron megye, Mosoni síkság) Mosonszolnok és Levél községek külterületén, a Burgenlandi szélcsatorna (Zurndorf) folytatásában található. Szélerőművek telepítését számos tényező indokolta: i) a megfelelő, még gazdaságosan kinyerhető szélpotenciál, ii) a jó megközelíthetőség, az M1-es autópálya közelsége a generátorok szállításokhoz, iii) környezet- és természetvédelmi szempontokból való megfelelés, a telephely nem érint védett vagy értékes területeket, iv) kedvező geológiai és geomorfológiai adottságok, könnyű építhetőség, v) megfelelő hálózati csatlakozási lehetőség (*Balogh, 2009*).

Az általam vizsgált ENERCON 70-es szélgenerátor névleges teljesítménye 2300 kW, tengely magassága 113 m. Forgási iránya az óramutató járásával megegyező, 3 széllappáttal rendelkezik (www.enercon.de).

6.1. Az általam fejlesztett adatfeldolgozó program leírása

A munkámat Ubuntu Linux környezetben végeztem. A szélgenerátorból származó 10 perces havi mérési adatok (szélirány, szélssebesség, átlagos teljesítmény) ASCII xls fájlok formájában álltak rendelkezésre. A WRF modell adatai 5 perces átlagokat tartalmaztak. A programfejlesztés eredményét a 14. ábra szemlélteti.

Az első feladat a WRF modellel kapott napi két időpontban (00Z és 12Z) legfeljebb 96 órára futtatott prognózis fájlok átalakítása volt csv fájlakká, a tagolt és áttekinthető forma érdekében. Ezt követően a `clean.sh` Korn shell (ksh) script elkészítésével a redundáns fájlok felülírásával, valódi inicializációs idő fájl névként való megadásával egy `tmp` nevű könyvtárban egy "tiszt" adatbázis létrehozása volt a cél. Ezután a – az általam készített –

`chopper.sh` shell script segítségével szétválogattam a 0–12, 12–24, ..., 84–96 órás előrejelzéseket a SED parancs felhasználásával és mindegyiket külön fájlba tettem. E fájlok időbélyeg konverzióját is elkészítettem, miszerint a korábbi dátumformátum (például: 00:05Z09APR2011) helyett jobban kezelhető nevekké alakítottam (például: 201104090005, azaz 2011-es év április hónapjának 9. napja 00 óra 5 perc). Mindezt a `times.sh` nevű program végzi AWK programozási nyelv segítségével, választásom azért esett erre a programozási nyelvre, mert karaktersorozatokkal, más néven stringekkel foglalkozik, emellett ismeri az asszociatív tömböket is. Ezek után a megfelelő formátumú dátumot összefésülve a 0–12, ..., 84–96 órás 120 m-es szintre vonatkozó szélelőrejelzéseket külön fájlokba írtam. Elnevezésük értelemszerűen alakult, mégpedig `ws120_12`, `ws120_24`, ..., `ws120_96`. A `times.sh`, `chopper.sh` is ksh shell script formában íródtak.

Visszatérve a generátorok méréséből származó adatsorra, `xls2csv` parancssal átalakítottam, és kivettem a dátumot, a 120 m-en mért szélirányt, illetve a 120 m-en mért szélsébséget, majd a megfelelő formázás után (többek közt első címke sor levágása) rendre egy fájlba másoltam e három oszlopot, és a `ws120_meres` nevet kapta. Az eddig felsorolt munkálatokat az `elofeldolg.sh` program végzi el (*Függelék – F.5.*). Futtatásánál megadható melyik évet és hónapot szeretnénk, hogy feldolgozza a program (például: `./elofeldolg.sh 2011 04`).

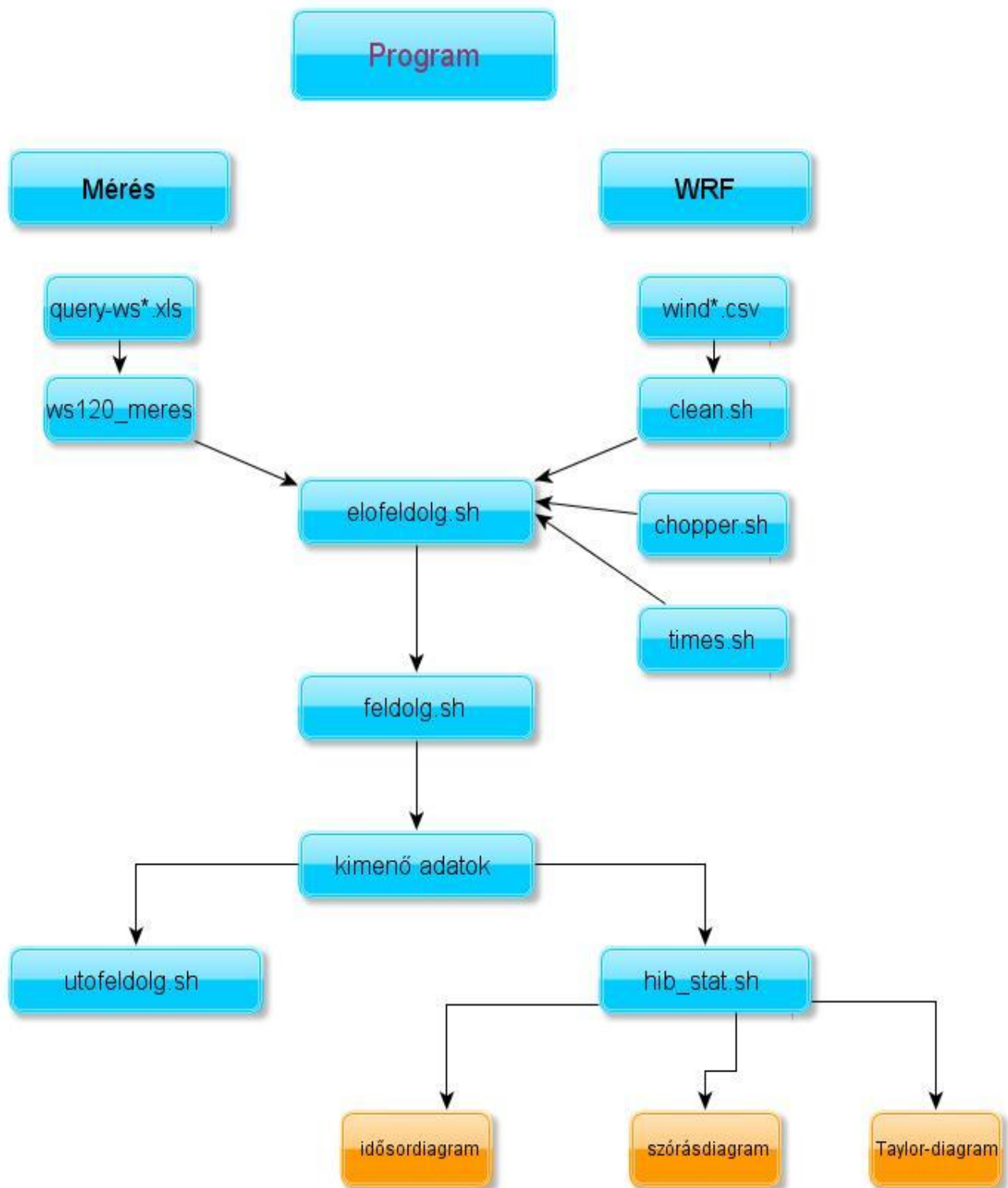
A második gyűjtőprogram a `feldolg.sh` (*Függelék – F.5.*) nevet viseli. Nézzük ennek az előállítását! Elsőként időbélyeg konverziót végeztem, ahol meg kellett oldani többek között a szökőév problematikáját. Ezt BC parancs alkalmazásával sikerült kiküszöbölni, mely kezeli a tört számokat a shell scriptben. A hónapok hosszának komplikációját is kezelni kellett, eszerint kiszűrtem a 30 napos hónapokat (április, június, szeptember, november), továbbá az óra, perc fordulókra is figyelni kellett (23:55 → 00:00). Így létrejött időbélyeg: év, hónap, nap, óra, perc. Az automatikus adatfeldolgozás kialakításában fontos feladat volt az adathiány kezelése is. Ha a futás során a program nem talál ilyen formátumú időbélyeget a beolvasott fájlban, akkor a helyére 9999.00 számot ír. Ezzel megegyezően működik a 120 m-en mért szélirány és a szélsébség adathiány kezelése is. Befejezésül a program 10 oszlopot ír ki, az első az időbélyeg 10 perces időléptékkel, a második a szélirány, a harmadik a szélsébség, a negyedikről a tizedik oszlopig pedig a 12, ..., 96 óránál nem régebbi előrejelzések vannak. Itt a mért adat 10 perces időlépcsőit vettem alapul és ehhez tarozó 10 percenkénti modelleredményeket társítottam. A köztes fájlok

törlésével zárul a program. A futtatásánál szintén szükséges megadni, hogy melyik évet és hónapot szeretnénk feldolgozni.

Ezután következett az `utofeldolg.sh` nevű script megírása (*Függelék – F.5.*). A script grafikus ábrázolást végez az eddigi adatokból Gnuplot rajzoló program felhasználásával. Továbbá létrehoz egy `plot.plt` fájlt, amelyben a megadott paramétereket ellenőrizhetjük le, például, hogy melyik előrejelzés (12, ..., 96) adatait rajzolja ki a program.

A következőkben a már meglévő rendezett adatbázis adatainak további grafikus megjelenítése volt a feladatom. Ennek érdekében létrehoztam egy `hib_stat.sh` nevű ksh scriptet, mely különböző hibastatisztikákat számol, Taylor (2001) és Nurmi (2003) cikkét követve (*Függelék – F.5.*). Először is meghatároztam az idő- és térbeli szektorokat, a 0–12, 12–24, 24–36, 36–48, 60–72, 72–84, 84–96-os időablakokra a 4 égtáj szerint, észak (315–45°), kelet (45–135°), dél (135–225°), nyugat (225–315°) továbbá a teljes szektorra (0–360°). Ezt követően létrehoztam egy `tmp.dat` nevű kimenő adatfájlt. Ezt a futtatásnál megadott paraméterek befolyásolják, mindig adott szektor, adott időlépcsőjét veszi figyelembe (például: 45 12, ami azt jelenti, hogy a 45–135° közti adatokat nézi a 12 óránál nem régebbi adatok figyelembevételénél). A fájl 4 oszlopot tartalmaz, ahol az első a dátum 10 perces időléptékben, majd a szélirány fokban kifejezve, aztán a mérési eredmény, majd a 4. oszlop tartalmazza az adott időlépcső modelleredményét mínusz a mérés eredménye. A szélirány esetén a szélgenerátoron mért adatokkal dolgoztam, mivel a modell előrejelzés széliránya kevésbé fontos, hiszen a turbina befordul a szélirányába. A 4. oszlopot vizsgálva: pozitív számot kapunk, ha a modell felülbecsülte a várható értéket, negatív számot, ha alul becsülte. Az ilyen ábrázolás láthatóvá teszi az előrejelzési hibákat, a kiugró értékeket, s megkönnyíti a további adatelemzést. A trendek és az időfüggő kapcsolatok is könnyen észrevehetőek. A továbbiakban a kontingencia táblázat elemeit számoltam ki a `tmp.dat` fájl adatoszlopaiból, még pedig egy 3x3-as mátrix elemeiként (*Függelék F.3.*). Ehhez a mérés adatait illetve a mérés plusz a 4. oszlop (modell adatok – mért adatok) számsorait használtam fel, melyeket meghatározott számokhoz viszonyítva írtam ki (7,5 alatt, 7,5 és 12,5 között, 12,5 felett). Ennek a későbbiekben leírt szórásdiagram miatt van jelentősége. A script folytatásában Nurmi 2003-as cikke alapján kiszámoltam pár statisztikai jellemzőt szintén a `tmp.dat` fájl felhasználásával. Számítottam a szektorok és időablakok szerinti adatok darabszámát, az átlagos hibát (ME), az átlagos abszolút hibát (MAE), az átlagos négyzetes hibát (MSE), illetve ennek gyökét (RMSE). Ez a *Függelék F.4.1. táblázatban* látható. Ezután előállítottam a Taylor-diagramhoz szükséges statisztikai feldolgozásokat (lásd később). Itt szerepel többek közt a modellezett, illetve mért adatok átlaga, szórásuk, és korrelációjuk. A

script folytatásában a következő szakasz az ábrázolásé. A grafikus megjelenítést szintén Gnuplot programmal végeztem. Elkészítettem az idősor- és szórásdiagramokat. Meg kell jegyezzük, hogy sem az idősordiagram, sem a szórásdiagram nem szolgál konkrét pontosság-méréssel. A script úgy állítja elő ezeket, hogy 90 fokos szektorokra, illetve teljes körre vonatkozóan generálja a változókat, tehát $45-135^\circ$; $135-225^\circ$; $225-315^\circ$; $315-45^\circ$; $0-360^\circ$ között adhatóak meg az értékek a kívánt diagram eléréséhez. A diagramgenerálás másik paramétere az időlépcső. A fent már említett módon 0 órától 96 óráig 12 órás időtávban vannak előrejelzési adataim, így ez alapján 8 időlépcső keletkezik (0–12; 12–24; 24–36; 36–48; 48–60; 60–72; 72–84; 84–96), a kiválasztott időlépcsőt szintén meg kell adni az adott szórásdiagram létrehozásához. A scriptbe még meg kellett adni további információt is, hogy a grafikon az elvárt formában jelenjen meg. Többek közt ki kell szűrni a hiányzó adatokat, hogy ez ne rontsa az ábrát, s meg kellett adni azt is, hogy mely oszlopokból vegye ki az ábrázolandó értékeket a program. Itt történik a tengely feliratozása is. Ennél a scriptnél is készül plot.plt fájl, mely segítségével ellenőrizhetem a grafikai parancsok megadásának tökéletességét. Összesen 40 darab ábrát kaptam 8 időlépcsőnként a teljes körre, és a 4 főégtájra vonatkozóan (8×5 diagram). Az idősordiagramok megtalálhatóak a <http://meteor9.elte.hu/~monika/diagramok/> oldalon (angolul time-series plot, és ebből rövidítésként ts betűkkel kezdődő diagramok) illetve a *Függelék F.1.* alatt. Így megtörtént a szórásdiagram függvények, eloszlások elkészítése, illetve ezek szemléltetésére használt grafikonok megrajzolása. A pontok tömörülése, szétszóródása, elhelyezkedési módja szemlélteti a változók közötti kapcsolatot. Az idősor grafikonnál leírt kondíciók használhatóak itt is, illetve még meg kell adni az x és y tengely hosszát, és az illesztett vonal hosszát. Hasonlóan az előzőhöz itt is készül egy plot.plt ellenőrző fájl. Szintén összesen 40 diagramot kaptam, melyek a *Függelék F.2.* alatt és a <http://meteor9.elte.hu/~monika/diagramok/> honlapon is megtekinthetők.

