

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A felszín közeli szélmező energetikai jellemzése
Kárpátalján**

Hadnagy István

Témavezető: Dr. habil. Tar Károly



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2020

BEVEZETÉS, A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

Az elmúlt évtizedek lineáris gazdasági rendszere – avagy az erőforrások és a nyersanyagok elvesztegetése – napjainkra számos érzékelhető környezeti problémához vezetett. Többek között felismerték, hogy a fosszilis energiahordozók elégetése során felszabaduló üvegházhatású gázok kibocsátása drámai éghajlatváltozáshoz vezethet. Folyamatosan „újra” előtérbe kerültek a megújuló energiaforrások, így a szélenergia felhasználása is az energiatermelésben. Az Európai Unióban és a világ számos országában az ingyen rendelkezésre álló szélereő-potenciál hasznosításának növelése elsődleges prioritást élvez, hiszen a napjainkra igen időszerűvé vált klímaváltozás elleni közdelemben tett vállalásaik teljesítésének egyik eszközeként tekintenek a szélenergiára. A világ összes primer energiatermeléséből a megújuló energiaforrások 26,3%-kal részesednek, ezen belül a szélenergia 5,1%-kal rendelkezik. Csak a megújuló energiaforrásokat figyelembe véve a vízenergia után a szélenergia a második helyen van, részaránya a megújulók között 19,2%. A szélenergia, különösen az offshore alkalmazásai révén még hatalmas lehetőségeket rejt. A szélenergia jövőbeli fejlődéséhez szükség van a szél energiájának térben és időben történő rendelkezésre állásának vizsgálatára. Szükséges ismernünk a felszín közeli szélmező azon tulajdonságait is, amelyek a szélereőművek villamosenergia-rendszerbe történő illesztését segíthetik anélkül, hogy a folyamatos ellátást veszélyeztetnék.

Ukrajna megújuló és nem hagyományos energiaforrásai energetikai potenciáljának atlaszában vagy az ország 2030-ig tartó időszakra vonatkozó Energetikai Stratégiájában a szélenergia felhasználás és kapacitás bővítés tekintetében, a tengerparti területek mellett, a hegyvidéki zónákra kerül a fő hangsúly, elsősorban a Kárpát-régióra.

A szélenergia hasznosítás folyamatában a helyi szélviszonyok és az alkalmazott energia-átalakító rendszer együttesen meghatározzák a kinyerhető energia mennyiségét. A kitermelhető szélenergia meghatározását a meteorológiai állomások és a helyszíni mérések széladatainak statisztikai vizsgálatával és/vagy modellszámításokkal lehet elvégezni.

A kárpátaljai felszín közeli szélmező energetikai paramétereit vizsgálva számos olyan ismerethez és szélklíma jellemzőhöz jutottunk, ami az adott terület további energiatermelési mutatóinak meghatározásához, a szélereőművek telepítési helyszíneinek kiválasztásához előnyösen

alkalmazható. Ezzel hozzájárulva a szélenergia felhasználás jövőbeli elterjedéséhez Kárpátalján.

A felszín közeli szélmező energetikai jellemzése során az alábbi célokat fogalmaztuk meg:

- jellemezni a meteorológiai állomások szélesség idősorainak statisztikai mutatóit, a szélességek éves, évszakos, havi és napi menetét;
- elemezni az empirikus szélességeloszlások szerkezetét, azok elméleti eloszlásokhoz való illeszkedését;
- előállítani a szélesség eloszlásokat a mérés magasságától eltérő szintekben is;
- meghatározni az energetikailag hasznosítható szélességek időtartamát;
- jellemezni az egyes extrémumok, pl. a szeles napok menetének statisztikai szerkezetét;
- meghatározni az éves, évszakos fajlagos szélteljesítményt különböző magasságokban;
- elemezni az egyes szélirányok empirikus gyakorisági eloszlását, átlagsebességét, relatív energiátartalmát és azok különböző időszakokra vonatkozó menetét;
- meghatározni a jellemző és az energetikailag uralkodó szélirányokat;
- kimutatni a szélmező tulajdonságaiban esetlegesen megjelenő orográfiai hatásokat;

ANYAG ÉS MÓDSZER

A dolgozatban 9 kárpátaljai meteorológiai állomás 3 óránként regisztrált szélesség és szélirány, illetve napi maximális szélesség adatsorait használtuk fel. A vizsgált időszak 2011. január 1-től 2015. december 31-ig terjedt. Az állomások különböző orográfiai környezetben és tengerszint feletti magasságon helyezkednek el. A legalacsonyabban (Ungvár, 112 m) és a legmagasabban (Pozsezevszka, 1451 m) fekvő állomás relatív szintkülönbsége 1339 m. Ennek okán a mérőpontokat a vizsgálat során 3 csoportba soroltuk: alföldi (Ungvár és Huszt), nem alföldi folyóvölgyi (Nagyberezna, Rahó, Ökörmező, Alsóverecke, Alsóhidegpatak) és hegységi (Pláj és Pozsezevszka) állomások.

Elvégeztük a szélesebbeségek magassági korrekcióját. A vizsgálatba vont meteorológiai mérőállomások némelyikén (Ungvár, Huszt, Pláj és Pozsezevszka) a szélesebbesség-mérő az előírt 10 m-nél magasabbra vagy alacsonyabbra volt elhelyezve. A 3 óránként mért szélesebbeségeket – az eredmények összehasonlíthatósága miatt – a Hellmann-féle hatványkitevős összefüggéssel minden esetben 10 m-es talajfelszín feletti magasságra transzformáltuk. Az ehhez szükséges (α) kitevőt – ismerve az állomások környezetét – a szakirodalomban található javaslatok alapján megválasztott érdességi paraméter (z_0) segítségével határoztuk meg.

Meghatároztuk a szélesebbesség adatsorok alapstatisztikai mutatószámait, elvégeztük azok elemzését és a területi eloszlásuk térképi ábrázolását. A mért szélesebbeségek gyakorisági eloszlását különböző elméleti eloszlásokkal közelítettük. Erre a célra a Weibull-eloszlást, a Rayleigh-eloszlást, a normál eloszlást, a lognormál eloszlást, a négyzetgyökös normál eloszlást és a gamma eloszlást választottuk. Az elméleti eloszlások illeszkedését χ^2 -próba segítségével ellenőriztük 10%, 5% és 1% szignifikancia szinten. Elvégeztük a Weibull-eloszlás alak- (k) és skálaparaméterének (c) elemzését. A paraméterek ismeretében meghatároztuk 10, 20, 40, 60, 80 és 100 m-es magasságra a szélesebbesség gyakorisági eloszlását, azok statisztikai-energetikai paramétereit, az energetikailag hasznosítható szélesebbeségek átlagos időtartamát és a rendelkezésre álló fajlagos szélteljesítményt. Megvizsgáltuk a szeles napok statisztikai szerkezetét és a szélesebbesség napi menetét. A szélesebbesség köbök mérési időpontenkénti (3 órás terminus idő) átlagának napi menetére trigonometrikus polinom görbét illesztettünk. A közelítő függvénygörbe illeszkedésvizsgálatára egy mérőszámot használtunk, amely a közelítés relatív mértékét definiálja és a meghatározásához az ún. reziduális szórásnégyzetet használtuk. A függvénygörbe segítségével kimutattuk a mérőpontokon a szélesebbesség és ezzel együtt a szélenergia napi menetében jelentkező egész- és félnapos periódusokat. A közelítő függvény görbe alatti területén (határozott integrálján) keresztül meghatároztuk az adott időszak egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítményt.