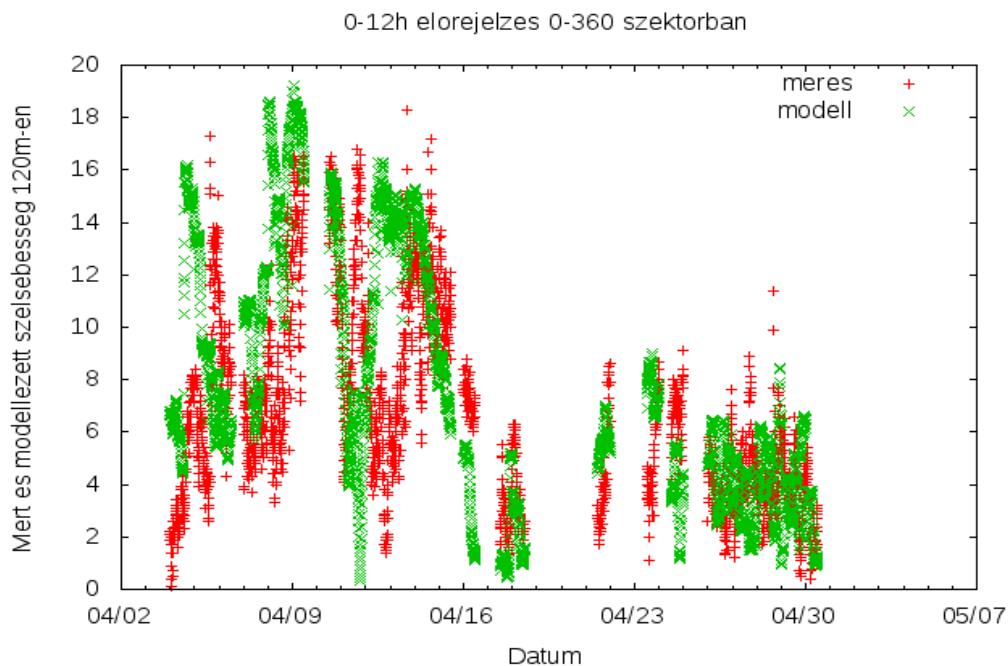


14. ábra: Leírt programok felépítése
Az ábra yED Graph Editor felhasználásával készült.

6.2. Eredmények

Munkám során előállított programfájlok lefuttatását követően, számos eredményt kaptam hibastatisztikai változókra, illetve ezek grafikus ábrázolásával sok könnyen értelmezhető ábrát, diagramot tudtam készíteni. Diplomamunkám során 2011 áprilisára számoltam ki az adatokat és készítettem el a diagramokat. Az elkészült programok automatizáltak, tehát a megfelelő paraméterek megadásával különböző év, különböző havi adatait lehet egyszerűen feldolgozni.

A `hib_stat.sh` script gyártott idősor- és szórásdiagramokat számomra. Az idősordigram az idő függvényében ábrázolja a mért és modellezett szélsőértéket 120 méteren, mégpedig oly módon, hogy a mérést piros kereszttel, a modellezett értékeket zöld x-el jelöli (15. ábra). Jelen esetben a 0–12 órás modell adatokat láthatjuk a teljes körre nézve, tehát 0–360 fok közt. További idősorok és szektorok idősordigramja a *Függelék F.I.* pontban látható. Az ábra mutatja, hogy a mérés és a modell adatai látszólag jól korrelálnak egymással, viszont néhány esetben a modell jelentősen felülbecsli a mérést. Ilyen például az április 9.-e körül készült előrejelzés, amikor a modell nagyobb erősségű szelet adott, mint amennyi a valóságban volt. Továbbá megfigyelhetünk időeltolódást is 12.-e környékén az előrejelzés nagyjából egy nappal korábbra adta a nagy szélsőértéket, majd csökkenést. Előfordulnak hiányok a képen, ennek oka, hogy bár mérési eredmény mindig volt, modell adat viszont nem, így nem volt mivel összehasonlítani a kapott értéket. Összes mérési adatom 4320 érték, és néhány modell érték hiánya miatt 58%-os a megjelenítési tartomány erre a hónapra nézve (2520 adatként/4320 adat). További kiegészítő adatok is rendelkezésemre állnak, meghatároztam azt is, hogy például ezen a képen 2520 adatként van feltüntetve.



*15. ábra: Idősordidiagram 12 óránál nem régebbi modell adatok felhasználásával
(0–12 órás előrejelzések) a teljes szektorra nézve*

További szektorokat vizsgálva megállapítható, hogy a nyugati szektorban van a legtöbb mérési adat, majd az északi. A 2520 adatpár 42%-a északi, 34%-a nyugati irányból fújó szelek adatai. Ez jól mutatja, hogy itt az uralkodó szélirány az észak-nyugati. Időben előre haladva csökken az adatpárok száma (kevesebb az előrejelzés) (0–12: 2520 adatpár 84–96: 2088 adatpár). A modellezett nagy szélsőbességek (pl. napi maximumok) általában meghaladják a „gondolán” mért adatokat. Összességében elmondható, a mérési és modell adatok egymáshoz viszonyítva szoros kapcsolatban vannak, kevés esetet kivéve, mikor a modell felülbecsüli, illetve időben eltolja a szélsőbesség változását.

A következőkben térjünk át a hiba statisztikák elemzésére! Számszerűsítsük az eltéréseket! Első lépésként nézzük az átlagos illetve más néven szisztematikus hiba számítását (Mean Error vagy Bias), mely az egyszerű átlagos eltérést mutatja a mért és az előrejelzett értékek között, képlete pedig:

$$ME = \left(\frac{1}{n} \right) \sum (f_i - o_i), \quad (6.2.1)$$

ahol f_i az i -edik előrejelzést, az o_i az i -edik megfigyelést jelöli, n az esetszám. A Bias a legismertebb és legegyszerűbb mérőszám, amely hasznos információkat ad a helyi időjárási

paraméterekre vonatkozóan, például a legmagasabb hőmérsékletre a tengerpart közelében, vagy akár a hótakaróval borított talaj minimum hőmérsékletére. Értéke mínusz végtelentől plusz végtelenig terjedhet, s a tökéletes előrejelzésnél nullát venne fel. A mérőszám egyik hibája, hogy az ellenkező előjelű nagy eltérések kioltják egymást. Ezt küszöböli ki az átlagos abszolút hiba (Mean Absolute Error) amit szintén számol a program:

$$MAE = \left(\frac{1}{n}\right) \sum |f_i - o_i| , \quad (6.2.2)$$

értéke nullától végtelenig terjedhet, valamint megadja az eltérések átlagos nagyságát az adatsorban. A *ME* és *MAE* mérőszámot célszerű mindig egyidejűleg vizsgálni. Következő verifikációs paraméter az átlagos négyzetes hiba (Mean Squared Error):

$$MSE = \left(\frac{1}{n}\right) \sum (f_i - o_i)^2 , \quad (6.2.3)$$

illetve ennek négyzetgyöke (Root Mean Squared Error), melynek dimenziója megegyezik a vizsgált meteorológiai elem dimenziójával. Értéke nullától végtelenig futhat, tökéletes előrejelzésnél nullát venne fel. A négyzetes hibának köszönhetően a *MSE* és a *RMSE* sokkal érzékenyebb a nagy hibákra, mint a *MAE* (Nurmi, 2003). A 2011. áprilisra kapott alapvető hibastatisztikákat szektoronként és előrejelzési periódusonként a *Függelék F.4.1. táblázata* foglalja össze.

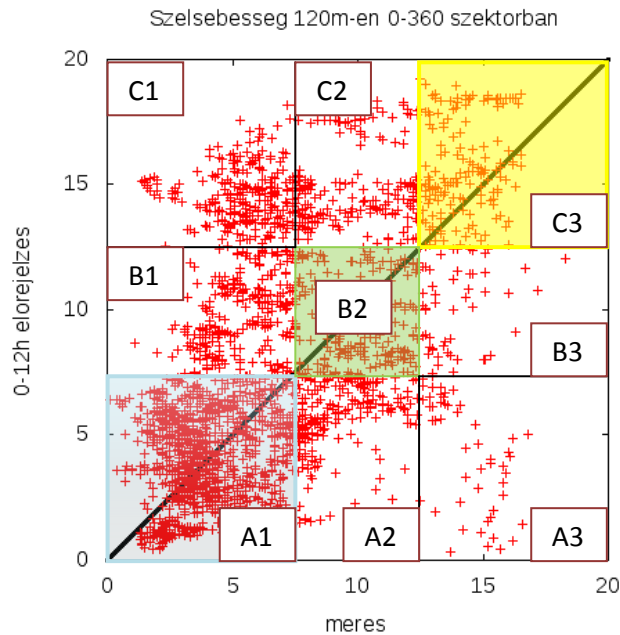
Ismerve a hibastatisztikai változókat, vizsgáljuk most meg a torzítás (*BIAS*) értékét összehasonlítva az átlagos négyzetes középhibával (*RMSE*). Az eredményeket a 3. táblázat foglalja össze a teljes (0–360°) szektorra és a 8 időablakra.

	BIAS	RMSE
0–12	1,32	4,64
12–24	1,35	4,72
24–36	1,12	4,78
36–48	0,67	4,67
48–60	0,80	4,55
60–72	0,20	4,16
72–84	-0,36	3,85
84–96	0,22	4,20

3. táblázat: A *BIAS* és *RMSE* értékek összehasonlítása

A tökéletes előrejelzésnél, mint már említettem, mind a BIAS, mind az RMSE nulla lenne. Amennyiben a BIAS pozitív, az előrejelzett érték átlagosan felülbecsli a mért értéket, ha negatív, az előrejelzett érték átlagosan alacsonyabb a megfigyeltnél. A kezdeti periódus (0–24 óra) az inicializáció időszaka, ekkor a modell torzítása, és átlagos négyzetes középhibája is nagy. A középső időlépcsőknél (24–96 óra) mondható a modell megbízhatónak, ahol csökken mindkét statisztikai mérőszám. Égtájakat figyelve a legkisebb torzítása az északi, nyugati szektoroknak van, legnagyobb a keleti, déli szektoroké. Természetesen ez annak is köszönhető, hogy sokkal több adatunk van az észak, nyugati szektorból, mint a másik kettőből.

A hibakarakterisztikák megismerése után a rendelkezésünkre álló adatokból készíthetünk szórásdiagramot, angol nevén scatter plot diagramot, amellyel képet kaphatunk az előrejelzés megbízhatóságáról. A szórásdiagram függvények, eloszlások definiálására, ill. szemléltetésére használt, koordináta-rendszerben felrajzolt, pontokból álló grafikon. Egy választott szórásdiagramot mutatok be fő szempontok alapján, mégpedig a 16. ábrán a 120 méteres szélesség teljes körre vett (0–360°) 12 óránál nem régebbi előrejelzést. További idősorok és szektorok idősort diagramja a *Függelék F.2.* pontja alatt látható. Az x tengely a mért adatokat, az y tengely az előrejelzett adatokat jelöli. Jelen esetben 2520 adatpár által meghatározott szórásdiagramot vizsgálók. Az ábrát 9 szektorra osztottam fel, melyek címkéi alulról felfelé haladva rendre: A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3. A tartományokat 7,5 és 12,5 m/s-os szélességnél osztottam fel. Erre azért volt szükség, mert a 7,5 és 12,5 m/s közti szélesség a leghasznosabb szélenergetikai szempontból, ez jelöli a legértékesebb tartományt. A diagonális egyenest követve színezett négyzeteket vehetünk észre, amik mutatják, hogy a diagramon hol látszik az elfogadható prognózis.



16. ábra: Szórásdiagram 12 óránál nem régebbi előrejelzés (0–12 órás előrejelzések) teljes szektorra nézve

A megjelölt szektorokra lebontva nézzük most a szórásdiagramot, kezdjük a színezett főszektorokkal! Az A1-es szektorba esnek azok az adatok, mikor a modell kis sebességű szelet jelez előre és a mérés ezt is adja. Szélenergetikai célokat figyelembe véve, ez a szektor még irreleváns, mivel a szél erőművek még ekkora szélsébségnél nem termelnek jelentős energiát. A B2-es négyzet jelöli a legérzékenyebb területet a modell bevalásának szempontjából. Ezen a területen a már látott jelleggörbe a legmeredekebb (17. ábra). Ez a legfontosabb tartomány, mivel a szélenergia hasznosítást tekintve itt van a szélnek energetikailag a legmagasabb értéke. A C3-as rész mikor a modellünk nagy szelet becsült előre, és az is lett a valóságban. A modell alulbecsülte a szélsébséget a diagonális alatti területeken, tehát A2-es, A3-as, valamint B3-as tartományokban. Ekkor a modell alacsony szélsébséget várt, azonban magas következett be, ami durva alulbecslést jelent. A diagonális feletti tartományokban, azaz B1-es, C1-es és C2-es területeken a modell felülbecsült. Itt a prognózis szerint magas szélsébségnek kellett volna jelentkeznie, ám ehelyett alacsony lett, mely durva felülbecslést ad. A szélenergia-hasznosítás szempontjából a legértékesebb tartományok: A2, A3, B2, B3, C2, C3. Összehasonlítva a felül- és alulbecsült területeket itt is, csakúgy, mint az idősordigramnál jól látható, hogy a modell összességében sokkal inkább felülbecsül, mint alul. Az adatpárok közti korreláció 0,5 körül ingadozik. Ez kevésbé szignifikáns, hiszen a tökéletes kapcsolat esetén a korreláció 1 és -1 lenne. A prognózis idejének előrehaladtával arányosan a korreláció meglepő módon csökken az adatpárok közt.

Azaz a 0–12 órás prognózis adatpárjai kisebb mértékben korrelálnak, mint 84–96 órás prognózisé. Mivel egy hónapra vizsgáltam ez nem tekinthető megbízható adatnak, ennek pontosabb elemzése érdekében hosszabb időintervallumot kéne figyelembe venni. Főégtájakat tekintve a szórásdiagramok változóak, hiszen az északi és nyugati szektorban jóval több adat van, mint a keleti és déli szektorban, így a legjobban az előbb említett két szektor (északi és nyugati) adatpárjai közt a legmagasabb (0,5–0,6) a korreláció.

A szórásdiagramokhoz tartozó kontingencia táblázat színezése megegyezik a 17. ábrán közölt szórás diagram színezésével (4. táblázat).

C1 <i>felülbecslés</i> 267adatpár	C2 <i>felülbecslés</i> 207 adatpár	C3 <i>elfogadható prognózis</i> 161 adatpár
B1 <i>felülbecslés</i> 258 adatpár	B2 <i>elfogadható prognózis</i> 176 adatpár	B3 <i>alulbecslés</i> 52 adatpár
A1 <i>elfogadható prognózis</i> 1108 adatpár	A2 <i>alulbecslés</i> 239 adatpár	A3 <i>alulbecslés</i> 52 adatpár

4. táblázat: A szórás diagram egyes tartományainak értelmezése és az adatok számszerűsítése (kontingencia táblázat)

A kontingencia táblázat magába foglalja az előrejelzési és megfigyelési tartományok verifikáció szempontjából lehetséges kombinációit. Használható az előrejelzés ellenőrzésére, az előrejelzés kiértékelésének legtöbbször használt formáit tartalmazza (Nurmi, 2003). Az érzékenységi tartományban, mint látható 176 adatpár van, ezt összevetve az összes ebben a szektorban található adatpárral (2520 adatpár), eredményül kapjuk, hogy a szélsébség 6,9%-a adja a legértékesebb széleenergiát, ám a hasznosítható széleenergia 35,2%-ot tesz ki jelen esetben (A2, A3, B2, B3, C2, C3 adatok összegzése osztva 2520 adatpárral).

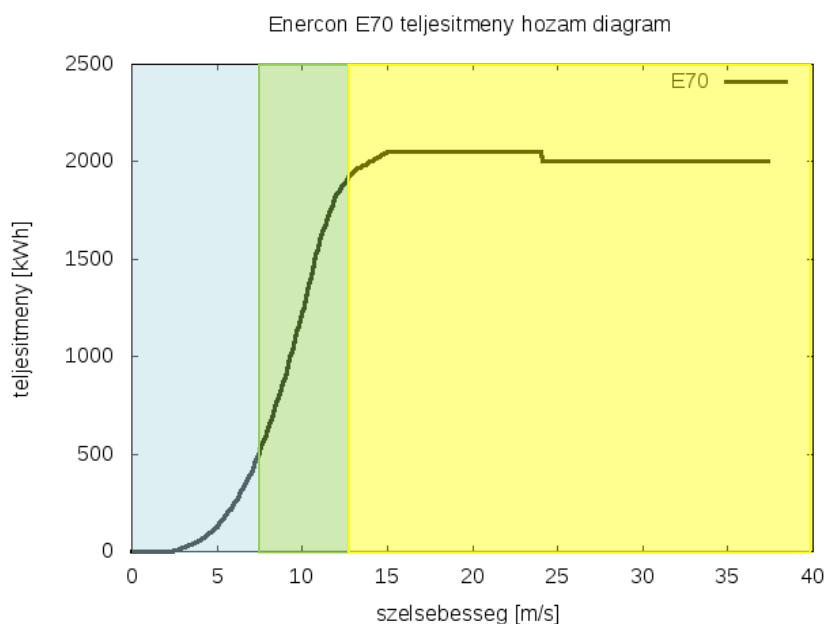
További statisztikákat is nézhetünk, mint például az előrejelzés-megfigyelés adatpárok szélirány szerinti megoszlását (5. táblázat). Itt a 120 méteres szélsébség teljes körre vett (0–360°) 0–12 órás prognózisát vettem alapul a harmadik oszlopban, ahol az összes adatot néztem, a negyedik oszlopnál viszont az égtájakat néztem a B2-es csoport tekintetében teljes idősorra:

	n	Összes %	B2 %
Észak (315–45°)	864	34	6
Kelet (45–135°)	309	12	2
Dél (135–225°)	290	12	3
Nyugat (225–315°)	1057	42	12

5. táblázat: Szélirányok megoszlása, n jelzi az adatpárok darabszámát az adott szektorban, a %-os értékek először az összes adatpárhoz (2520), majd szektorok érzékenységi tartománya (B2) a szektor darabszámhoz hasonlítva

A táblázat alapján megállapítható, hogy az északi és nyugati szektorok a dominánsak, ez igazolja, hogy ezen a területen, Mosonmagyaróvár környékén az uralkodó szélirány az észak-nyugati szélirány. A B2-es szektor %-ban kifejezett értékeinek égtájak szerinti eloszlás rendkívül alacsony, bár ez csak a 0–12 órás prognózis, ám ennek oka az, hogy déli és keleti irányból kevés adat áll a rendelkezésünkre, mert nem ezek a domináns szélirányok.

A szórásdiagramot vizsgálhatjuk szélenergia termelés szempontjából is, mint már említettem a kontingencia táblázat utolsó két oszlopa a meghatározó e szempontból. Az adatokat grafikusán ábrázolva kirajoltattam az ENERCON E70-es szélérőmű adataiból a teljesítmény görbét (17. ábra). A színezése megegyezik a szórásdiagraméval, tehát 7,5 és 12,5 m/s-nál történik színskálaváltás. A görbe alapján elmondható, hogy a bekapcsolási sebesség alatt nincs energiatermelés, ez 2,1 m/s jelent ennél az erőműnél. Ezt követően a szélesebbesség növekedésével arányos nő az energiatermelés is, míg el nem ér egy névleges teljesítményt (körülbelül 15 m/s), amely fölött a szélesebbesség mértéke már irreleváns energiatermelés szempontjából. A középső releváns tartomány előrejelzése azért is nagyon fontos, mert a szélérőművek büntetést fizetnek, ha az energiatermelési előrejelzésük a tényleges energiatermeléstől napi átlagban $\pm 50\%$ -nál nagyobb mértékben eltér.



17. ábra: Enercon E70-es szélérőmű teljesítmény hozam diagramja

A verifikációs eljárás számítástechnikai hátterének bemutatását a Taylor-diagrammal folytatjuk. A diagram három statisztikai mérőszámot dolgoz fel egy ábrában: a korrelációt (R), a négyzetes középben vett eltérés (RMS), továbbá a modellezett vagy előrejelzett normalizált hibát (E'). A diagram egyedüli hibája, hogy a korreláció önmagában nem tájékoztat az alul- vagy felülbecslés értékéről. A referencia, és teszt adatsort 1–1 pont reprezentálja a diagramon. A diagram középpontjától vett sugárirányú (radiális) távolság arányos a megfigyelt/mért szórás által normalizált standard hibával, ezért a referenciapont általában egy pozicionált érték. A referenciaponttól való távolság (koncentrikus körök mentén) méri a RMS középhibát a két mező közt (ennek következményében alakul ki a kapcsolat a három statisztika közt Szépszó és Horányi., (2010)). A diagramot jóllehet alkalmazni különböző modellek összehasonlítására, vagy egy modell teljesítményének (előrejelzéseinek) a nyomon követésére.

A Taylor-diagramhoz szükséges statisztikákat a `hib_stat.sh` script számolja ki. A korreláció (R) két tetszőleges adatsor közti lineáris kapcsolat nagyságát és irányát jelenti. Ahhoz, hogy ezt a lépést meg tudjuk tenni, szükségünk lesz a felhasznált két adatsor egyes statisztikai jellemzőire (szórás, átlag).

A korrelációra vonatkozó képlet:

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})(r_i - \bar{r})}{\sigma_f \sigma_r} \quad , \quad (6.2.4)$$

ahol f_i és r_i a két változó, melynek átlaga $\bar{f}$ és $\bar{r}$, szórásuk pedig σ_f és σ_r . A korrelációs együttható értéke ± 1 közötti. Ha a kapcsolat szorosságát mérő korreláció értéke 1, akkor minden i -re $(f_i - \bar{f}) = \alpha(r_i - \bar{r})$, ahol α pozitív állandó. Ez esetben a két mezőnek ugyanolyan központú a szórási mintázata, azonban nem azonosak, csak ha $\alpha=1$. A statisztikában a leggyakrabban használt két mező különbségére az RMSE. Jelen esetben $RMSE = E$, mely f és r mezők által definiált,

$$E = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - r_n)^2 \right]^{1/2}. \quad (6.2.5)$$

A képlet általánosítható arra ez esetre, ha a rácsponti adatokat (cellákat) egyenlőtlenül súlyozzuk. Annak érdekében, hogy elemezzük a két mintasor (mért és előrejelzett adatok) közti különbséget, tekintsük a két mező átlagának különbségét ($\bar{E}$):

$$\bar{E} = \bar{f} - \bar{r}. \quad (6.2.6)$$

Vezessük be a két átlagértéktől vett eltérés különbségeit jellemző E' hibatagot a következőképpen:

$$E' = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left[(f_n - \bar{f}) - (r_n - \bar{r}) \right]^2 \right]^{1/2}. \quad (6.2.7)$$

A (6.2.5) – (6.2.7) egyenletek összevetéséből adódik, hogy

$$E^2 = \bar{E}^2 + E'^2. \quad (6.2.8)$$

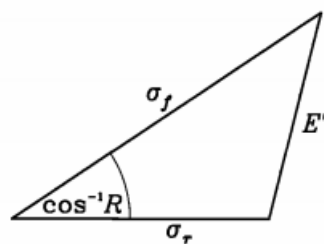
Vagyis az RMS hibát felbontottuk az átlagérték és a fluktuációk eltéréséből származó hibatag négyzetösszegére. A bemutatott statisztikai eljárás alkalmas a minták összehasonlítására, megjeleníthető egyetlen könnyen értelmezhető diagramban. A legfontosabb, hogy felismerjük a kapcsolatot a 4 statisztikai adat közt, hiszen:

$$E'^2 = \sigma_f^2 + \sigma_r^2 - 2\sigma_f\sigma_r R, \quad (6.2.9)$$

és a koszinusz tétel alapján,

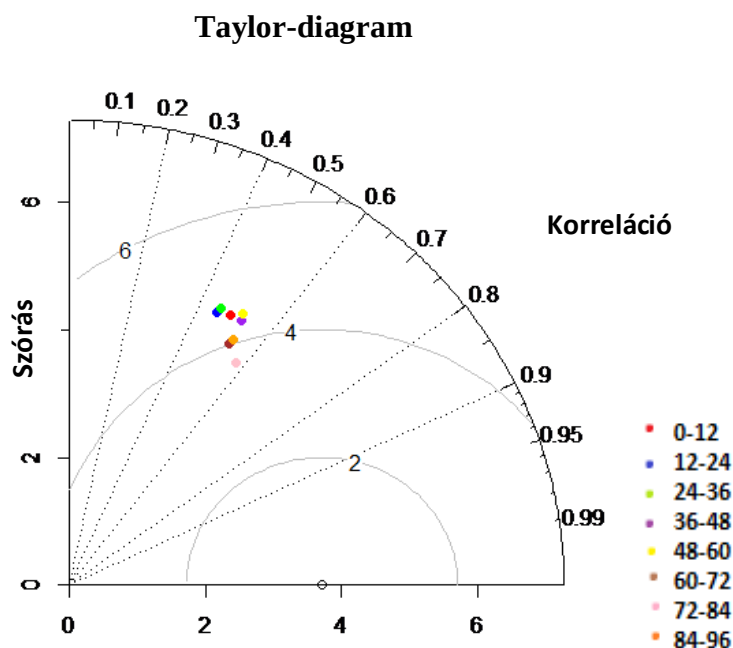
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \phi. \quad (6.2.10)$$

ahol a , b és c egy háromszög oldalai és φ a c oldallal szemközi szög (18. ábra).



18. ábra: Geometria kapcsolat R , E' , σ_f és σ_r között (Taylor, 2001)

A fenti definíciók megadása után most már lehetséges egy diagram megrajzolása, mely két adatmező közt statisztikailag számszerűsíti a hasonlóságot. Az egyik mező lesz az úgynevezett referencia mező, mely általában néhány megfigyelt állapotot jellemez. A többi mezőt teszt mezőnek nevezzük, tipikusan modelleredmények. Jelen esetben a 0–12, 12–24, 24–36, 36–48, 48–60, 60–72, 72–84, 84–96 órás előrejelzéseket mutatja. A cél, hogy számszerűsítsuk a teszt illetve a referencia mező közti hasonlóságot. A 19. ábra mutatja a Taylor-diagramot, melyet R programozási nyelv segítségével készítettem a megadott előrejelzési és mérési adatokból. Itt a betáplált adatokból a program automatikusan gyártott Taylor-diagramot.



19. ábra: Taylor-diagram, mely 8 színes pontot mutat prognózisok alapján, és egy referencia pontot az x tengelyen

Kilenc pont van ábrázolva a polár-diagramon, a körök képviselik a referencia mezőt, a keresztvonalak pedig a teszt mezőt. A pontok színe és jelentés a következőképpen alakul: piros a 12 óránál nem régebbi előrejelzés, kék a 24 óránál nem régebbi előrejelzés, zöld a 36, lila a 48, sárga a 60, barna a 72, rózsaszín a 84, és narancssárga a 96 óránál nem régebbi előrejelzés. A pontok radiális távolsága arányos a szórásukkal, és az azimutális pozíciók adják a referencia és a modell terület közti korreláció értékét. A sugárirányú vonalak az abszcisszához képest koszinusz szögben vannak ábrázolva, összhangban a 18. ábrával. A szaggatott vonalak mutatják a referencia ponttól való távolságot.

Egy pont képviseli a referencia mezőt, ami az abszcisszán található. Ebben a helyzetben a referencia mező szórása körülbelül 3,8 m/s. A modelleredményeké pedig 4,5 m/s körül mozog. A korrelációs együttható a referencia és a teszt terület közt 0,4 és 0,6 közt ingadozik, az RMS hiba 3,8 m/s-től 5 m/s-ig terjed.

A WRF modellel készített szélelőrejelzések ellenőrzését Szépszó és Horányi (2010) szerint készítettem, kiegészítve a kontingencia táblázatokkal, illetve a programfejlesztés leírásával. A cikkünkben szereplő ALADIN-DADA modellt (Žagar and Rakovec, 1999) 00, 06, 12, és 18 órakor futatták 54, 48, 48, 36 órára. A DADA áramlástanai modell az ALADIN leskálázását végzi. A cél a lokális szélmező minél pontosabb leírása. Az előrejelzés verifikálására 7 hónapos adatsort vettek, míg én 1 hónapot, viszont én 96 órás előrejelzésig vizsgáltam az adatokat 12 órás időlépcsőben. A cikk 3 órás időlépcsőt vett alapul. A cikkben 80 méteres magasságban elemezték az adatokat, míg a diplomamunkámban 120 méteren végeztem statisztikai vizsgálatokat. A modelleredmények, csakúgy mint a WRF modellnél, felülbecsülték az átlagos szélesebességet. Ez az érték a 7 hónapos vizsgálati periódusban 0,1 m/s volt (Szépszó és Horányi, 2010), míg a mi esetünkben ennél nagyobb 0,7 m/s-os érték adódott (a teljes szektorra, minden időszakra, 3. táblázat). Amíg nálunk a mért és megfigyelt adatsorok közti korreláció 0,4 és 0,6 között ingadozott, addig náluk 0,6 és 0,8 közé tehető (az ALADIN modell jobban teljesített.) A vizsgálati eredmények hasonló nagyságrendűek, de az eltérő adathosszúság és az eltérő időszak miatt mélyebb elemzésre nem adnak lehetőséget.

A kutatási munkám összegzéseként megállapítom, hogy a szélenergia előrejelzés adatai a vizsgált időszakokban, tartományokban jól korrelálnak a mért adatokkal időlépcsőktől függetlenül. Jelentős hiba csak néhány esetben lép fel, mikor egy adott időpontban felülbecsli a modell a megfigyelt értéket, vagy időeltolódás van a két adatsor között. Szélenergia termelést vizsgálva elmondható, hogy 2011 áprilisában 32–40%-os energiahozamot regisztrálhattunk.

Összefoglalás

A diplomamunkában a szélturbinák termelési előrejelzéshez szükséges – az ELTE Meteorológiai Tanszékén készülő – szélsébség előrejelzések automatikus feldolgozásával kapcsolatos programfejlesztés eredményeit, illetve a naponta kétszer (00 UTC és 12 UTC) futtatott 96 órás szélsébség előrejelzések 2011 áprilisára történő verifikációjával foglalkoztam.

A szélenergia hasznosítás rövid történeti áttekintése után a magyarországi szélklíma alapvető sajátosságait mutattam be, majd a szélerőművek működésének elméleti hátterét, illetve a telepítésük és tervezésük előtt fontosnak ítélt táj- és környezetvédelmi szempontokat ismertettem.

Röviden ismertettem a szélelőrejelzés alapjául szolgáló WRF modellt. A 120 méteres szintre készített előrejelzéseket egy Mosonmagyaróvár térségében működő ENERCON-70 szélgenerátor 10 perces szélsébség adatsoraival vettem össze. Külön-külön elemeztem 12 órás szakaszokban az előrejelzések (0–12, ..., 84–96 órás) beválását. Bemutattam az általam írt adatrendező és feldolgozó programokat, az automatikusan megrajzolásra kerülő diagramokat és a verifikációs mérőszámok előállítását. A 12 órás előrejelzések (8 időszak) jószágát Taylor-diagramon szemléltettem. Az előrejelzéseket szélirányonként is elemeztem.

A 2011. áprilisi szélelőrejelzések vizsgálata szerint:

- A szélenergia előrejelzés adatai jól korrelálnak a mért adatokkal időlépcsőktől függetlenül.
- Jelentős hiba csak néhány esetben lép fel. Ilyenkor általában a modell felülbecsli a megfigyelt értéket, vagy időeltolódás van a két adatsor szerkezete között.
- Szélirányokat tekintve az észak-nyugati szélirányok a dominánsak.

Az általam készített idősor- és szórásdiagram, valamint a Taylor-diagram szemléletes képet adott a mért és előrejelzett szélsébség idősorok viselkedéséről. Szélenergia termelést vizsgálva elmondható, hogy 2011 áprilisában 32–40%-os energiahozamot regisztrálhattunk.

Dolgozatomban a 2011. áprilisi eredményeket mutattam be. A programokat úgy írtam meg, hogy a paraméterek változtatásával bármely hónapra könnyen lefuttatható legyen. Terveim között szerepel a rendelkezésre álló közel két éves időszak (mért és előrejelzett szélsébségi adatok) együttes feldolgozása.