Jellemeztük a szélirányok statisztikai és energetikai szerkezetét. Az adott helyre és adott időszakra jellemző és nem jellemző szélirányok kiválasztására egy a valószínűségek egyenlőségének eldöntésére vonatkozó átalakított statisztikai próbát használtunk fel. Végül jellemeztük az egyes szélirányok sebességeloszlását, relatív energiatartalmát és kiválasztottuk a legnagyobb energiatartalommal bíró jellemző szélirányokat.

EREDMÉNYEK

A kárpátaljai felszín közeli szélmező energetikai jellemzésére vonatkozó vizsgálataink alapján a következő legfontosabb megállapításokat tehetjük:

- **Az átlagos szélesebbesség térbeli eloszlásában a felszín inhomogenitása, főleg a domborzat áramlásmódosító hatása erősen megnyilvánul.** Az átlagos szélesebbesség a teljes időszakra vonatkozóan 0,8 m/s (Huszt) és 4,9 m/s (Pláj) között változik. Az állomások közötti növekvő sorrend a következő: Huszt, Ökörmező, Nagyberezna, Rahó, Alsóhidegpatak, Alsóverecke, Ungvár, Pozsezevszka és Pláj. A szélesebbeségek variációs együtthatója alapján a legkevésbé változékony Ungvár (0,58) és Pláj (0,63), a legváltozékonyabb széljárású pedig Rahó (0,99). A napi átlagsebességek módusza 10 m-en a Plájon kívül (2,1 m/s) sehol sem éri el a 2,0 m/s-ot. A napi átlagsebességek éves menetében a két alföldi (Ungvár és Huszt) és három folyóvízgyi mérőpontra (Nagyberezna, Rahó és Ökörmező) tavaszi szélmaximum, míg további két folyóvízgyi (Alsóverecke és Alsóhidegpatak) és a két hegységi állomáson (Pláj és Pozsezevszka) téli szélmaximum jelentkezik. Kárpátalján átlagban évente 86 szeles nap fordul elő, amikor a szél legerősebb lökésének sebessége eléri, vagy meghaladja a 10 m/s-t, ezek közül 15 nap viharos, ennyi alkalommal nagyobb a szélhőkés 15 m/s-nál is. A szeles napok átlagos száma évente 15 nap (Huszt) és 212 nap (Pláj) között változik.
- **Az alföldi és a folyóvízgyi állomások szélesebbeségei napi menetére éjjeli minimum és nappali maximum a jellemző. A hegységi Pláj állomásra ennek fordítottja érvényes.** Ez egyezik a szélesebbesség napi menete és a planetáris határreteg kapcsolatáról tett szakirodalmi megállapításokkal. A planetáris határreteg egy jellemző tulajdonsága, hogy a szélesebbesség a felszínközeli rétegekben, ahol jelentős a sűrűlódás hatása, nappali maximummal rendelkezik, míg az éjszakai órákban, az 1-1,5 km magasságba érő hegycsúcsokon, gerinceken, a planetáris határreteg teteje környékén, nagyobb szélesebbeségek fordulnak elő. A 3 órás terminus időpontok átlagos szélesebbeségeinek napi minimuma és maximuma közötti különbség nyáron legnagyobb, tavasszal és ősszel kisebb és legkisebb télen. Ezért főleg télen és ősszel elég nagy biztonsággal számíthatunk arra, hogy a szélesebbesség és ezzel együtt a szélenergia napon belüli változása is az irányítás

számára kedvezőbb módon, azaz egyenletesebben jelentkezik. A terminus időpontok átlagos szélességeinek variációs együtthatója éves viszonylatban 0,04 (Pozsezevszka) és 0,52 (Nagyberezna) között változik. Télen 0,03 és 0,27 között, nyáron 0,10 és 0,71 között mozog. Júliusban sokkal nagyobb a nappali és éjszakai szélesség értékek közötti különbség, mint januárban, ez a hőmérséklettel való szoros kapcsolatot jelzi.

- **Husztot kivéve a mérőpontok napi átlagos szélességeinek gyakorisági eloszlása leírható a Weibull-eloszlással.** Az eloszlás (k) és (c) paraméterét több módszerrel is meghatároztuk. A legjobb illeszkedést adó módszer a momentum-bebecslésre vezethető vissza, amelyhez ismernünk kell a szélesség átlagát, szórását és a gamma-függvény tulajdonságait. A Weibull-eloszlás a teljes időszakra, az orográfiai környezettől függetlenül, a χ^2 -próba alapján 10%, 5% és 1% szignifikancia is szinten elfogadható illeszkedést adott. Évszakos bontásban a Weibull-eloszlás az esetek 83%-ban bizonyult megfelelőnek a szélességek empirikus gyakorisági eloszlásainak közelítésére. Az eloszlás c paraméterének évszakos értékei a mérőpontokon követik a szélesség átlagértékeit. A skálaparaméter és az állomások tengerszint feletti magassága között 5%-os szignifikancia szinten lineáris kapcsolat van ($r=0,83$). A skálaparaméter összvarianciájának 70%-a a tengerszint feletti magassággal való lineáris kapcsolattal magyarázható.
- A Weibull-eloszlás k és c paramétereinek segítségével előállítottuk a szélesség gyakorisági eloszlását $z = 20, 40, 60, 80$ és 100 m-en is. Bebizonyosodott a Weibull-eloszlás egyik paramétere (n) és a Hellmann-féle kitevő (α) közötti kapcsolat, ami azonban további vizsgálatra szorul. Az α ugyanis a felszíni érdesség és számos légköri tényező függvénye, míg az n csak a mérési szint skálafaktorának és magasságának.