Irodalomjegyzék

- Balogh A., 2009: Szélérőmű parkok létesítésének és üzemeltetésének tapasztalatai. MTA Energetikai Bizottság, „Ősz-i szeles ülés”*
(http://www.reak.bme.hu/MTAEB/files/BaloghAntal_H1_prezentacio_20091019_MTAEB_BME_D224.pdf)
- Bartholy J., Radics K., 2000: A szélenergia hasznosítás lehetőségei a Kárpát-medencében.*
Egyetemi Meteorológiai Füzetek 14, ELTE Meteorológiai Tanszék, 7–15oldal
- Bartholy J. és Radics K., 2004: A domborzat és az érdesség áramlásmódosító hatásának szélenergetikai szempontú elemzése. Hundem, CD ROM, 5p.*
- Bárány, I., Vörös, E. and Wagner, R., 1970: The influence of the wind conditions of the Hungarian Alföld on the geographical distribution of mills. Acta Climatologica, Tom. IX. fasc. 1–4, 73–81.*
- Bíróné Kircsi A., 2006: Idén megduplázódik a hazai szélérőművi kapacitás. Magyar Szélenergia Társaság.*
(<http://zoldtech.hu/cikkek/20060920szeleromuvek/?idorend=novekvo>)
- Bíróné Kircsi A., Tóth P. és Bulla M., 2009: A szélenergia-hasznosítás legújabb magyarországi eredményei. Környezet és Energia Konferencia Debrecen, 2009. május 8–9, Környezettudatos energiatermelés – és felhasználás. Tanulmánykötet (Szerkesztette: Orosz Z., Szabó V. és Fazekas I.) 129-134 oldal.*
- Csima, G., 2003: A numerikus előrejelzés során alkalmazott utófeldolgozási és verifikációs eljárások. 29. Meteorológiai Tudományos Napok, 2003. november 20–21. 86–96.*
- De Decker, K., 2009: Wind powered factories: history (and future) of industrial windmills. Low-tech Magazine. <http://www.lowtechmagazine.com/2009/10/history-of-industrial-windmills.html>*
- Emeis, S., 2013: Wind Energy Meteorology. Atmospheric Physics for Wind Power Generation. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 193 pp.*
- EWEA, 2011: The European Wind Energy Association, Wind energy and EU climate policy. Achieving 30% lower emissions by 2020. A report by the European Wind Energy Association - October 2011. 40 pp.*

- EWEA, 2013: The European Wind Energy Association, Wind in power, 2012 European Statistics – February 2013, 14 pp.
- Filep A. 1981b: Szélmalom. In Ortutay Gyula (szerk.) Magyar Néprajzi Lexikon IV. Bp., Akadémia Kiadó. 631–634 oldal.
- GWEC, 2013: Global Wind Report, Annual Market Update 2012.
(<http://www.gwec.net/gwec-global-wind-report-annual-market-update-released-today>)
- Gyöngyösi, A. Z., Weidinger, T., Kiss, Á., Bánfalvi, K., 2011: A szélenergia előrejelzés lehetősége numerikus időjárás előrejelző modellek segítségével. Környezet és Energia Konferencia Debrecen, 2011. november 25–26, Környezettudatos energiatermelés és –felhasználás, Debrecen. Tanulmánykötet (Szerkesztette: Szabó V. és Fazekas I.) 167-174. oldal.
- Hills, R.L., 1994: Power from Wind. Cambridge University Press, 311 pp.
- Kajogbola, R.A. and Mahamood, M.R., 2009: Wind Energy Conversion System: The Past, The Present And The Prospect. Journal of American Science. 5(6), 17–22.
- Keveiné Bárány I. 1991: A szélenergia hasznosítás éghajlati adottságai az Alföldön. Földrajzi Értesítő, XL., 3–4., 55–69.
- Láng, I., 2002: Környezetvédelmi lexikon, Akadémia Kiadó, 1010 oldal.
- Mészáros, A., 2011: The Energy Dependence of Central Europe – the Other Side of the Resource Curse. (<http://futurechallenges.org/local/the-energy-dependence-of-central-europe-%E2%80%93-the-other-side-of-the-resource-curse/>).
- Nurmi, P. 2003: Recommendations on the verification of local weather forecasts. ECMWF Technical Memoranda 430, 18 pp.
(<http://www.ecmwf.int/publications/library/ecpublications/pdf/tm430.pdf>)
- Péczely Gy., 2002: Éghajlat. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 263–265. oldal.
- Schrempf N., 2007: Energetikai célú szélmérőrendszer kialakítása, Szent István Egyetem, Gödöllő PhD értekezés, 159 oldal.
(http://szie.hu/file/tti/archivum/Schrempf_Norbert_ertekezes.pdf)

- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W. and Powers, J.G., 2005: A description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR/TN-468 + STR NCAR Technical Note, 88 pp.*
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X-Y. Wang, W. and Powers, J.G., 2008: A description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR/TN-475 + STR NCAR Technical Note, 113 pp.*
- Szalai S., Gács I., Tar K., Tóth P., 2010: A szélenergia helyzete Magyarországon. Magyar Tudomány. 2010/8. szám. (<http://www.matud.iif.hu/2010/08/06.htm>)*
- Szépszó, G. and Horányi, A., 2010: Validation of the dynamically adapted high-resolution wind forecasts for the wind power stations in Hungary. Időjárás 114, 1–2, 57–77.*
- Tamás, A., 2009: Megújuló energiák hasznosítása, SZTE, Általános és Környezetfizikai tanszék. 21–36. oldal.*
- Tar K. Radics K., Bartholy J. és Wantuchné Dobi I., 2005: A szél energiája Magyarországon. Magyar Tudomány, 2005/7. (<http://www.matud.iif.hu/2005-07.pdf>)*
- Taylor, K.E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. J. Geophys Res. 106, D7, 7183–7192.*
- Touma, J.S., 1977: Dependence of the Wind Profile Power Law on Stability for Various Locations. Journal of the Air Pollution Control Association 27(9), 863–866.*
- Tóth G., 2005: Energia célú szélméreés, Doktori értekezés, SZIE-MTDI, Gödöllő. 15-33. oldal*
- Tóth P., 2007: Szélerőművek zajemissziója. Előadás a Széchenyi István Egyetem Környezettudományi Konferenciáján, 2007. november. 9.*
- Tóth P., Bulla M. és Nagy G., 2011a: Energetika: A szélenergia hasznosítása. Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet. Digitális Tankönyvtár. (http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Energetika/ch04s03.html)*
- Tóth P. és Bíróné Kircsi A., 2011b: A szélenergia hasznosítás 2011 évi legújabb eredményei. Előadás a Magyar Meteorológiai Társaságban. (http://www.mettars.hu/wp-content/uploads/2012/04/Eloadas120418_Kircsi.pdf)*
- Wantuchné Dobi I., Varga B., Tar K., Tóth L., Gergen I., és Csenterics D., 2005: Beszámoló a szél és napenergia projekt tevékenységéről. EUREGA-RES konferencia, Debrecen 2005. November 28.*

Žagar, M., and Rakovec, J., 1999: Small-scale surface wind prediction using dynamic adaptation. Tellus 51A, 489-504.

Internetes hivatkozások:

<http://www.enercon.de/en-en/61.htm>

<http://www.innowatt.hu/innowatt/szelenergia> 2009. Innowatt Épületgépészeti Tervező és Szerelő Kft.

http://www.kormany.hu/download/2/88/20000/NCsT_20110106_v%C3%A9gleges_201103.pdf. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, MAGYARORSZÁG MEGÚJULÓ ENERGIA HASZNOSÍTÁSI CSELEKVÉSI TERVE: A 2020-ig terjedő megújuló energiahordozó felhasználás alakulásáról. 2010. december

http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/

http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/images/abra1.png

Köszönetnyilvánítás

Hálával tartozom Gyöngyösi András Zénónak a kutatómunkám során nyújtott segítségért. Sorozatos nehézségek során tanúsított segítőkészsége nélkül ez a dolgozat nem születhetett volna meg.

Köszönetemet szeretném kifejezni Dr. Weidinger Tamásnak a munkám segítéséért és hasznos tanácsaiért.

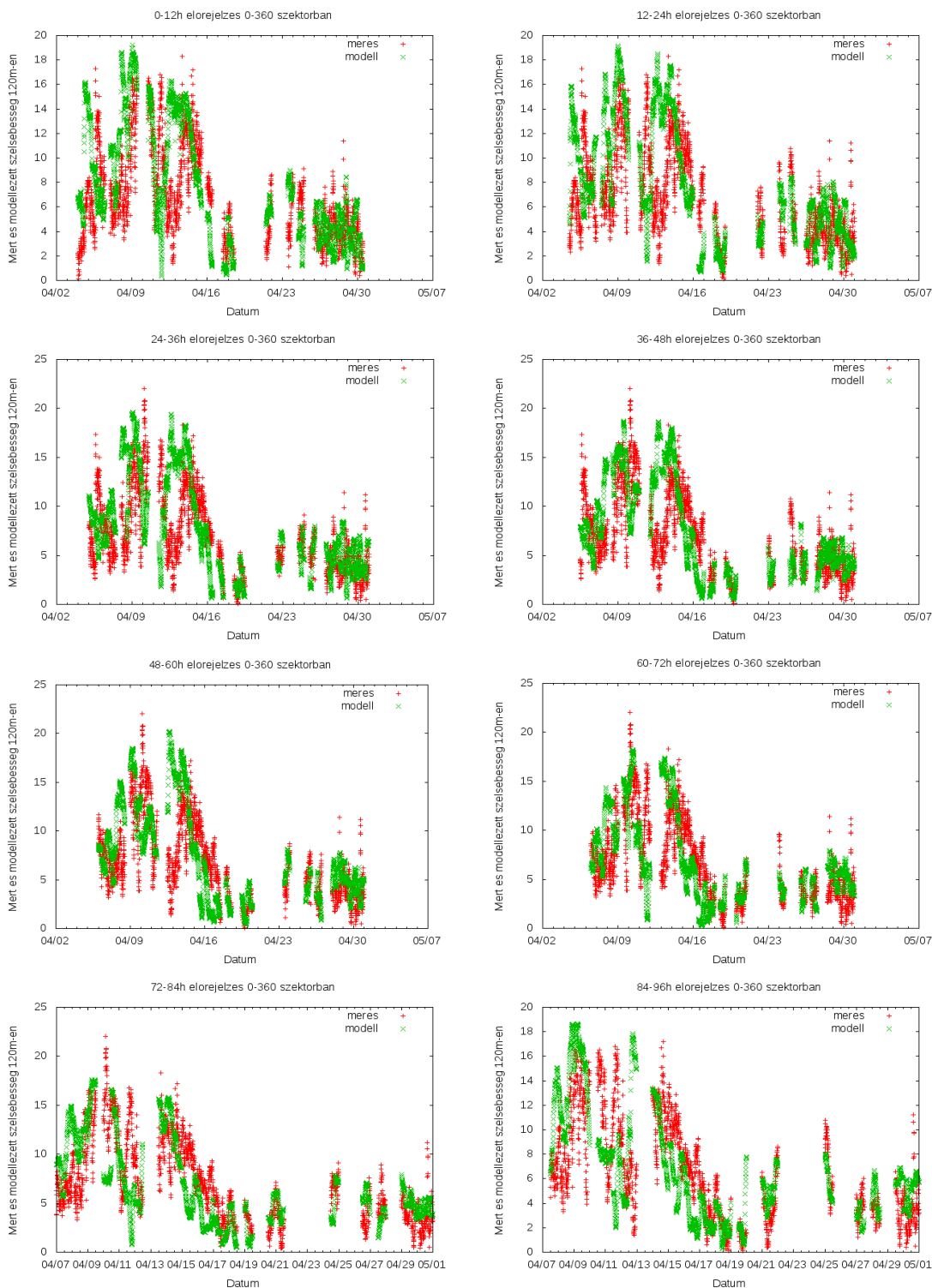
A dolgozat elkészítéséhez felhasznált adatokért köszönetemet fejezem ki Bánfalvi Károlynak a Netpoint Bt tulajdonosának, aki a mosonmagyaróvári szélerőmű mérési adatait a rendelkezésemre bocsátotta.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm családom, párom és barátaim támogatását, türelmét és lelkesítését.