Kárpátalján a felszíntől 100 m-en az átlagos szélesség eléri a 4,0 m/s-ot, de csupán a hegységi Plájon és Pozsezevszkan haladja meg az 5,0 m/s-ot. A szélesség a magassággal együtt növekszik, így 100 m-en 2,2 m/s (Huszt) és 7,7 m/s (Pláj) között változik. Kárpátaljai viszonylatban a szélenergia felhasználásra, a módusz tekintetében is kedvező telephelynek bizonyul Ungvár és Pláj, ahol a

legvalószínűbb szélesség 100 m-en eléri a 3,6 m/s-ot, illetve a 6,4 m/s-ot. A szintén hegységi Pozsezevszka is viszonylag magas átlagos szélességgel (100 m-en 5,9 m/s) rendelkezik, azonban a magas variációs együttható (100 m-en 0,71) és az alacsony módusz (100 m-en 2,83 m/s) azt bizonyítja, hogy itt a szélturbinák folyamatos, kiegyenlített működése nem lehetséges. A legnagyobb energiát hordozó szélesség-tartomány tekintetében minden magasságban Huszton kaptuk a legalacsonyabb (10 m-en 1,0-2,0 m/s, 100 m-en 2,0-3,0 m/s), a Plájon és a Pozsezevszkan a legmagasabb értékeket (10 m-en 8,0-9,0 m/s, 100 m-en 11,0-12,0 m/s).

- **Az energetikailag hasznosítható szélességek ($3 \leq v < 25$ m/s) időtartama (100 m-en) az alföldi és folyóvölgyi állomásokon évente átlagosan 35-2650 óra között mozog. A hegységeken átlagosan 3400-5500 órát tesz ki.** A Plájon 10 m-en átlagosan az év 62,7%-ban (100 m-en 90%-ban) üzemelne egy 3 m/s-os indító sebességgel és 25 m/s-os legnagyobb megengedett szélességgel definiálható szélturbina. Ungváron, az alföldi részen ez az érték csupán 20% körül van (100 m-en 68,6%). A folyóvölgyi állomásokon pedig 6,8% (34,0%) Ökörmező és 30,2% (58,7%) Alsóverecke között változik. Az alföldi és folyóvölgyi állomásokon az átlagos folyamatos üzemidő 10 óra alatt van, míg a hegységeken átlagosan 10 óra felett. Ennek variációs együtthatója az összes állomáson magas értékeket mutat. A legváltozékonyabb e tekintetben Pozsezevszka (1,54), Pláj (1,40) és Alsóverecke (1,23). A leghosszabb folyamatos üzemidő a két hegységi állomáson elérheti a 250 órát, ez több mint 10 nap folyamatos generátorműködést jelent. A folyamatos üzemidőtartamok maximumainak bekövetkezése az alföld és folyóvölgyek állomásain átlagosan tavaszra vagy a tél végére esnek, míg a hegységeken az ős végére és télre.
- **Megállapítottuk, hogy a felszíntől emelkedve 10 m-enként az alföldön átlagosan 7-8 W/m²-rel, a szűk folyóvölgyekben 3-5 W/m²-rel, míg a hegygerinceken 30-35 W/m²-rel növekszik a fajlagos szélteljesítmény. Az alföldi és folyóvölgyi állomásokon a 10 és 100 m-es magasságban a téli és a tavaszi hónapokra jut a legnagyobb és nyár végére a legkisebb fajlagos szélteljesítmény.** A Weibull-eloszlás (k) és (c) paraméterének ismeretében a gamma-függvény ($\Gamma(x)$) segítségével meghatároztuk a mérőpontokon, az év és az egyes hónapok átlagos fajlagos szélteljesítményét. Mindezt

elvégeztük a $z=20, 40, 60, 80, 100$ m-es szintekre is. Kárpátalján a fajlagos szélteljesítmény 100 m-en $9,3 \text{ W/m}^2$ (Huszt) és $506,8 \text{ W/m}^2$ (Pláj) között változik, ami igen nagy különbségnek mondható. Az alföld és a folyóvölgyek állomásaira a jellemző átlagos mennyiségek még 100 m-en is csupán $30-70 \text{ W/m}^2$ körül vannak, melyek viszonylag, nagyon alacsonyak. Az állomások közül a fajlagos szélteljesítmény alapján ki kell emelnünk Ungvárt (100 m-en $76,0 \text{ W/m}^2$), Pozsezszevszkat ($368,7 \text{ W/m}^2$) és Plájt ($506,8 \text{ W/m}^2$), ahol ebben a magasságban, kárpátaljai viszonylatban, a legkedvezőbbek az energiahasznosítás feltételei.

- **A szélesebbég köbök 3 óránkénti terminus átlagának napi menetére illesztett trigonometrikus polinom görbe alapján az egynapos hullám (24 órás periódus) realitásának %-os arányai a mérőpontok tengerszint feletti magasságával együtt csökken. A két változó között, 5%-os szignifikancia szinten negatív lineáris korreláció tapasztalható ($r=-0,86$).** Megvizsgáltuk a szélesebbég napi menetében az egynapos (A_1/E) és a félnapos (A_2/E) hullám realitásának arányait a $p=0,17$ és $p=0,05$ szignifikancia szinten. Az egynapos hullám realitása főként a tavasz elejétől az ősz elejéig érvényesül legjobban, ősszel és télen a véletlenszerűsége növekszik. A szélesebbég köbök 3 órás átlagára havonként illesztett trigonometrikus polinom félnapos periódusú (12 órás) hulláma tehát leginkább a késő tavaszi és nyári hónapokban mutat véletlenszerűséget $0,17$ szinifikancia szinten, a téli, kora tavaszi és őszi hónapokban realitásának gyakorisága megnövekszik. Ezekben az utóbbi hónapokban tehát számítani kell a széleenergia napon belüli markáns változásaira: két minimális és két maximális értékre. Elvégeztük a havi átlagos fajlagos szélteljesítmény becslését közelítő függvény alapján, amelyet a szélesebbég köbök mérési időpontonkénti (3 órás terminus idő) átlagainak napi menetére illesztettünk. A közelítés relatív mértékét definiáló mérőszám (s_{0m}) alapján a közelítés legjobban sikerült Ungváron ($0,93$) és Nagybereznán ($0,93$), legkevésbé pedig Ökörmezőn ($0,77$) és Pozsezszevszkan ($0,73$).
- **Kimutattuk, hogy az állomások empirikus szélirányeloszlásai erősen tükrözik az orográfiai viszonyokat, különösen a szűk folyóvölgyekben.** A jellemző irányok száma állomásonként 1 és 5 között mozog, az összes gyakoriságuk pedig $34,4\%$ (Pláj) és $85,0\%$