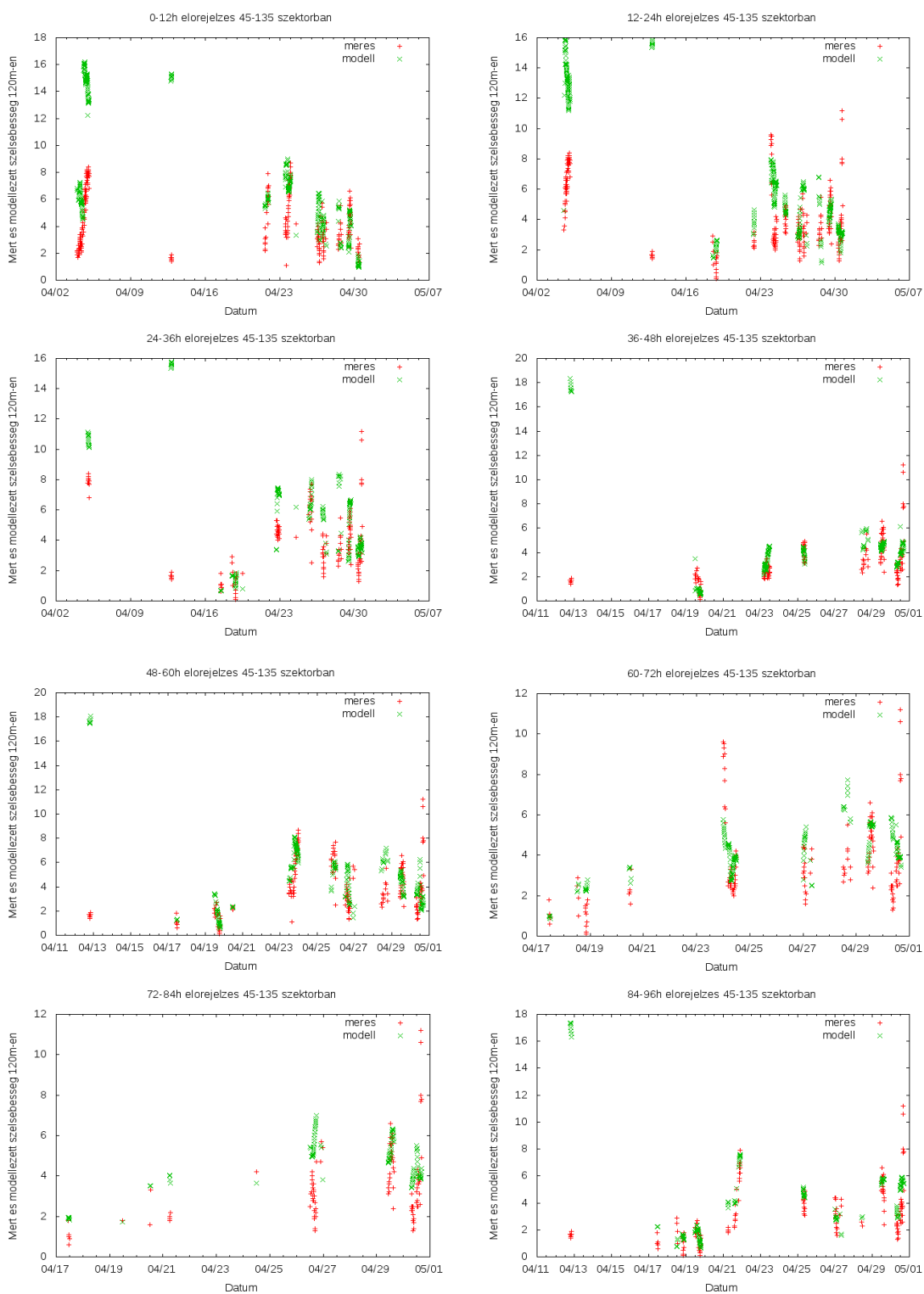
Függelék

F.1. Idősordigrammok

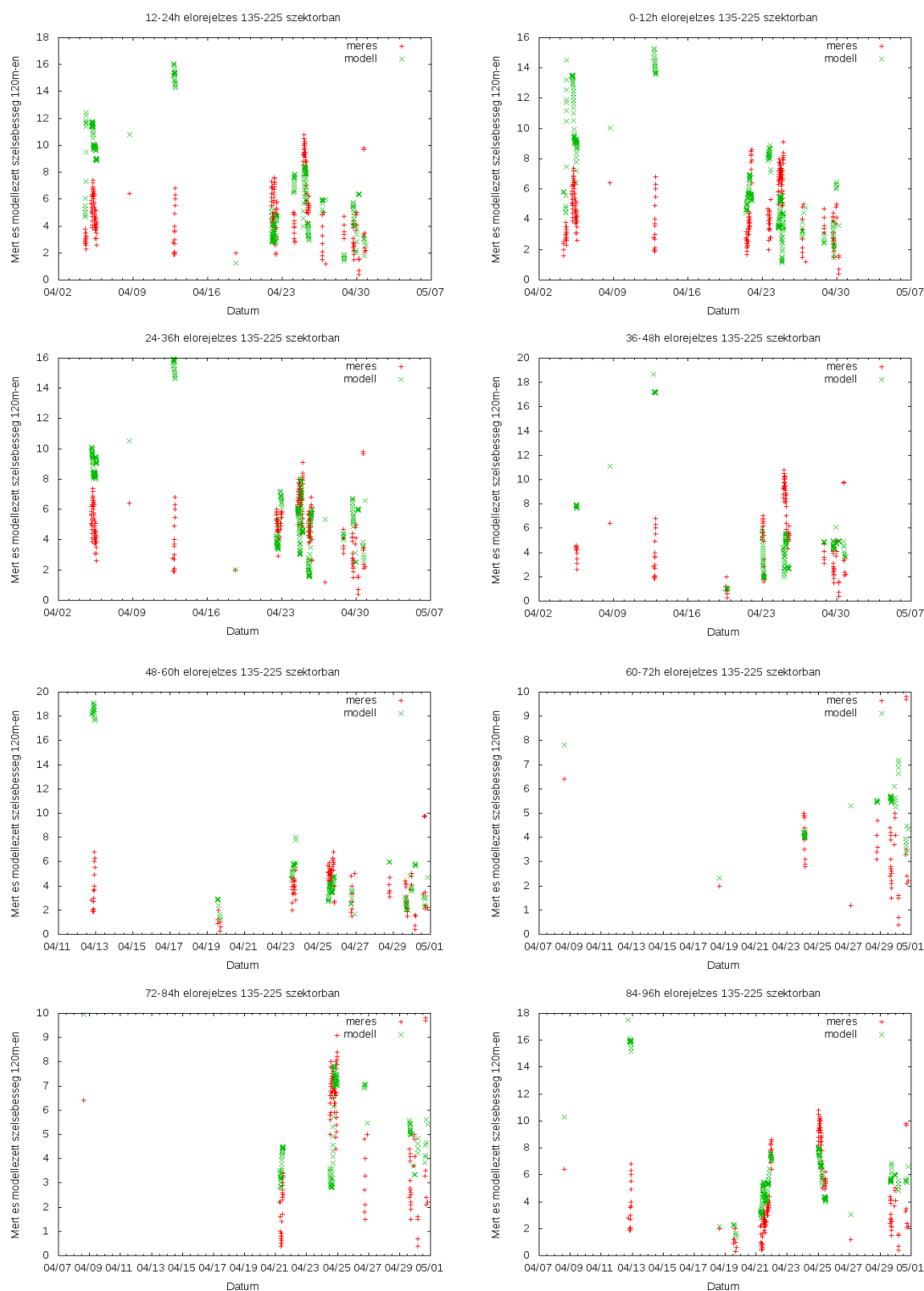
A mért és előrejelzett szélsősebességi adatok idősordigramma 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) az összes adat alapján (0–360°) (2011 április)



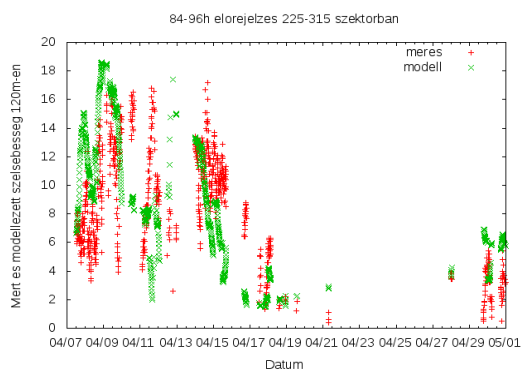
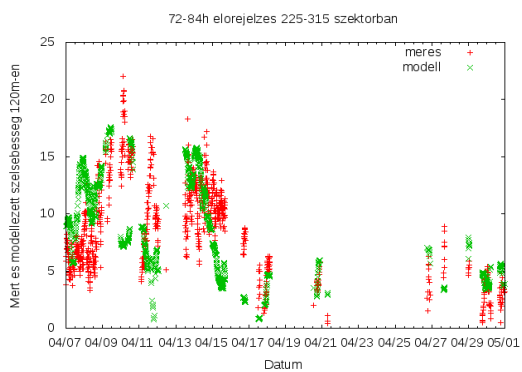
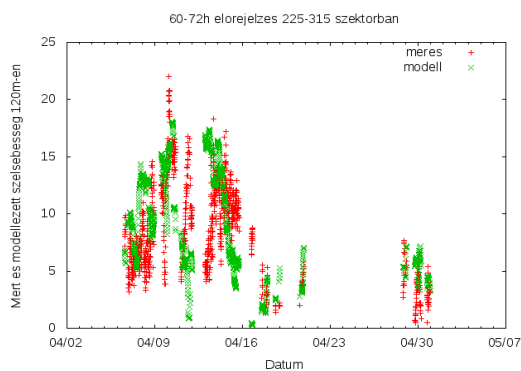
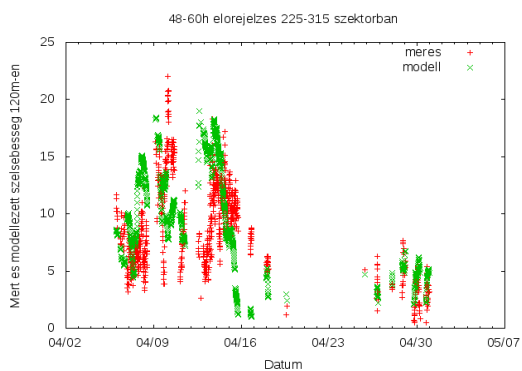
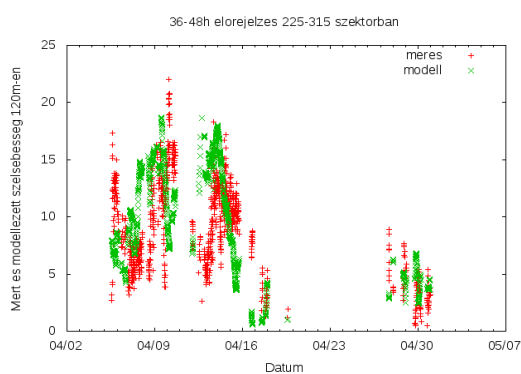
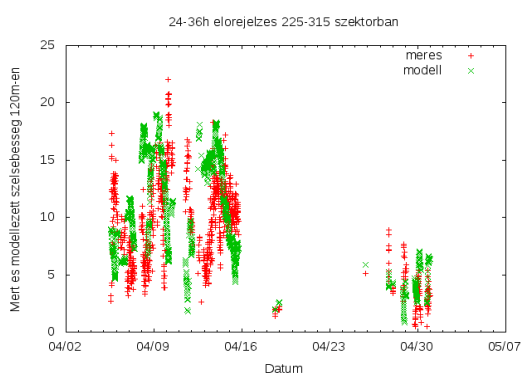
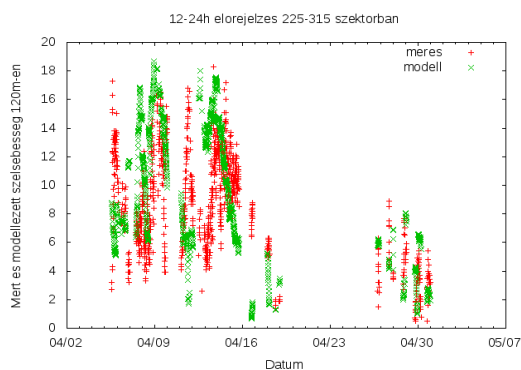
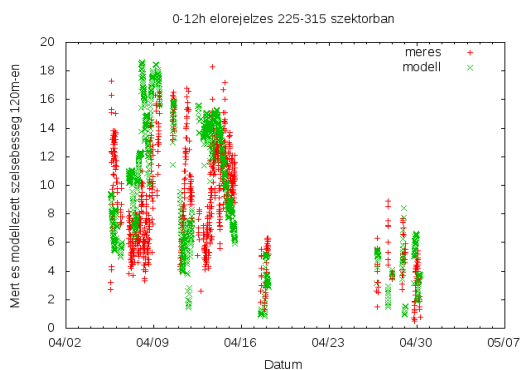
A mért és előrejelzett szélsősségi adatok időszordigramja 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a keleti szektorra (45–135°)



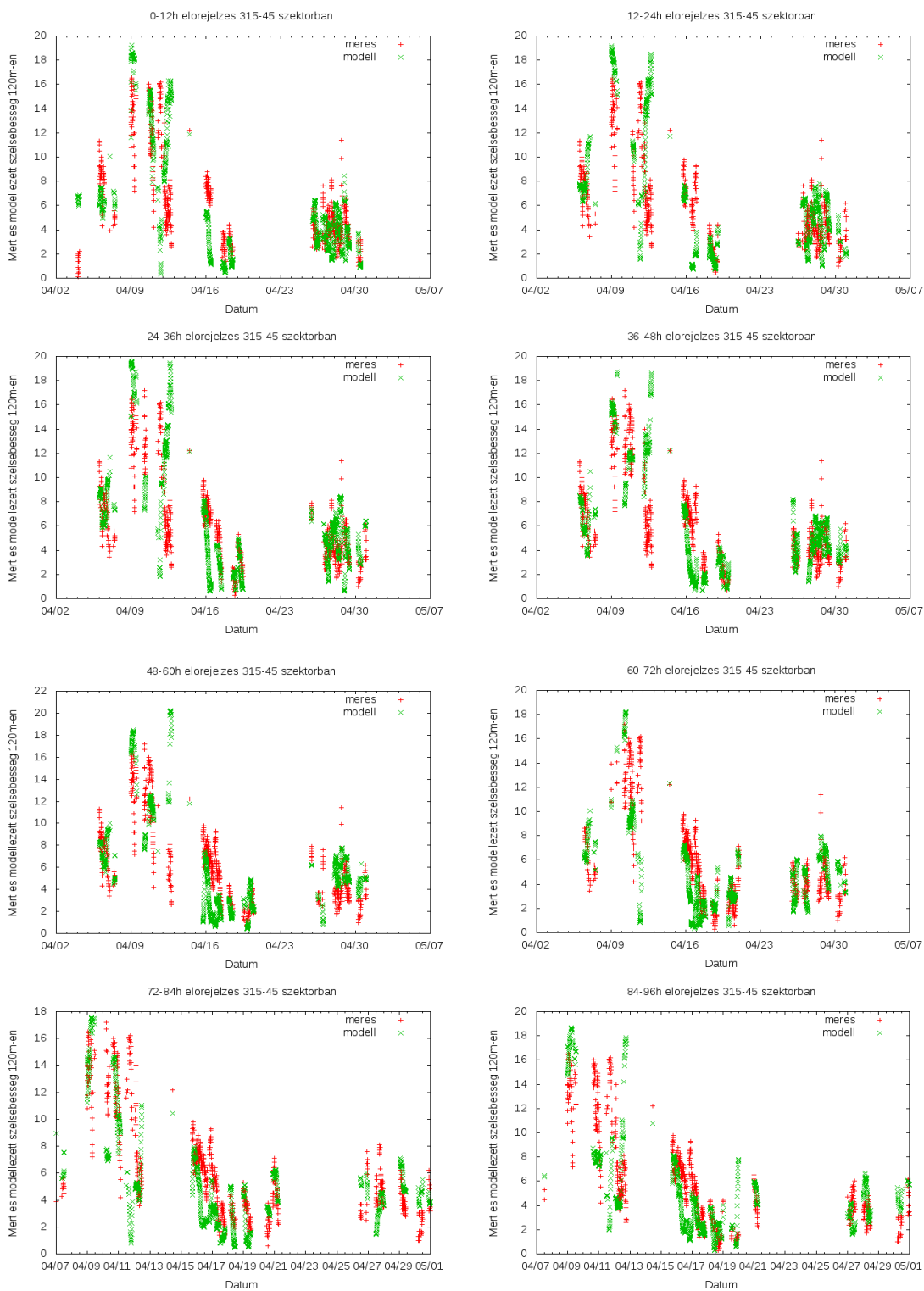
A mért és előrejelzett szélsősségi adatok időszordigramja 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a déli szektorra (135–225°)



A mért és előrejelzett szélsősségi adatok időszordigramja 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a nyugati szektorra (225–315°)

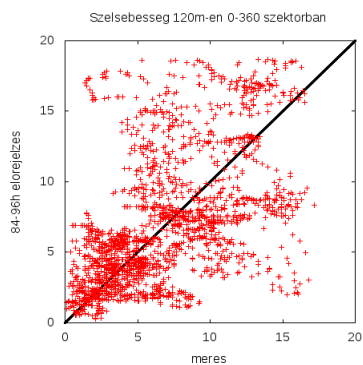
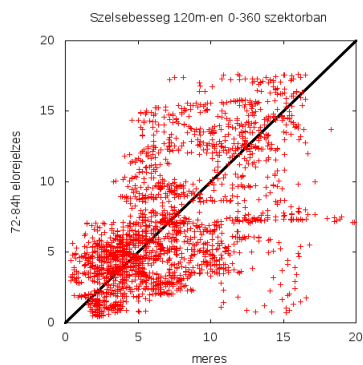
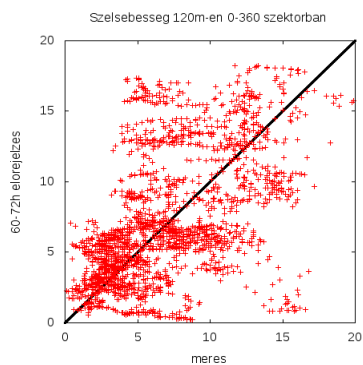
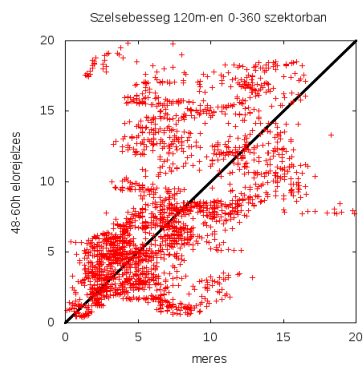
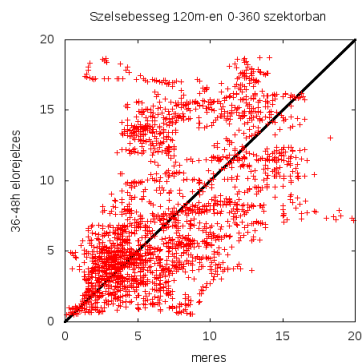
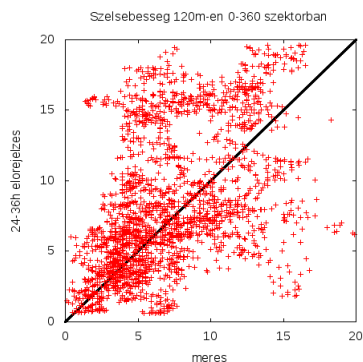
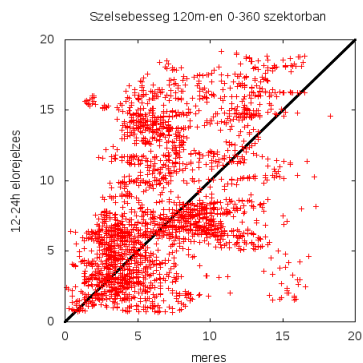
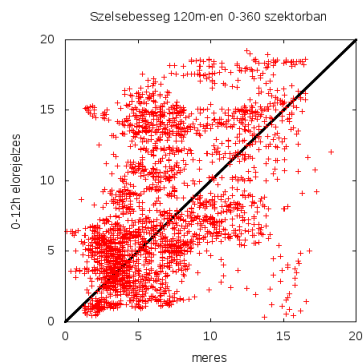


A mért és előrejelzett szélességi adatok időszordigramja 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a északi szektorra (315–45°)

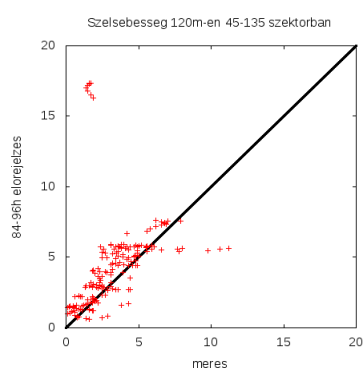
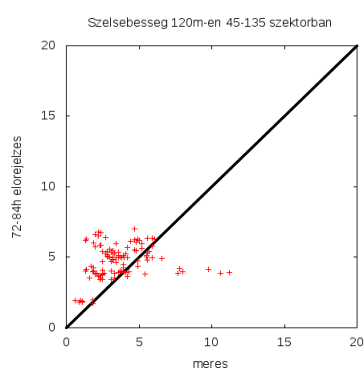
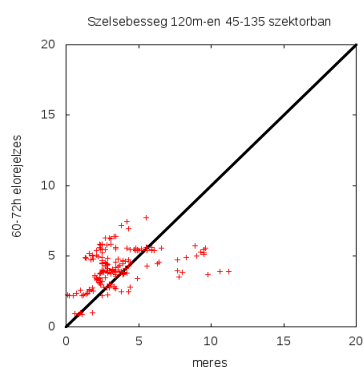
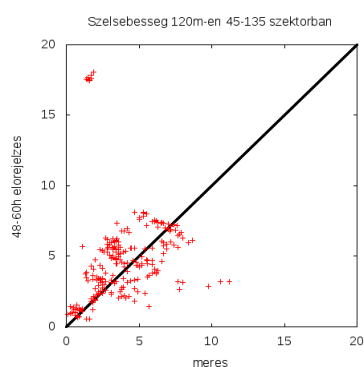
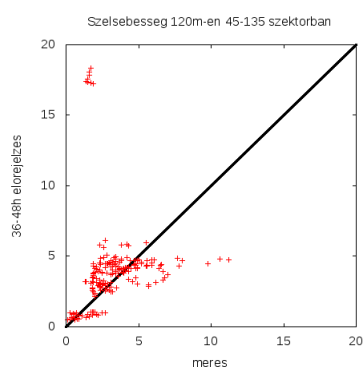
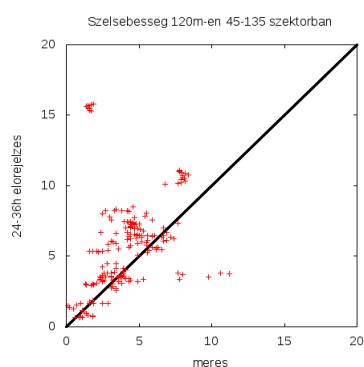
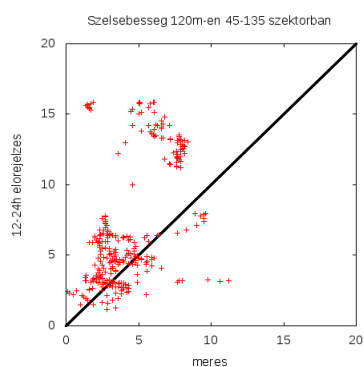
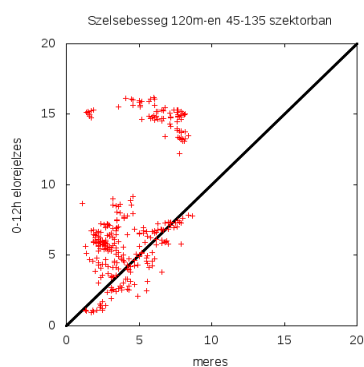


F.2. Szórásdiagramok

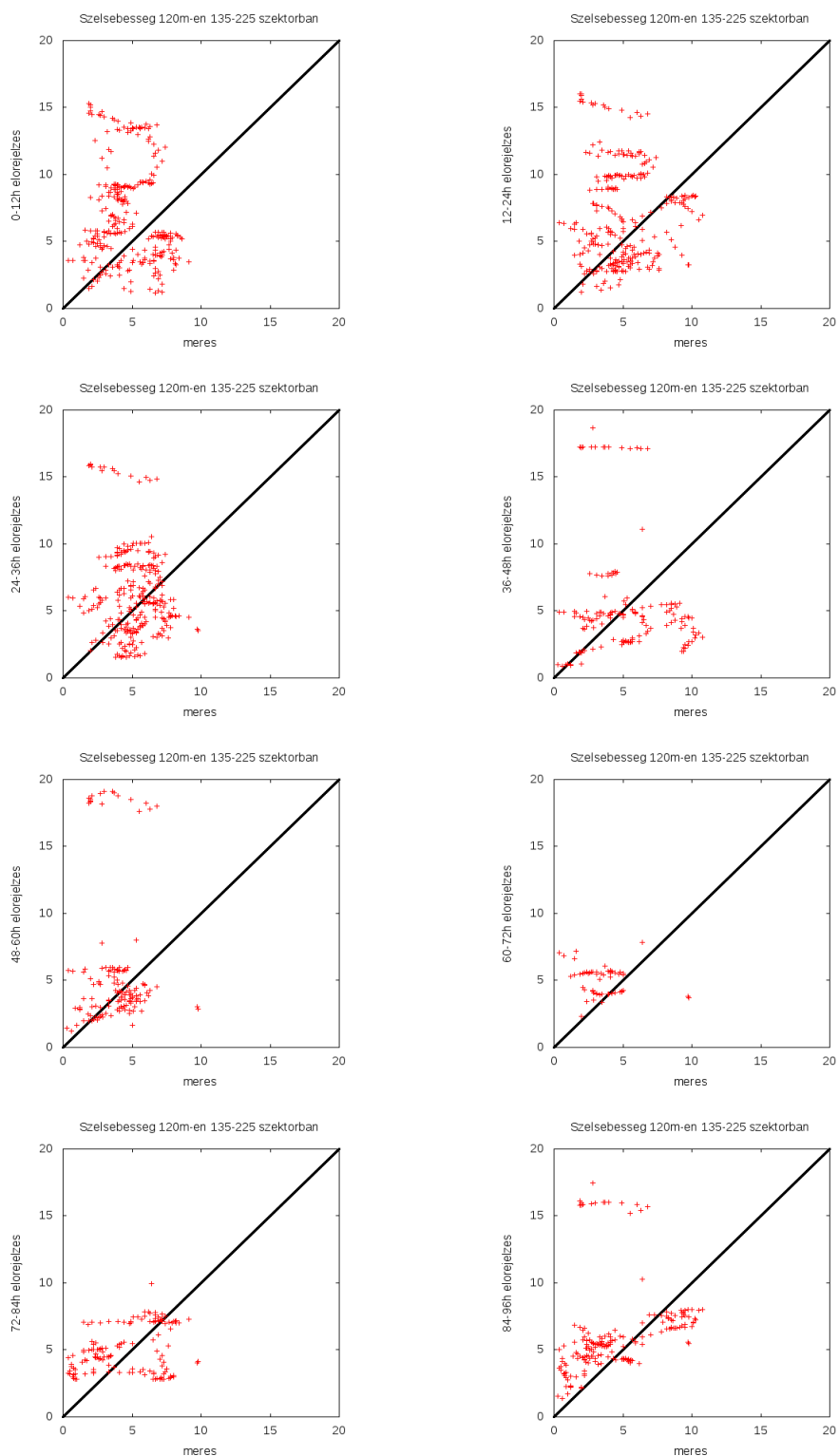
A mért és előrejelzett szélsősebességi adatok szórásdiagramja 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) az összes adat alapján (0–360°) (2011 április)



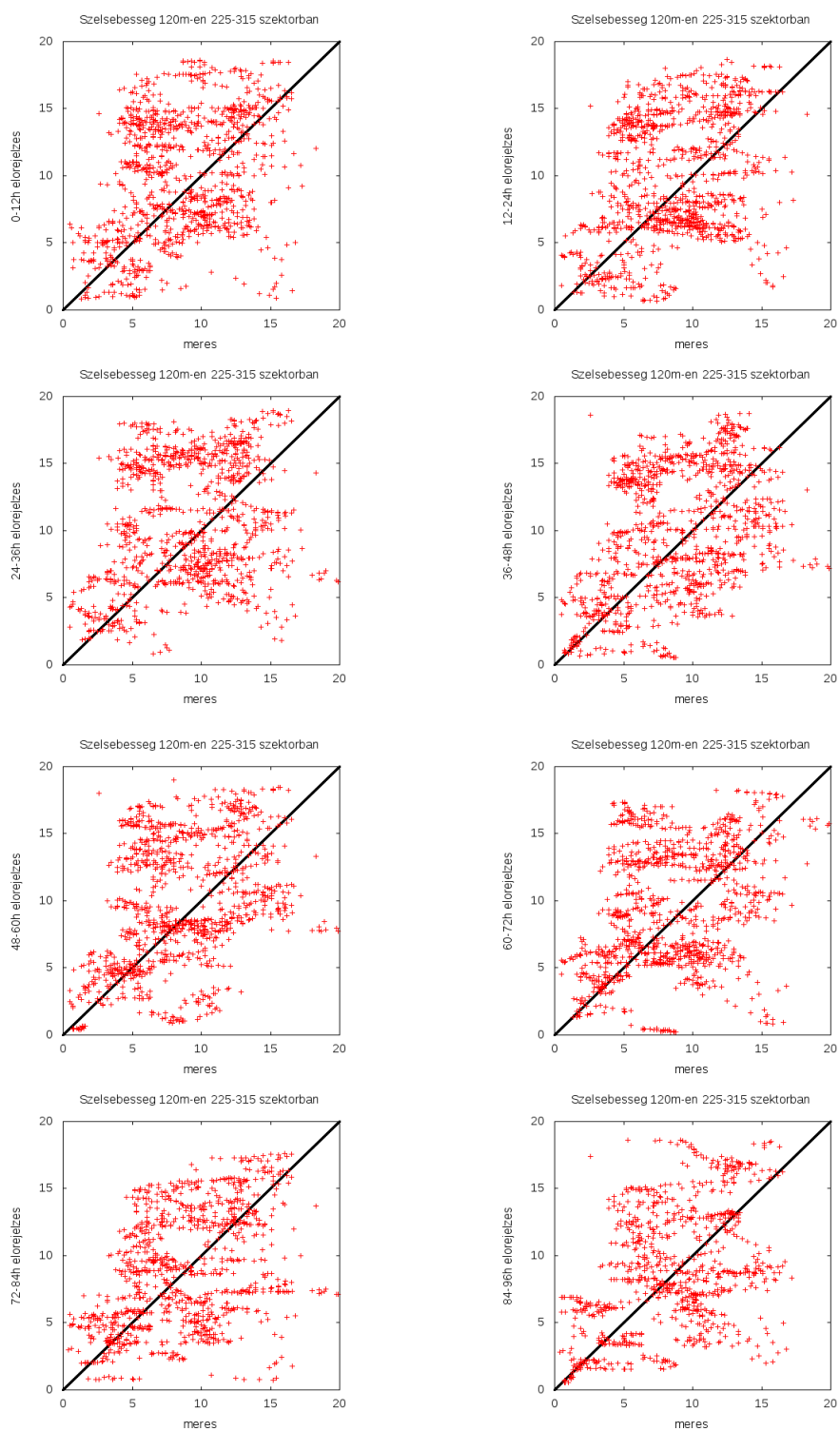
A mért és előrejelzett szélsősségi adatok szórásdiagramja 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a keleti szektorra (45–135°)



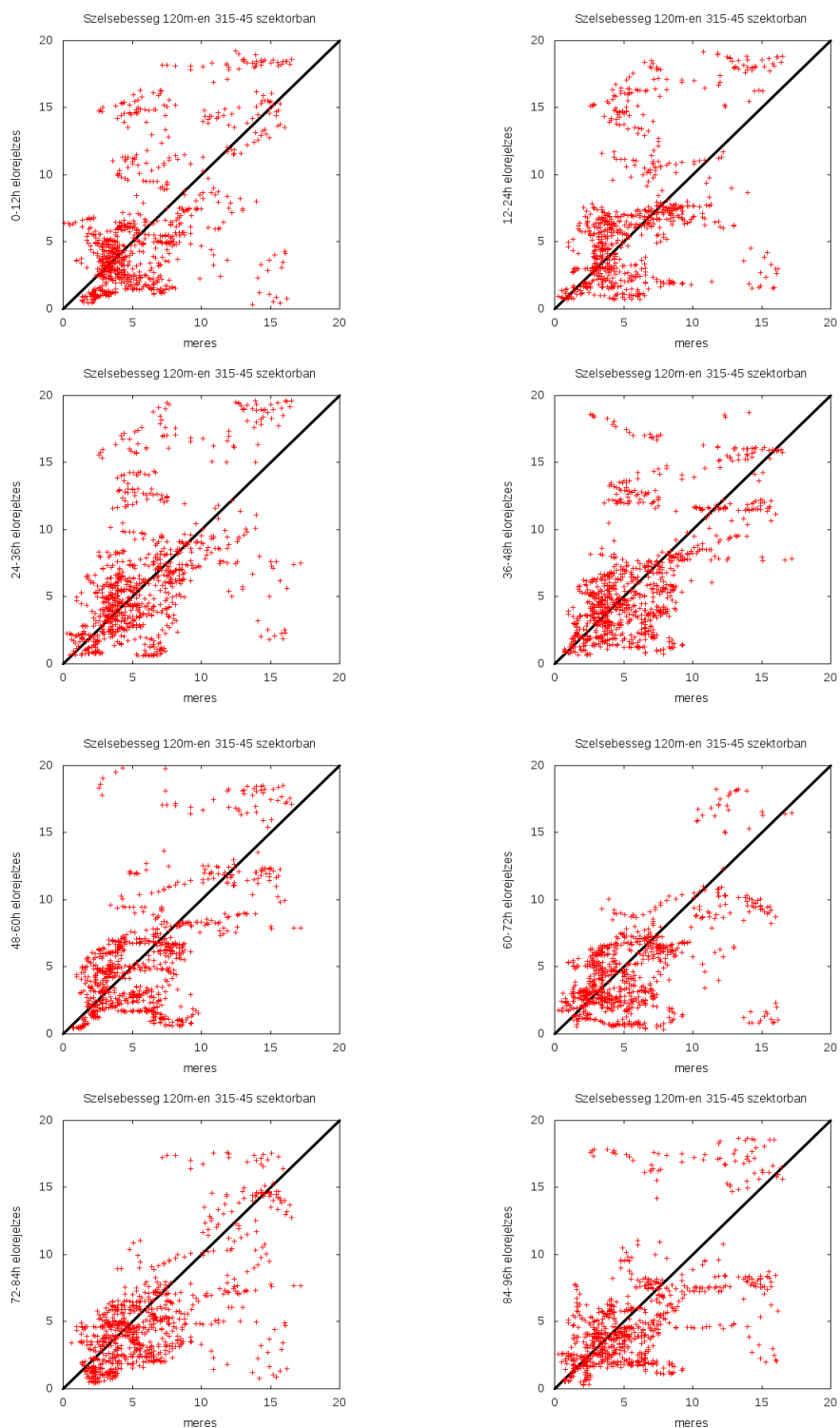
A mért és előrejelzett szélességi adatok szórásdiagramja 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a déli szektorra (135–225°)