(Alsóhidegpatak) között. Az alföldi állomásokon és egy-egy szélesebb folyóvölgyben egyenletesebb eloszlást és több jellemző szélirányt láthatunk (3-5 között), ilyen Ungvár (az Ungi-síkon, az Ung-folyó völgyében), Huszt (a Huszti-kapuban, a Tisza völgyében), Nagyberezna (az Ung-folyó völgyének egy kiszélesedő szakaszán), Rahó (a Fekete-Tisza-folyó egy kiszélesedő szakaszán). A magasabb tengerszint feletti területeken, a felszínbe mélyen bevágódó folyóvölgyek állomásain viszont legfeljebb 1-3 meridionális jellemző irányt találunk, ezek: Ökörmező (a Nagyg-folyó völgyében), Alsóverecke (a Latorca-folyó völgyében), Alsóhidegpatak (a Fehér-ág-folyó völgyében). Az 1000 m feletti légrétegben elhelyezkedő két hegységi mérőpontban a DNY-i irány rendelkezik a legnagyobb átlagsebességgel, átlagosan $6,0 \text{ m/s}$ -al. Az alföldön és a hegyvidéki folyóvölgyekben pedig az ÉNY, É és ÉK irányok a legszeleesebbek, mintegy $2,5 \text{ m/s}$ átlagsebességgel. A hegységi állomások jellemző szélirányainak átlagsebessége átlagosan 2,5-szer nagyobbak, mint az alföldi és folyóvölgyi állomásoké, a nem jellemző irányok esetében pedig ez az arány 2,0.

- **Megállapítottuk, hogy a jellemző szélirányok átlagos relatív energiataralma $16,0\%$ (Ungvár) és $47,4\%$ (Pláj) között változik és a kevés jellemző iránnyal rendelkező folyóvölgyi és hegységi állomásokon jelentkeznek a magasabb értékek.** A nem jellemző szélirányok átlagos relatív energiataralma pedig éves tekintetben $1,8\%$ (Rahó) és $10,0\%$ (Huszt) között alakul. Egy jellemző szélirány éves szinten átlagosan 8,0-szor több energiát szállít mint egy nem jellemző irány, bár ennek értéke az állomások között erősen változik. A minimuma az orográfiailag legkevésbé zavart Ungváron ($2,4$) míg a maximuma a szélárnyékolás tekintetében legrosszabb környezetben fekvő Alsóverecken ($12,2$) van.

Mindezekből levonható legfontosabb következtetés az, hogy Kárpátalján a széleenergia felhasználás terén főleg a hegyvidéki régióra lehet támaszkodni. De belátható az is, hogy az ún. alapáramlás sebességét és valószínűleg irányát az orográfia igen nagymértékben módosít(hat)ja. A klimatológiailag optimálisnak mutakozó helyeken is elengedhetetlen a kifejezetten energetikai célú helyszíni szélmérés a szélérőmű telepítése előtt, hiszen akár kis területen belül is rövid idő alatt változhat meg a széleenergia mennyisége és járása, amely a szélérőművek villamosenergia-rendszerbe történő illesztését és a folyamatos ellátást veszélyeztethetik.



Nyilvántartási szám: DEENK/227/2020.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Hadnagy István
Neptun kód: WZ5U46
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10031351

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. **Hadnagy, I., Tar, K.:** Szélirányok energetikai paramétereinek területi eltérése Kárpátalján = Territorial Differences of Energetic Parameters of the Wind Directions in Transcarpathia. *Légkör. 64* (3), 115-121, 2019. ISSN: 0133-3666.

Magyar nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

2. **Hadnagy, I.:** A megújuló energiaforrások felhasználásának lehetőségei és jelenlegi helyzetük Kárpátalján. *Acta Beregsasiensis 9* (2), 187-193, 2010.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

3. **Hadnagy, I., Tar, K.:** The approximation of wind speed distributions with theoretical distributions of meteorological stations located in different orographic conditions. *Időjárás. 123* (3), 329-349, 2019. ISSN: 0324-6329.
DOI: <http://dx.doi.org/10.28974/idojaras.2019.3.5>
IF: 0.277

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

4. **Hadnagy, I., Tar, K., Molnár, J.:** Analysis of the current state of wind power in the world, Europe and Ukraine, especially in Transcarpathia. *Ukr. Geogr. J. 109* (1), 59-70, 2020. EISSN: 1561-4980.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/ugz2020.01.059>
5. **Hadnagy, I., Tar, K.:** Determination of Energy Parameters of Near Surface Wind Field in Transcarpathia. *Int. J. Renewable Ener. Res. 9* (1), 437-447, 2019. EISSN: 1309-0127.



Magyar nyelvű konferencia közlemények (5)

6. **Hadnagy, I., Tar, K.:** A felszín közeli szélmező energetikai jellemzői Kárpátalján. In: Földrajzi tanulmányok 2018. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 161-165, 2018. ISBN: 9789635088973
7. **Hadnagy, I.:** Kárpátalja (Ukrajna) szélklimájának jellemzői szakirodalmi adatok alapján. In: Környezet és energia a mindennapokban. Szerk.: Lázár István, MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 119-125, 2016. ISBN: 9789637064340
8. **Hadnagy, I.:** A szélenergia felhasználás jelenlegi helyzete és lehetőségei Kárpátalja (Ukrajna) területén. In: IX. Kárpát-medencei környezettudományi konferencia : Konferencia kiadvány. Szerk.: Zákányi Balázs, Faur Krisztina Beáta, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 133-139, 2013. ISBN: 9789633580325
9. **Bíróné Kircsi, A., Hadnagy, I.:** Szélesbesség területi modellezése és verifikációja Debrecen példáján. In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 135-142, 2013. ISBN: 9789633183342
10. **Hadnagy, I.:** A szélenergia hasznosításának klimatikus adottságai Ukrajna tengerparti területén. In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 183-188, 2011. ISBN: 9789637064272

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

11. **Hadnagy, I., Tar, K.:** Szélirányok energetikai célú vizsgálata Kárpátalján. In: Klimaváltozás és alkalmazkodás : 44. Meteorológiai Tudományos Napok, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 29, 2018. ISBN: 9789639931152
12. **Hadnagy, I.:** A függőleges szélprofil statisztikai jellemzői Beregszász beépített területén. In: Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia : Absztraktkötet. Szerk.: Kiss Ibolya, Pincehelyi Zita Éva, PTE TTK Szentágotthai János Protestáns Szakkollégium, Pécs, 39, 2016. ISBN: 9789634290506

További közlemények

Magyar nyelvű könyvek (1)

13. **Hadnagy, I., Hubay, K., Kolozsvári, I., László, E., Szanyi, S., Varga, Z.:** Klimaváltozás a Kárpát-medencében: múlt, jelen, jövő. Márton Áron Szakkollégium, Debrecen, 75 p., 2013. ISBN: 9789638742391





Magyar nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

14. Csoma, Z., **Hadnagy, I.**: A felszíni és a felszín alatti vizek nitráttelhelése Makkosjánosi községben és környékén.
Acta Beregsasiensis 8 (2), 265-271, 2009.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

15. Kohut, E., Kopor, Z., Nagy, B., Csoma, Z., **Hadnagy, I.**: Evaluation of morphometric parameters in case of *Leucojum vernum* L. from the peres forest in velyka dobron wildlife reserve, Western Ukraine.
Acta Biologica Marisiensis. 2 (2), 26-35, 2019. ISSN: 2068-3324.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/abmj-2019-0008>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (4)

16. Csoma, Z., **Hadnagy, I.**, Csoma, Z., Bondarcsuk, T., Balog, N.: Esszenciális mikroelemek felvehető mennyiségének területi eloszlása Kárpátalja mezőgazdasági területeinek talajaiban.
In: Társadalomföldrajzi kihívások és adekvát válaszlehetőségek a XXI. század Kelet-Közép-Európájában. Szerk.: Berghauer Sándor, Dnyisztrjanszkij Miroszlav, Fodor Gyula, Gönczy Sándor, Izsák Tibor, Jakab Natália, Molnár József, Molnár D. István, Papp Géza, Sass Enikő, Vince Tímea, II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Beregszász, 570-577, 2016. ISBN: 9786177404018
17. **Hadnagy, I.**: A napfénytartam és globálsugárzás jellemzői Beregszász környékén.
In: Energia a mindennapokban : verseny és konferencia. Szerk.: Lázár István, Megújuló Energiapark Kutatóközpont Kft., Debrecen, 9-15, 2015. ISBN: 9786155212338
18. **Hadnagy, I.**, László, E.: A napsugárzási viszonyok vizsgálata Beregszász térségében a napenergia felhasználás szempontjából.
In: Természet-, Műszaki és Gazdaság- Tudományok alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Szerk.: Mesterházy Beáta, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 1-8, 2011. ISBN: 9639290696
19. László, E., **Hadnagy, I.**: A lakosságszám és a hőmérséklet változása közötti kapcsolat Ukrajna fővárosában.
In: IX. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok alkalmazása nemzetközi konferencia CD-ROM kiadványa. Szerk.: Mesterházy Beáta, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 1-9, 2010. ISBN: 9639290696



Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

20. Szikura, J., **Hadnagy, I.**, Kolozsvári, I., Kopor, Z., Ljubka, T., Zselicki, I.: Globális és lokális ökológiai és gazdasági problémák az idegen növény- és állatfajok kapcsán (ökológiai és gazdasági biztonság) = Global and local problem of alien plants and animals in general ecology and economics (environmental and economic security).
In: Abstracts-The 5th International Conference on Carpathian Euroregion. Ecology-CERECO 2014. Szerk.: Bárány Sándor, Buczkó István, Hadnagy István, Kohut Erzsébet, Kolozsvári István, Ljubka Tibor, Zselicki István, Pol. "Lira", Beregszász, 104-105, 2014. ISBN: 9786175961469

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

21. **Hadnagy, I.**: The present state of wind power use and its opportunities in Ukraine.
In: VII. Kárpát-medencei környezettudományi konferencia II. kötet. Szerk.: Mócsy Ildikó, Szacsvai Kinga, Urák István, Zsigmond Andrea Rebeka, Szikszai Attila, Ábel Kiadó, Kolozsvár, 760, 2011, (ISSN 1842-9815)

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 0,277

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 0,277

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománytermetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2020.07.14.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Energetic characterization of near surface wind
field in Transcarpathia**

by Hadnagy István

Supervisor: Dr. habil. Tar Károly



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Earth Sciences

Debrecen, 2020

INTRODUCTION, RESEARCH OBJECTIVES

The recent years' linear economic system, i.e. waste of energy sources and raw materials, caused serious environmental problems. Researchers revealed that burning fossil energy sources emits greenhouse gases, thus causing dramatic climatic change. Renewable energy resources are continuously coming to the fore, just like wind energy exploitation in energy production. In the European Union and in numerous countries of the world the freely available wind force potential increase is of primary priority. Nowadays it is timely in the struggle against climate change and wind energy is one of its instruments. Renewable energy resources make up 26.3% of the world's total primary energy production and wind energy's share is 5.1%. Taking into account renewable energy resources, wind energy is second to hydropower and its share among renewables is 19.2%. Wind energy shows a huge potential, especially in its offshore application. The future development of wind energy requires the study of spatial and temporal readiness of wind energy. We have to know those characteristics of near-surface wind field that help introduce wind parks into the electrical system without endangering continuous energy supply.

In Ukraine's renewable and non-traditional energy resource potential map or in the country's Energy Strategy up to 2030 wind energy utilization and capacity expansion come to the fore. Side by side with coastline territories highland areas are emphasized, especially the Carpathian region.

In the process of wind energy exploitation, the local wind conditions and the applied energy conversion system determine the obtainable energy amount. The producible wind energy values can be calculated based on the statistical analysis and/or model calculations of wind data at meteorological stations, as well as on local measurements.

Analysing the energy parameters of the Transcarpathian near-surface wind field we have obtained extra information and wind climate characteristics that significantly contribute to determining energy production indices of a given territory, as well as to the choice of location to build wind parks on. This contributes to the future spread of wind energy exploitation in Transcarpathia.

In the course of energy characterization of near-surface wind field we have set forward the following aims:

- to characterize the statistical indices of wind speed timelines of meteorological stations, the annual, seasonal, monthly and daily course of wind speeds;
- to analyse the structure of empirical wind speed distributions, their adaptation to theoretical distributions;
- to work out wind speed distributions at levels differing from measurement altitude as well;
- to determine the duration of energetically exploitable wind speeds;
- to characterize some extremes, e.g. the statistical structure of windy days;
- to determine the annual, seasonal wind power density at various altitudes;
- to analyse the empirical frequency distribution of some wind directions, their average velocity, relative energy content, as well as their course for various seasons;
- to determine the characteristic and energetically prevailing wind directions;
- to elucidate the occasionally present orographic effects in wind field characteristics;

MATERIAL AND METHODS

In this paper we used the data series of wind speed and wind direction recorded every 3 hours at 8 Transcarpathian meteorological stations, as well as the daily maximum wind speed. The period under analysis lasted from 1 January 2011 to 31 December 2015. The stations are situated in various orographic conditions and altitudes above sea level. The relative difference in altitude between the lowland (Ungvár (Uzhhorod), 112 m) and the highland (Pozsezszevszka (Pozhyzhevs'ka), 1451 m) stations is 1339 m. Therefore, we divided the measuring points in the course of our studies into 3 groups: lowland (Ungvár and Huszt (Khust)), river valley (Nagyberezna (Velykyi Bereznyi), Rahó (Rakhiv) Ökörmező (Mizhhirja) Alsóverecke (Nyzhni Vorota) Alsóhidegpatak (Nyzhnii Studenyi)) and highland (Pláj (Play), Pozsezszevszka) stations.