A mért és előrejelzett szélességi adatok szórásdiagramja 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakokra (0–12, ..., 84–96 óra) a nyugati szektorra (225–315°)



A mért és előrejelzett szélességi adatok szórásdiagramja 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a északi szektorra (315–45°)



F.3. Kontingencia táblázatok

A mért és előrejelzett szélsősebességi adatok kontingencia táblázata 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) az összes adat alapján (0–360°) (2011 április)

0-12		
C1=267	C2=207	C3=161
B1=258	B2=176	B3=52
A1=1108	A2=239	A3=52
Összesen		2520

12-24		
C1=287	C2=191	C3=133
B1=224	B2=241	B3=53
A1=1046	A2=287	A3=58
Összesen		2520

24-36		
C1=231	C2=200	C3=136
B1=246	B2=207	B3=91
A1=1026	A2=233	A3=78
Összesen		2448

36-48		
C1=223	C2=176	C3=134
B1=147	B2=209	B3=153
A1=1051	A2=252	A3=31
Összesen		2376

48-60		
C1=196	C2=155	C3=125
B1=166	B2=233	B3=152
A1=1069	A2=207	A3=1
Összesen		2304

60-72		
C1=143	C2=155	C3=120
B1=132	B2=128	B3=105
A1=1105	A2=296	A3=48
Összesen		2232

72-84		
C1=51	C2=145	C3=138
B1=174	B2=128	B3=78
A1=1073	A2=288	A3=85
Összesen		2160

84-96		
C1=100	C2=123	C3=106
B1=167	B2=164	B3=99
A1=1024	A2=265	A3=40
Összesen		2088

A mért és előrejelzett szélsőbességi adatok kontingencia táblázata 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a keleti szektorra (45–135°)

0-12		
C1=48	C2=30	C3=0
B1=16	B2=4	B3=0
A1=205	A2=6	A3=0
Összesen		309

12-24		
C1=43	C2=17	C3=0
B1=8	B2=19	B3=0
A1=214	A2=9	A3=0
Összesen		310

24-36		
C1=8	C2=0	C3=0
B1=14	B2=13	B3=0
A1=148	A2=6	A3=0
Összesen		189

36-48		
C1=8	C2=0	C3=0
B1=0	B2=0	B3=0
A1=171	A2=5	A3=0
Összesen		184

48-60		
C1=8	C2=0	C3=0
B1=9	B2=0	B3=0
A1=195	A2=14	A3=0
Összesen		226

60-72		
C1=0	C2=0	C3=0
B1=1	B2=0	B3=0
A1=167	A2=14	A3=0
Összesen		182

72-84		
C1=0	C2=0	C3=0
B1=0	B2=0	B3=0
A1=109	A2=5	A3=0
Összesen		114

84-96		
C1=8	C2=0	C3=0
B1=3	B2=1	B3=0
A1=162	A2=5	A3=0
Összesen		179

A mért és előrejelzett szélsőbességi adatok kontingencia táblázata 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a déli szektorra (135–225°)

0-12		
C1=37	C2=0	C3=0
B1=77	B2=0	B3=0
A1=152	A2=24	A3=0
Összesen		290

12-24		
C1=17	C2=0	C3=0
B1=86	B2=25	B3=0
A1=136	A2=16	A3=0
Összesen		280

24-36		
C1=17	C2=0	C3=0
B1=78	B2=0	B3=0
A1=174	A2=19	A3=0
Összesen		288

36-48		
C1=17	C2=0	C3=0
B1=14	B2=0	B3=0
A1=88	A2=36	A3=0
Összesen		155

48-60		
C1=17	C2=0	C3=0
B1=2	B2=0	B3=0
A1=114	A2=2	A3=0
Összesen		135

60-72		
C1=0	C2=0	C3=0
B1=1	B2=0	B3=0
A1=50	A2=2	A3=0
Összesen		53

72-84		
C1=0	C2=0	C3=0
B1=9	B2=0	B3=0
A1=112	A2=19	A3=0
Összesen		140

84-96		
C1=17	C2=0	C3=0
B1=3	B2=14	B3=0
A1=131	A2=29	A3=0
Összesen		194

A mért és előrejelzett szélsősebességi adatok kontingencia táblázata 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakokra (0–12, ..., 84–96 óra) a nyugati szektorra (225–315°)

0-12		
C1=137	C2=145	C3=100
B1=126	B2=134	B3=47
A1=203	A2=131	A3=34
Összesen		1057

12-24		
C1=155	C2=155	C3=97
B1=90	B2=139	B3=51
A1=211	A2=189	A3=40
Összesen		1127

24-36		
C1=143	C2=181	C3=100
B1=88	B2=134	B3=78
A1=154	A2=124	A3=58
Összesen		1060

36-48		
C1=146	C2=158	C3=98
B1=90	B2=126	B3=109
A1=193	A2=126	A3=31
Összesen		1077

48-60		
C1=150	C2=137	C3=90
B1=110	B2=163	B3=110
A1=204	A2=97	A3=1
Összesen		1062

60-72		
C1=143	C2=143	C3=106
B1=104	B2=88	B3=75
A1=251	A2=196	A3=30
Összesen		1136

72-84		
C1=50	C2=125	C3=89
B1=141	B2=100	B3=58
A1=238	A2=169	A3=57
Összesen		1027

84-96		
C1=56	C2=107	C3=70
B1=115	B2=114	B3=69
A1=184	A2=149	A3=21
Összesen		885

A mért és előrejelzett szélsőbességi adatok kontingencia táblázata 120 m-es magasságban különböző 12 órás előrejelzési időszakra (0–12, ..., 84–96 óra) a északi szektorra (315–45°)

0-12		
C1=45	C2=32	C3=61
B1=39	B2=38	B3=5
A1=548	A2=78	A3=18
Összesen		864

12-24		
C1=72	C2=19	C3=36
B1=40	B2=58	B3=2
A1=485	A2=73	A3=18
Összesen		803

24-36		
C1=63	C2=19	C3=36
B1=66	B2=60	B3=13
A1=550	A2=84	A3=20
Összesen		911

36-48		
C1=52	C2=18	C3=36
B1=43	B2=83	B3=44
A1=599	A2=85	A3=0
Összesen		960

60-72		
C1=0	C2=12	C3=14
B1=26	B2=40	B3=30
A1=637	A2=84	A3=18
Összesen		861

48-60		
C1=21	C2=18	C3=35
B1=45	B2=70	B3=42
A1=556	A2=94	A3=0
Összesen		881

72-84		
C1=1	C2=20	C3=49
B1=24	B2=28	B3=20
A1=614	A2=95	A3=28
Összesen		879

84-96		
C1=19	C2=16	C3=36
B1=46	B2=35	B3=30
A1=547	A2=82	A3=19
Összesen		830

F.4. Adat táblázatok

	Észak (315-45)	Kelet (45-135)	Dél (135-225)	Nyugat (225-315)	Teljes kör (0-360)	
0-12	864	309	290	1057	2520	N
	0,15	3,23	2,20	1,48	1,32	BIAS
	2,84	3,68	3,93	4,05	3,58	MAE
	16,06	24,80	22,77	24,67	21,52	MSE
	4,01	4,98	4,77	4,97	4,64	RMSE
12-24	803	310	280	1127	2520	N
	0,89	2,56	2,02	1,17	1,35	BIAS
	3,19	3,22	3,59	4,03	3,62	MAE
	20,56	20,06	21,49	24,22	22,24	MSE
	4,53	4,49	4,64	4,92	4,72	RMSE
24-36	911	189	288	1060	2448	N
	0,57	1,65	1,19	1,49	1,12	BIAS
	2,84	2,22	3,01	4,60	3,58	MAE
	16,74	12,96	16,15	31,66	22,88	MSE
	4,09	3,60	4,06	5,63	4,78	RMSE
36-48	960	184	155	1077	2376	N
	0,16	0,97	0,46	1,10	0,67	BIAS
	2,54	1,69	3,98	4,27	3,35	MAE
	12,63	13,06	31,62	26,16	20,03	MSE
	3,55	3,61	5,17	5,11	4,67	RMSE
48-60	881	226	135	1062	2304	N
	-0,08	0,94	1,94	1,36	0,80	BIAS
	2,68	1,98	3,24	4,12	3,30	MAE
	13,99	12,62	31,85	26,54	20,69	MSE
	3,74	3,55	5,64	5,152	4,55	RMSE
60-72	861	182	53	1136	2232	N
	-0,86	0,65	1,51	0,87	0,20	BIAS
	2,41	1,52	2,09	3,96	3,11	MAE
	11,20	4,02	7,39	24,55	17,32	MSE
	3,35	2,01	2,72	4,95	4,16	RMSE
72-84	879	114	140	1027	2160	N
	-1,13	1,13	0,23	0,13	-0,36	BIAS
	2,30	1,72	2,30	3,64	2,90	MAE
	10,26	4,89	7,27	20,95	14,87	MSE
	3,20	2,21	2,70	4,57	3,85	RMSE
84-96	830	179	194	885	2088	N
	-0,60	1,20	1,78	0,45	0,22	BIAS
	2,64	1,66	2,83	3,79	3,06	MAE
	14,40	12,29	17,99	21,65	17,63	MSE
	3,79	3,51	4,24	4,65	4,20	RMSE

F.4.1. táblázat: Szektorok és időlépcsők szerint mutatja a hibastatisztikai adatokat. N a darabszám, BIAS az átlagos hiba, MAE az átlagos abszolút hiba, MSE az átlagos négyzetes hiba, RMSE a négyzetes eltérés átlagának gyöke.

	Észak (315-45)	Kelet (45-135)	Dél (135-225)	Nyugat (225-135)	Teljes kör (0-360)	
0-12	6,06	4,50	4,75	8,54	6,76	m_o
	6,21	7,74	6,94	10,02	8,08	m_f
	13,83	4,18	3,60	13,20	13,79	σ_o^2
	23,87	19,70	12,76	20,38	23,56	σ_f^2
	0,59	0,53	-0,12	0,34	0,49	R
12-24	5,86	4,27	5,09	8,64	6,82	m_o
	6,75	6,83	7,10	9,81	8,17	m_f
	11,63	4,83	4,71	12,75	13,44	σ_o^2
	24,37	18,18	12,79	20,80	22,92	σ_f^2
	0,48	0,51	0,00	0,33	0,45	R
24-36	5,94	4,08	5,16	9,17	7,11	m_o
	6,51	5,74	6,35	10,67	8,23	m_f
	11,56	4,41	2,68	15,69	15,26	σ_o^2
	21,52	10,60	10,61	21,06	23,76	σ_f^2
	0,52	0,35	-0,17	0,20	0,46	R
36-48	6,11	3,08	5,17	8,98	7,12	m_o
	6,27	4,06	5,63	10,09	7,79	m_f
	12,35	2,84	7,58	16,20	16,55	σ_o^2
	18,08	10,25	19,62	20,94	23,58	σ_f^2
	0,60	0,09	-0,17	0,33	0,52	R
48-60	6,16	3,87	3,85	8,69	6,97	m_o
	6,09	4,81	5,80	10,06	7,77	m_f
	13,22	4,54	2,63	15,18	15,78	σ_o^2
	21,13	9,72	24,77	20,45	24,50	σ_f^2
	0,61	0,19	-0,04	0,31	0,51	R
60-72	5,70	3,56	3,53	8,59	6,94	m_o
	4,84	4,21	5,04	9,46	7,15	m_f
	12,69	4,16	3,03	15,73	16,49	σ_o^2
	10,96	1,66	1,15	19,41	19,85	σ_f^2
	0,56	0,42	-0,25	0,32	0,53	R
72-84	6,31	3,59	4,82	8,75	7,23	m_o
	5,18	4,71	5,05	8,88	6,91	m_f
	14,31	3,21	6,49	16,38	16,73	σ_o^2
	13,95	1,34	3,03	18,08	18,09	σ_f^2
	0,68	0,22	0,26	0,39	0,58	R
84-96	6,00	3,21	4,51	8,60	6,73	m_o
	5,40	4,41	6,28	9,06	6,95	m_f
	15,24	4,01	8,35	14,56	16,57	σ_o^2
	17,57	10,86	11,11	19,40	20,60	σ_f^2
	0,57	0,30	0,24	0,37	0,53	R

F.4.2. táblázat: Szektorok és időlépcsők szerinti további hibastatisztikai adatok. m_o : megfigyelési adatok átlaga, m_f : előrejelzési adatok átlaga, σ_o^2 : megfigyelési adatok szórásnégyzete, σ_f^2 : előrejelzési adatok szórásnégyzete, R : korreláció.

F.5. Programok

elofeldolg.sh

```
#!/bin/ksh
# 0. argumentum vizsgalat (0 argumentummal nem fut hibasan, hanem uzenettel kilep)
# 1. Redundanciak megszuntese, korrekt idobelyeget megado file-nevekkal
# 2. Elorejelzesek aktualitasuk szerinti tombokbe rendezese
# Takaritas: "tisztta" adatbazis letrehozasa a tmp alkonyvtarban
if [[ $# -ne 2 ]];then
    print "Should be run with 2 arguments"
    echo WARNING!!!!!!
    echo e.g.: ./feldolg.sh 2011 04
    echo for processing April 2011
    exit
fi
year=${1}
month=${2}
typeset -Z2 month
scripts/clean.sh ${year} ${month}

# tmp tombok inicializacioja (vegere ir a chopper)

# aktualitasuk szerint szetdarabolja az elorejelzeseket (12, 24, ..., 96 oranal nem regebbiek)
cd tmp
for i in `ls ??????????`; do echo $i;../scripts/chopper.sh $i;done
for fcst in 12 24 36 48 60 72 84 96
do
echo processing ${fcst}h FCSTs
# ${fcst} oranal nem regebbi elorejelzesek adatainak idobelyeg converzioja a times s$
cat ${fcst} | awk -F, '{print "../scripts/times.sh "$1}'|csh>dates${fcst}
# ${fcst} oranal nem regebbi elorejelzesek 120m-es szeladatainak kiiratasa
cat ${fcst} | awk -F, '{print $2}'>ws120
paste dates${fcst} ws120 > ws120_${fcst}
done
# deleting temporary files
rm ?? ws120 dates* ${year}${month}*
echo processing measurements
xls2csv -q0 ../meres/query-ws-10min-2434-${year}${month}.xls 2> err.log 1> ${year}${month}
cat ${year}${month} | awk -F, '{print $6}'>wd120m
cat ${year}${month} | awk -F, '{print $4}'>ws120m
cat ${year}${month} | awk -F, '{print $3}'>dates
tail -n +2 dates > dates2
tail -n +2 ws120m > ws120m_2
tail -n +2 wd120m > wd120m_2
head -n -1 dates2 > dates
head -n -1 ws120m_2 > ws120m
head -n -1 wd120m_2 > wd120m
cat dates | awk -F- '{print $1,$2,$3}'|awk -F: '{print $1,$2}'|awk '{print
"2011"$1$2$4$5}'>dates3
paste dates3 wd120m ws120m > ws120_meres
# deleting temporary files
rm ${year}${month} dates* err.log ws120m* wd120m*
exit
```