We have done the wind speed altitude correction. At some meteorological stations under analysis (Ungvár, Huszt, Pláj and Pozsezevszka) the wind speed gauge was placed higher or lower than the prescribed 10 m. The wind speeds measured every 3 hours – due to the comparison of results – were transformed in each case into 10 m above ground level altitude by means of Hellmann exponential equation. We determined the necessary (α) exponent – knowing the environment of the stations and taking into account the suggestions in specialized literature – by means of the chosen roughness parameter (z_0).

We have determined the basic statistic indices of wind speed data series, have analysed them and mapped their territorial distribution. We have approximated the frequency distribution of the measured wind speeds by means of various theoretical distributions. For this aim we have chosen Weibull distribution, Rayleigh-distribution, normal distribution, log-normal distribution, square-root normal distribution and gamma distribution. We have checked the matching of theoretical distributions by means of χ^2 -test at 10%, 5%, and 1% significance levels. We have analysed shape- (k) and scale parameters (c) of the Weibull distribution. Knowing the parameters, we have determined the frequency distribution of wind speed at the altitude of 10, 20, 40, 60, 80 and 100 m, their statistical-energy parameters, the average duration of energetically exploitable wind speeds, as well as the available wind power density. We have analysed the statistical structure of windy days, as well as the daily course of wind speed. Trigonometric polynomials were applied to the daily course of the cubes of 3 hourly average wind speeds. We used an index-number for the study of approximation graph adaptation. It defines the relative extent of approximation and we applied the so-called residual variance to determine it. By means of a graph we showed 24 h and 12 h periods in the daily course of wind speed and wind energy at measuring points. By means of the area below the approximation graph (its definite integral) we determined the given period's and day's average wind power density.

We have characterized the statistical and energy structure of wind directions. We used the statistical test transformed to determine equal probability for the given location and period, as well as for the choice of characteristic and non-characteristic wind directions. In the end we characterized some wind directions' velocity distribution, relative energy value and chose the characteristic wind directions with the highest energy value.

RESULTS

We can make the following most significant statements based on the study of energy characterization of Transcarpathian near-surface wind field.

- **The average wind speed in spatial distribution, the inhomogeneity of the surface, and especially the terrain's flow-modifying influence are strongly manifested.** The average wind speed in the period under analysis changes from 0.8 m/s (Huszt) to 4.88 m/s (Pláj). The ascending order of stations is as follows: Huszt, Ökörmező, Nagyberezna, Rahó, Alsóhidegpatak, Alsóverecke, Ungvár, Pozsezevszka, and Pláj. Based on the wind speeds coefficient of variation the least variable wind is in Ungvár (0.58) and Pláj (0.63), the most variable wind is in Rahó (0.99). Nowhere does the average velocity mode reach 2.0 m/s at 10 m above ground level except in Pláj (2.1 m/s). In the annual course of daily average velocity two lowland (Ungvár and Huszt) and three river valley measuring points (Nagyberezna, Rahó and Ökörmező) showed maximum wind intensity in spring, while two other river valley (Alsóverecke and Alsóhidegpatak) and two highland stations (Pláj and Pozsezevszka) had maximum wind values in winter. On average, there are 86 windy days in Transcarpathia when the speed of gusts reaches or exceeds 10 m/s; among these 15 days are stormy when gusts of wind exceed 15 m/s. The annual average number of windy days varies from 15 (Huszt) to 212 (Pláj).
- **At lowland and river valley stations daily wind speeds are characterized by minimum values at night and maximum ones during the day. The highland Pláj station is characterized by the opposite.** This corresponds to the relation between the wind speed's daily course and planetary boundary layer. One of the characteristic features of planetary boundary layer is that wind speed at near-surface layers, where friction effect is strong, is at maximum during the day, while at night, at 1-1.5 km high mountain peaks and ridges, as well as at the top of planetary boundary layer higher wind speeds can be observed. The difference between the daily minimum and maximum average wind speed of the 3-hour time limits is biggest in summer, smaller in spring and autumn, and the smallest in winter. Therefore, we can be sure that in winter (predominantly) wind speed and wind energy variation during the day will occur more evenly which is favourable for management as well. The annual coefficient of

variation of average wind speed within the time limits varies from 0.04 (Pozsezevszka) to 0.52 (Nagyberezna). It varies from 0.03 to 0.27 in winter, and from 0.10 to 0.71 in summer. In July the difference between the values of wind speed measured during the day and at night is much bigger than in January, which fact testifies to its close relation to temperature.

- **Weibull distribution can be used to describe the frequency distribution of daily average wind speeds of all measuring points except Huszt.** We have determined the (k) and (c) parameters of the distribution by means of multiple methods. The best fitting method can be traced back to the estimation of momentum and we need to know average wind speed, its standard deviation, as well as the characteristics of the gamma function. Weibull distribution gave an acceptable adaptation for the whole period irrespective of the orographic conditions based on the χ^2 test at 10%, 5% and 1% significance levels. In seasonal subdivision Weibull- distribution proved to be appropriate in 83% of cases to approximate the empirical frequency distribution of wind speeds. The seasonal values of the distribution's c parameter at measuring points follow the average values of wind speed. There is a linear relation ($r=0,83$) at 5%- significance level between the scale parameter and the stations' altitude above sea level. 70% of the scale parameter's total variance can be explained by its linear connection with the altitude above sea level.
- By means of the k and c parameters of the Weibull distribution we worked out the frequency distribution of wind speed at $z=20, 40, 60, 80$ and 100 m above ground level. The relationship between one of the parameters (n) of Weibull distribution and Hellmann exponent (α) was verified, however, it requires further analysis. α depends on surface roughness and numerous atmospheric factors, while n depends on scale parameter and altitude only.
- **In Transcarpathia at 100 m above ground level average wind speed reaches 4.0 m/s and exceeds 5.0 m/s only at highland stations (Pláj, Pozsezevszka).** Wind speed increases with altitude, thus at 100 m above ground level it varies from 2.2 m/s (Huszt) to 7.7 m/s (Pláj). Taking into account the mode of Transcarpathian

settlements for the exploitation of wind energy, Ungvár and Pláj are favourable ones, i.e. the most probable wind speed at 100 m above ground level reaches 3.5 m/s and 6.4 m/s. Another highland station Pozsezevszka has relatively high average wind speed (5.9 m/s at 100 m above ground level), however, the high coefficient of variation (0.71 m/s at 100 m above ground level) and the low mode (2.8 m/s at 100 m above ground level) makes continuous and adjusted functioning of wind turbines not possible. Taking into account wind velocity carrying maximum energy area, Khust had the lowest values (1.0- 2.0 m/s at 10 m, 2.0- 3.0 m/s at 100 m above ground level), while Pozhyzhevs'ka had the highest values (8.0- 9.0 m/s at 10 m, 11.0- 12.0 m/s at 100 m above ground level).

- **The duration of energetically exploitable wind speeds ($3 \leq v < 25$ m/s) at lowland and river valley stations (at 100 m above ground level) varies from 35 to 2650 hours per year. At highland stations it lasts on average 3400-5500 hours.** At Pláj a 3 m/s starter speed and 25 m/s highest allowed wind speed turbine would function on average in 62.7% of the year at 10 m (90% at 100 m above ground level). In Ungvár, the lowland area, this value is only around 20% (68.6% at 100 m above ground level). At river valley stations it varies from 6.8% (34.0%) in Ökörmező to 30.2% (58.7%) in Alsóverecke. At lowland and river valley stations average continuous operation time is below 10 hours, while at the highland ones it is over 10 hours. Its coefficient of variation is high at all stations. The most variable here are Pozsezevszka (1.54), Pláj (1.40) and Alsóverecke (1.23). The maximum operating hours at the two highland stations can reach 250 hours, meaning over 10 days of continuous generator operation. The maximum duration of continuous operation time at lowland and river valley stations is usually in spring or late winter, while at highland ones it is in late autumn and winter.
- **We have determined that going up from the ground level by 10 m in the lowland area increases specific wind power on average by 7-8 W/m², in narrow river valleys by 3-5 W/m², while in mountain ridges by 30-35 W/m².** At lowland and river valley stations at the altitude of 10 and 100 m above ground level winter and spring months produce most specific wind power, while late summer produces the least amount. Knowing the (k) and (c) parameters of the Weibull distribution and with the help of the gamma function

($f(x)$) we have determined the annual and some months' average wind power density at the measuring points. We have done the same for $z=20, 40, 60, 80, 100$ m levels as well. In Transcarpathia at 100 m above ground level wind power density varies from 9.3 W/m^2 (Huszt) to 506.8 W/m^2 (Pláj) and it is considered quite a significant difference. Characteristic average values at 100 m above ground level at lowland and river valley stations are only around $30\text{-}70 \text{ W/m}^2$. These average values are relatively very low. The following stations should be highlighted on the basis of wind power density: Ungvár (76.0 W/m^2 at 100 m above ground level), Pozsezszevszka (368.7 W/m^2) and Pláj (506.8 W/m^2). They have the best conditions for energy exploitation at this altitude in Transcarpathia.

- **The per cent rates of the reality of one (24 h period) wave on the basis of the trigonometric polynomials applied for the daily course of the 3 hourly average wind speed cubes decrease at the measuring points with the decrease of the altitude above sea level. At 5% significance level negative linear correlation is observed ($r=-0.86$) between the two variables.** We have analysed the reality rates of one (A_1/E) and two waves (A_2/E) in the daily course of wind speed at $p=0.17$ and $p=0.05$ significance levels. The reality of one wave is predominant mainly from early spring to early autumn, while in autumn and winter its randomness increases. Monthly approximation with trigonometric polynomial two waves of the cubes of 3 hourly average wind speeds shows randomness mostly in late spring and summer months at 0.17 significance level, in winter, early spring and autumn months its reality frequency increases. Thus, in the latter months one can expect striking variability of wind energy within a day: two minimum and two maximum levels. We have estimated wind power density based on the approximation function applied to the cubes of 3 hourly average wind speeds. On the basis of the index-number (s_{0m}) determining the relative extent of approximation, the latter was most successful in Ungvár (0.93) and Nagyberezna (0.93), least successful in Ökörmező (0.77) and Pozsezszevszka (0.73).
- **We have demonstrated that the empirical wind direction distributions at the stations closely reflect the orographic environment, especially in the narrow river valleys.** The number of characteristic directions per station is between 1 and 5, while their total frequency varies from 34.4% (Pláj) to 85.0% (Nyzhnii

Studenyi). At lowland stations and wider river valleys we can see more even distribution and more characteristic wind direction (ranging from 3 to 5) in Ungvár (on Ung (Uzh) plain, in the Ung River valley), Huszt (at Huszt gate, in the Tisza River valley), Nagyberezna (on a wider reach of the Ung River valley), Rahó (on a wider reach of the Fekete-Tisza River). On higher latitude territories at deep river valley stations we found 1-3 meridional characteristic directions, viz: Ökörmező (in the valley of the Nagyág river), Alsóverecke (in the valley of the Latorca (Latorica) river), Alsóhidegpatak (in the valley of the Fehér-ág River). In the air stratum above 1000 m, at the two highland measuring points south-western direction has the highest average velocity, on average 6.0 m/s. In the lowlands and highland river valleys the north-western, northern and north-eastern directions are most windy, with the average velocity of about 2.5 m/s. At highland stations the average velocity of characteristic wind direction is on average 2.5 times higher than at lowland and river valley stations; in case of non-characteristic wind direction the rate is 2.0.

- **We have determined that the average relative energy value of characteristic wind directions varies from 16.0% (Ungvár) to 47.7% (Pláj) and higher values occur at river valley highland stations with few characteristic wind directions.** The annual average relative energy of non-characteristic wind directions varies from 1.8% (Rahó) to 10.0% (Huszt). A characteristic wind direction delivers annually 8.0 times more energy than a non-characteristic one, though its value varies significantly from station to station. Its minimum is in orographically most favourable Ungvár (2.4), while its maximum is in the least favourable environment Alsóverecke (12.2) from the point of view of wind shadow.

Therefore, we can draw the conclusion that in Transcarpathia mostly the highland areas can be relied upon in wind energy exploitation. However, it is easy to expect that the so-called basic air flow speed and probably direction is (can be) significantly influenced by orography. Local wind energy estimation is absolutely indispensable before deployment of a wind park even at locations that seem optimal from climatological point of view because even on a small territory wind energy amount and direction can change within a short period of time; this fact can jeopardize connection of wind parks into the electrical system, as well as their continuous maintenance.



Registry number: DEENK/227/2020.PL
Subject: PhD Publikációs Lista

Candidate: István Hadnagy
Neptun ID: WZ5U46
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10031351

List of publications related to the dissertation

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (1)

1. **Hadnagy, I., Tar, K.:** Szélirányok energetikai paramétereinek területi eltérése Kárpátalján = Territorial Differences of Energetic Parameters of the Wind Directions in Transcarpathia. *Légtér. 64* (3), 115-121, 2019. ISSN: 0133-3666.