Kiegészítő programok az elofeldolg.sh-hoz

1. clean.sh

```
#!/bin/ksh
# 0. argumentum vizsgalat (0 argumentummal nem fut hibasan, hanem uzenettel kilep)
# a redundans file-ok felulirasaval, valodi init idok file-nevkent valo
# megadasaval a tmp konyvtarban egy "tisztta" adatbazis letrehozasa
if [[ $# -ne 2 ]];then
    print "Should be run with 2 arguments"
    echo WARNING!!!!!!
    echo e.g.: clean.sh 2011 4
    echo for processing April 2011
    exit
fi
# takaritas
mkdir -p tmp
rm tmp/*
```



```

yr=${1}
mon=${2}
typeset -Z2 mon
for i in `ls modell/wind${yr}${mon}*.csv`
do
    init=`head -2 $i|tail -1|awk -F, '{print $1}'`
    year=`echo $init|cut -c9-12`
    month=`echo $init|cut -c6-8`
    if [[ $month == "JAN" ]]
    then
        month=01
    fi
    if [[ $month == "FEB" ]]
    then
        month=02
    fi
    if [[ $month == "MAR" ]]
    then
        month=03
    fi
    if [[ $month == "APR" ]]
    then
        month=04
    fi
    if [[ $month == "MAY" ]]
    then
        month=05
    fi
    if [[ $month == "JUN" ]]
    then
        month=06
    fi
    if [[ $month == "JUL" ]]
    then
        month=07
    fi
    if [[ $month == "AUG" ]]
    then
        month=08
    fi
    if [[ $month == "SEP" ]]
    then
        month=09
    fi
    if [[ $month == "OCT" ]]
    then
        month=10
    fi
    if [[ $month == "NOV" ]]
    then
        month=11
    fi
    if [[ $month == "DEC" ]]
    then
        month=12
    fi
    day=`echo $init|cut -c4-5`
    hour=`echo $init|cut -c1-2`
    echo $i ${year} ${month} ${day} ${hour}
    cp $i tmp/${year}${month}${day}${hour}
done
exit

```

2. chopper.sh

```

#!/bin/ksh
# szetvagja a file-t ($1) 144 soros tombokre, es a 12, 24, ... 96
# nevu file-ba irja a recordokat
# elso sor cimsor
m=2
n=145
sed -n "$m,$n p" $1 >> 12
m=146
n=289
sed -n "$m,$n p" $1 >> 24
m=290

```

```

n=433
sed -n "$m,$n p" $1 >> 36
m=434
n=577
sed -n "$m,$n p" $1 >> 48
m=578
n=721
sed -n "$m,$n p" $1 >> 60
m=722
n=865
sed -n "$m,$n p" $1 >> 72
m=866
n=1009
sed -n "$m,$n p" $1 >> 84
m=1010
n=1153
sed -n "$m,$n p" $1 >> 96
exit

```

3.times.sh

```

#!/bin/ksh
# idobelyegek atalakitasa

DATE=$1
LENGTH=${#DATE}
if [ $LENGTH -eq 15 ]
then
    MONTH=${DATE:8:3}
    case $MONTH in
        "JAN")
            MONTH=01;;
        "FEB")
            MONTH=02;;
        "MAR")
            MONTH=03;;
        "APR")
            MONTH=04;;
        "MAY")
            MONTH=05;;
        "JUN")
            MONTH=06;;
        "JUL")
            MONTH=07;;
        "AUG")
            MONTH=08;;
        "SEP")
            MONTH=09;;
        "OCT")
            MONTH=10;;
        "NOV")
            MONTH=11;;
        "DEC")
            MONTH=12;;
    esac
    NEWDATE=${DATE:11:4}$MONTH${DATE:6:2}${DATE:0:2}${DATE:3:2}
elif [ $LENGTH -eq 12 ]
then
    MONTH=${DATE:5:3}
    case $MONTH in
        "JAN")
            MONTH=01;;
        "FEB")
            MONTH=02;;
        "MAR")
            MONTH=03;;
        "APR")
            MONTH=04;;
        "MAY")
            MONTH=05;;
        "JUN")
            MONTH=06;;
        "JUL")
            MONTH=07;;
        "AUG")
            MONTH=08;;
        "SEP")

```

```

        MONTH=09;;
        "OCT")
        MONTH=10;;
        "NOV")
        MONTH=11;;
        "DEC")
        MONTH=12;;
        esac
        NEWDATE=${DATE:8:4}$MONTH${DATE:3:2}${DATE:0:2}00
    else
        echo "Rossz"
    fi
    echo $NEWDATE
    exit

```

feldolg.sh

```

#!/bin/ksh
# cat ws120_12 | awk '{print $1}'>total
# 0. argumentum vizsgalat (0 argumentummal nem fut hibasan, hanem uzenettel kilep)
# 1. Evek, napok, orak, percek idobelyeg beallitasa
# 2. Adathiany kezelesenek megoldasa
# 3. 10 oszlop kiiratasa melyben az elso az idobelyeg, masodik a szelirany, harmadik a 120m-es
szelsebesseg,
# a fennmarado oszlopok pedig a szetdarabolt elorejelzesek 12-96 oraig
# A hianyzo adatok helyere alkalmazott valtozo
adathiany=9999
# diszkusszio
if [[ $# -ne 2 ]];then
    print "Should be run with 2rguments"
    echo WARNING!!!!!!
    echo e.g.: feldolg.sh 2011 04
    echo for processing April 2011
    exit
fi
# Generate continuous dataset
# Running date/time
endday=31
year=$1
leap=$(echo "${year}-${year}/4*4")|bc
if [[ $year -eq 2000 ]] then
    leap=1
fi
month=$2
typeset -Z2 month
if [[ $month -eq 4 || $month -eq 6 || $month -eq 9 || $month -eq 11 ]] then
    endday=30
fi
if [[ $month -eq 2 ]] then
    endday=28
    if [[ $leap -eq 0 ]] then
        endday=29
    fi
fi
# echo $endday
cd tmp
day=1
while [[ $day -le ${endday} ]]; do
    typeset -Z2 day
    hour=0
    while [[ $hour -le 23 ]]; do
        typeset -Z2 hour
        if [[ $hour -eq 00 ]] then
            hour=00
        fi
        min=0
        while [[ $min -le 55 ]]; do
            typeset -Z2 min
            if [[ $min -eq 00 ]] then
                min=00
            fi
            timestamp=${year}${month}${day}${hour}${min}
            van=`grep -c ^${timestamp} ws120_meres`
            if [[ $van -ne 0 ]] then
                # adathiany
                szelirany=`grep ^${timestamp} ws120_meres| awk '{print $2}'`
                szelsebesseg=`grep ^${timestamp} ws120_meres| awk '{print $3}'`
            fi
        done
    done
done

```

```

else
    szelirany=${adathiany}
    szelsebesseg=${adathiany}
fi

van=`grep -c ^${tstamp} ws120_12`
if [[ $van -ne 0 ]] then
    # adathiany
    mod12=`grep ^${tstamp} ws120_12| awk '{print $2}'`
else
    mod12=${adathiany}
fi

van=`grep -c ^${tstamp} ws120_24`
if [[ $van -ne 0 ]] then
    # adathiany
    mod24=`grep ^${tstamp} ws120_24| awk '{print $2}'`
else
    mod24=${adathiany}
fi

van=`grep -c ^${tstamp} ws120_36`
if [[ $van -ne 0 ]] then
    # adathiany
    mod36=`grep ^${tstamp} ws120_36| awk '{print $2}'`
else
    mod36=${adathiany}
fi

van=`grep -c ^${tstamp} ws120_48`
if [[ $van -ne 0 ]] then
    # adathiany
    mod48=`grep ^${tstamp} ws120_48| awk '{print $2}'`
else
    mod48=${adathiany}
fi

van=`grep -c ^${tstamp} ws120_60`
if [[ $van -ne 0 ]] then
    # adathiany
    mod60=`grep ^${tstamp} ws120_60| awk '{print $2}'`
else
    mod60=${adathiany}
fi

van=`grep -c ^${tstamp} ws120_72`
if [[ $van -ne 0 ]] then
    # adathiany
    mod72=`grep ^${tstamp} ws120_72| awk '{print $2}'`
else
    mod72=${adathiany}
fi

van=`grep -c ^${tstamp} ws120_84`
if [[ $van -ne 0 ]] then
    # adathiany
    mod84=`grep ^${tstamp} ws120_84| awk '{print $2}'`
else
    mod84=${adathiany}
fi

van=`grep -c ^${tstamp} ws120_96`
if [[ $van -ne 0 ]] then
    # adathiany
    mod96=`grep ^${tstamp} ws120_96| awk '{print $2}'`
else
    mod96=${adathiany}
fi

echo ${tstamp} ${szelirany} ${szelsebesseg} ${mod12} ${mod24} ${mod36} ${mod48} ${mod60}
${mod72} ${mod84} ${mod96} \
|awk '{printf("%s\t%4.2f\t%6.2f\t%6.2f\t%6.2f\t%6.2f\t%6.2f\t%6.2f\t%6.2f\t%6.2f\n",
$1,$2,$3,$4,$5,$6,$7,$8,$9,$10,$11)}'
    (( min=$min+10 ))
done
    (( hour=$hour+1 ))
done

```

```

        (( day=$day+1 ))
done
#clean temporary files
#rm *
exit

```

utofeldolg.sh

```

#!/bin/ksh
# 0. argumentum vizsgalat (0 argumentummal nem fut hibasan, hanem uzenettel kilep)
# 1. grafikus abrazolas

# Takaritas: "tisztas" adatbazis letrehozasa a tmp alkonvytarban
if [[ $# -ne 2 ]];then
    print "Should be run with 2rguments"
    echo WARNING!!!!!!
    echo e.g.: ./feldolg.sh 2011 04
    echo for processing April 2011
    exit
fi
year=${1}
month=${2}
cat > plot.plt << EOF
set timefmt "%Y%m%d%H%M"
set xdata time
set format x "%y/%m/%d"
set datafile missing "9999.00"
set term gif
set o 'ws120.gif'
pl \
"output_${1}_${2}" u 1:3 t "szelirany (meres)" w l lw 2 lc -1
EOF
gnuplot plot.plt
exit

```

hib_stat.sh

```

#!/bin/ksh
# A script kiszamitja a hibastatisztikakat
# 90 fokos szektorokra, vagy teljes korre
# 12 oras idoablakra
# $1 szektor eleje, ha > 270 fok, eszak is benne van a szektorban
# $1 nulla eseten teljes kor (0-360 fokos szektor)
# $2 az idoablak vege, pl.: 24 eseten a 12-24 oras elorejelzesek
# pelda futtatasa: ./hib_stat.sh 45 24
# kiszamitja a 45-135 fokos szektorra a 12-24 oras elorejelzesekbol
# es meresekbol kepzett hibastatisztikakat
# Az adatok alapjan scatter plot es time-series plot diagramot gyart
let sector1=$1
let sector2=$(( $1+90 ))
if [[ $sector2 -gt 360 ]];then
let sector2=$(( $sector2-360 ))
fi
let t2=$2
let t1=$(( $2-12 ))
let column=$(( $2/12+3 ))
# input file name
infile="/home/monika/output_2011_04"
# sectors
if [[ $sector1 -le 270 ]];then
#45-315 deg sectors
echo "cat ${infile} |awk '{if (\${column} < 100) if (\$2 >= ${sector1} && \$2 < ${sector2})
print \$1, \$2,\$3,\${column}-\$3}'" > tmp.exe
else
#north 315-360 and 0-45 deg sector
echo "cat ${infile} |awk '{if (\${column} < 100) if (\$2 >= ${sector1} && \$2 < 360 || \$2 >=
0 && \$2 < ${sector2}) print \$1, \$2,\$3,\${column}-\$3}'" > tmp.exe
fi
# all
tit="${sector1}-${sector2} szektorban"
if [[ $1 -eq 00 ]];then
#all directions (0-360 deg)
echo "cat ${infile} |awk '{if (\${column} < 100) if (\$2 < 400) print \$1,
\$2,\$3,\${column}-\$3}'" > tmp.exe
tit="0-360 szektorban"
fi

```

```

chmod +x tmp.exe
./tmp.exe > tmp.dat
#Calculating elements of the contingency table
echo Contingency table
echo C1 C2 C3
echo B1 B2 B3
echo A1 A2 A3
cat tmp.dat | awk '{if ($3 < 7.5 && $3+$4 < 7.5) a1++} END {print "A1="a1}'
cat tmp.dat | awk '{if ($3 >= 7.5 && $3 < 12.5 && $3+$4 < 7.5) a2++} END {print "A2="a2}'
cat tmp.dat | awk '{if ($3 >= 12.5 && $3+$4 < 7.5) a3++} END {print "A3="a3}'
cat tmp.dat | awk '{if ($3 < 7.5 && $3+$4 >= 7.5 && $3+$4 < 12.5) b1++} END {print "B1="b1}'
cat tmp.dat | awk '{if ($3 >= 7.5 && $3 < 12.5 && $3+$4 >= 7.5 && $3+$4 < 12.5) b2++} END
{print "B2="b2}'
cat tmp.dat | awk '{if ($3 >= 12.5 && $3+$4 >= 7.5 && $3+$4 < 12.5) b3++} END {print "B3="b3}'
cat tmp.dat | awk '{if ($3 < 7.5 && $3+$4 >= 12.5) c1++} END {print "C1="c1}'
cat tmp.dat | awk '{if ($3 >= 7.5 && $3 < 12.5 && $3+$4 >= 12.5) c2++} END {print "C2="c2}'
cat tmp.dat | awk '{if ($3 >= 12.5 && $3+$4 >= 12.5) c3++} END {print "C3="c3}'
# Calculating Verification Statistics following Nurmi, 2003
cat tmp.dat | awk '{
Sum += $4;\
SqSum += $4*$4;\
AbsSum +=sqrt($4*$4); SumO +=$3; SumF +=($3+$4);\
N++} END \
{print
"N="N";ME(bias)="Sum/N";MAE="AbsSum/N";MSE="SqSum/N";RMSE="sqrt(SqSum/N)";aveO="SumO/N";aveF="
SumF/N"}' > nurmi.dat
cat nurmi.dat
let N=`cat nurmi.dat|awk -F";" '{print $1}'|awk -F"=" '{print $2}'`
let aveO=`cat nurmi.dat|awk -F";" '{print $6}'|awk -F"=" '{print $2}'`
let aveF=`cat nurmi.dat|awk -F";" '{print $7}'|awk -F"=" '{print $2}'`
#echo ${N} ${aveO} ${aveF}
cat tmp.dat | awk -v N=${N} -v aveO=${aveO} -v aveF=${aveF} '{\
SqSumDelO += (($3-aveO)*($3-aveO));\
SqSumDelF += (($3+$4-aveF)*($3+$4-aveF));\
SumDelODelF += (($3-aveO)*($3+$4-aveF))} END \
{print
"SigmaO^2="SqSumDelO/N;SigmaF^2="SqSumDelF/N;R="SumDelODelF/(sqrt(SqSumDelO*SqSumDelF))}'
user=`whoami`
mkdir -p /home/${user}/public_html/monika/
echo ${user}
echo sector: ${sector1}-${sector2}
echo time: ${t1}-${t2}
cat > plot.plt << EOF
set timefmt "%Y%m%d%H%M"
set xdata time
set format x "%m/%d"
set datafile missing "9999.00"
set terminal gif
set output '/home/${user}/public_html/monika/ts${1}_${2}.gif'
set xlabel 'Datum'
set ylabel 'Mert es modellezett szelsebesseg 120m-en'
set title '${t1}-${t2}h elorejelzes ${tit}'
pl "tmp.dat" u 1:3 t 'meres' w p,"tmp.dat" u 1:(\ $3+\ $4) t 'modell' w p
quit
EOF
gnuplot plot.plt
cat > plot.plt << EOF
set datafile missing "9999.00"
set size ratio -1
set arrow 1 from 0,0 to 20,20 nohead lw 3
set terminal gif
set output '/home/${user}/public_html/monika/scat${1}_${2}.gif'
set xlabel 'meres'
set ylabel '${t1}-${t2}h elorejelzes'
set xrange [0:20]
set yrange [0:20]
set title 'Szelsebesseg 120m-en ${tit}'
set nokey
pl "tmp.dat" u 3:(\ $4+\ $3) w p
quit
EOF
gnuplot plot.plt

#rm plot.plt
exit

```