Hungarian scientific articles in international journals (1)

2. **Hadnagy, I.:** A megújuló energiaforrások felhasználásának lehetőségei és jelenlegi helyzetük Kárpátalján. *Acta Beregsasensis 9* (2), 187-193, 2010.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

3. **Hadnagy, I., Tar, K.:** The approximation of wind speed distributions with theoretical distributions of meteorological stations located in different orographic conditions. *Időjárás. 123* (3), 329-349, 2019. ISSN: 0324-6329.
DOI: <http://dx.doi.org/10.28974/idojaras.2019.3.5>
IF: 0.277

Foreign language scientific articles in international journals (2)

4. **Hadnagy, I., Tar, K., Molnár, J.:** Analysis of the current state of wind power in the world, Europe and Ukraine, especially in Transcarpathia. *Ukr. Geogr. J. 109* (1), 59-70, 2020. EISSN: 1561-4980.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/ugz2020.01.059>
5. **Hadnagy, I., Tar, K.:** Determination of Energy Parameters of Near Surface Wind Field in Transcarpathia. *Int. J. Renewable Ener. Res. 9* (1), 437-447, 2019. EISSN: 1309-0127.



Hungarian conference proceedings (5)

6. **Hadnagy, I., Tar, K.:** A felszín közeli szélmező energetikai jellemzői Kárpátalján. In: Földrajzi tanulmányok 2018. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 161-165, 2018. ISBN: 9789635088973
7. **Hadnagy, I.:** Kárpátalja (Ukrajna) szélklimájának jellemzői szakirodalmi adatok alapján. In: Környezet és energia a mindennapokban. Szerk.: Lázár István, MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 119-125, 2016. ISBN: 9789637064340
8. **Hadnagy, I.:** A szélenergia felhasználás jelenlegi helyzete és lehetőségei Kárpátalja (Ukrajna) területén. In: IX. Kárpát-medencei környezettudományi konferencia : Konferencia kiadvány. Szerk.: Zákányi Balázs, Faur Krisztina Beáta, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 133-139, 2013. ISBN: 9789633580325
9. Bíróné Kircsi, A., **Hadnagy, I.:** Szélsebesség területi modellezése és verifikációja Debrecen példáján. In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 135-142, 2013. ISBN: 9789633183342
10. **Hadnagy, I.:** A szélenergia hasznosításának klimatikus adottságai Ukrajna tengerparti területén. In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 183-188, 2011. ISBN: 9789637064272

Hungarian abstracts (2)

11. **Hadnagy, I., Tar, K.:** Szélirányok energetikai célú vizsgálata Kárpátalján. In: Klímaváltozás és alkalmazkodás : 44. Meteorológiai Tudományos Napok, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 29, 2018. ISBN: 9789639931152
12. **Hadnagy, I.:** A függőleges szélprofil statisztikai jellemzői Beregszász beépített területén. In: Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia : Absztraktkötet. Szerk.: Kiss Ibolya, Pincehelyi Zita Éva, PTE TTK Szentágotthai János Protestáns Szakkollégium, Pécs, 39, 2016. ISBN: 9789634290506

List of other publications

Hungarian books (1)

13. **Hadnagy, I., Hubay, K., Kolozsvári, I., László, E., Szanyi, S., Varga, Z.:** Klímaváltozás a Kárpát-medencében: múlt, jelen, jövő. Márton Áron Szakkollégium, Debrecen, 75 p., 2013. ISBN: 9789638742391





Hungarian scientific articles in international journals (1)

14. Csoma, Z., **Hadnagy, I.**: A felszíni és a felszín alatti vizek nitráterhelése Makkosjánosi községben és környékén.
Acta Beregsasiensis 8 (2), 265-271, 2009.

Foreign language scientific articles in international journals (1)

15. Kohut, E., Kopor, Z., Nagy, B., Csoma, Z., **Hadnagy, I.**: Evaluation of morphometric parameters in case of leucocjum vernum l. from the peres forest in velyka dobron wildlife reserve, Western Ukraine.
Acta Biologica Marisiensis. 2 (2), 26-35, 2019. ISSN: 2068-3324.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/abmj-2019-0008>

Hungarian conference proceedings (4)

16. Csoma, Z., **Hadnagy, I.**, Csoma, Z., Bondarcsuk, T., Balog, N.: Esszenciális mikroelemek felvehető mennyiségének területi eloszlása Kárpátalja mezőgazdasági területeinek talajaiban.
In: Társadalomföldrajzi kihívások és adekvát válaszlehetőségek a XXI. század Kelet-Közép-Európájában. Szerk.: Berghauer Sándor, Dnyisztrjanszkij Miroszlav, Fodor Gyula, Gönczy Sándor, Izsák Tibor, Jakab Natália, Molnár József, Molnár D. István, Papp Géza, Sass Enikő, Vince Tímea, II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Beregszász, 570-577, 2016. ISBN: 9786177404018
17. **Hadnagy, I.**: A napfénytartam és globálsugárzás jellemzői Beregszász környékén.
In: Energia a mindennapokban : verseny és konferencia. Szerk.: Lázár István, Megújuló Energiapark Kutatóközpont Kft., Debrecen, 9-15, 2015. ISBN: 9786155212338
18. **Hadnagy, I.**, László, E.: A napsugárzási viszonyok vizsgálata Beregszász térségében a napenergia felhasználás szempontjából.
In: Természet-, Műszaki és Gazdaság- Tudományok alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Szerk.: Mesterházy Beáta, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 1-8, 2011. ISBN: 9639290696
19. László, E., **Hadnagy, I.**: A lakosság szám és a hőmérséklet változása közötti kapcsolat Ukrajna fővárosában.
In: IX. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok alkalmazása nemzetközi konferencia CD-ROM kiadványa. Szerk.: Mesterházy Beáta, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 1-9, 2010. ISBN: 9639290696



Hungarian abstracts (1)

20. Szikura, J., **Hadnagy, I.**, Kolozsvári, I., Kopor, Z., Ljubka, T., Zselicki, I.: Globális és lokális ökológiai és gazdasági problémák az idegen növény- és állatfajok kapcsán (ökológiai és gazdasági biztonság) = Global and local problem of alien plants and animals in general ecology and economics (environmental and economic security).
In: Abstracts-The 5th International Conference on Carpathian Euroregion. Ecology-CERECO 2014. Szerk.: Bárány Sándor, Buczkó István, Hadnagy István, Kohut Erzsébet, Kolozsvári István, Ljubka Tibor, Zselicki István, Pol. "Lira", Beregszász, 104-105, 2014. ISBN: 9786175961469

Foreign language abstracts (1)

21. **Hadnagy, I.**: The present state of wind power use and its opportunities in Ukraine.
In: VII. Kárpát-medencei környezettudományi konferencia II. kötet. Szerk.: Mócsy Ildikó, Szacsvai Kinga, Urák István, Zsigmond Andrea Rebeka, Szikszai Attila, Ábel Kiadó, Kolozsvár, 760, 2011, (ISSN 1842-9815)

Total IF of journals (all publications): 0,277

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 0,277

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

14 July, 2020

