

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
Természettudományi és Informatikai Kar
Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék

ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT
**Szélerőműpark kialakítására alkalmas terület kiválasztása geoinformatikai
módszerekkel Csongrád megye példáján**

Készítette:
Csikós Nándor
I. évf. Geográfus MSc hallgató

Témavezető:
Dr. habil Szilassi Péter
egyetemi docens

Szeged

2014

Tartalomjegyzék

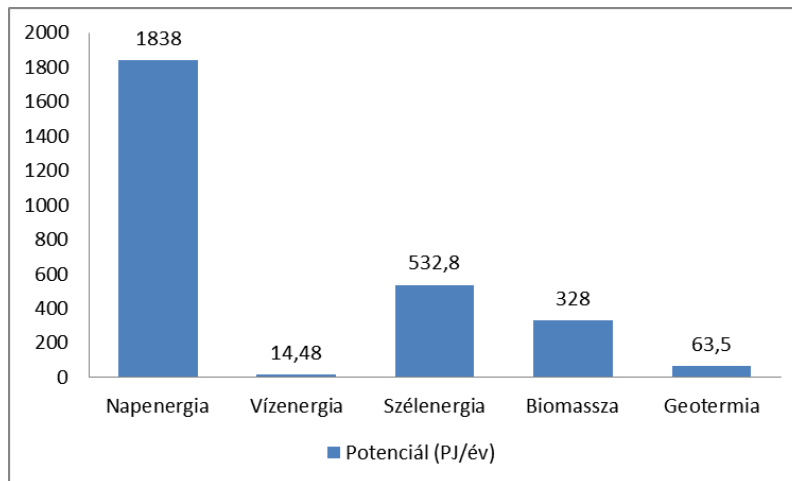
1.	BEVEZETÉS	3
2.	A SZÉLENERGIA-TERMELÉS TÖRTÉNETE	6
3.	SZÉLENERGIA TERMELÉS MAGYARORSZÁGON	9
4.	SZÉLERŐMŰVEK HATÁSA A KÖRNYEZETRE.....	11
5.	ALKALMAZOTT MÓDSZEREK	15
5.1.	SZÉLERŐMŰ TELEPÍTÉST KIZÁRÓ SZEMPONTOK TÉRINFORMATIKAI ELEMZÉSE	15
5.1.1	<i>Védett természeti területek, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők</i>	<i>15</i>
5.1.2.	<i>Erdőterületek és vizek, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők</i>	<i>17</i>
5.1.3.	<i>Beépített területek, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők.....</i>	<i>18</i>
5.1.4.	<i>A közlekedési pályák és az energia hálózat vonalas elemei, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők</i>	<i>19</i>
5.2.	A SZÉLERŐMŰVEK KIALAKÍTÁSÁT INDOKOLÓ TÉNYEZŐK ELEMZÉSE	22
5.2.1	<i>Közlekedési és energia hálózat</i>	<i>22</i>
5.2.2.	<i>A történeti térképek alapján azonosított szélmalomok, mint a szélpotenciál indikátorai</i>	<i>24</i>
5.2.3.	<i>Csongrád megye szélpotenciál térképének készítése térinformatikai módszerekkel</i>	<i>26</i>
6.	EREDMÉNYEK: SZÉLERŐMŰ TELEPÍTÉS SZEMPONTJÁBÓL ALKALMAS TERÜLETEK CSONGRÁD MEGYÉBEN	29
7.	SZÉLERŐMŰPARK ILLUSZTRÁLÁSA.....	32
8.	ÖSSZEGZÉS	33
9.	IRODALOMJEGYZÉK	36

1. Bevezetés

„A megújuló energiaforrás olyan közeg, természeti jelenség, melyből energia nyerhető ki, és amely akár naponta többször ismétlődően rendelkezésre áll, vagy jelentősebb emberi beavatkozás nélkül legfeljebb néhány éven belül újratermelődik.” - Új magyar lexikon, Akadémia Kiadó, 1981. Vízenergia, szélenergia, napenergia, biomassa elektromosság, biomassa fűtés, fotovoltatikus, geotermikus elektromosság, geotermikus fűtés, biodízel és bioetanol. A teljesség igénye nélkül felsorolt megújuló energiaforrások mind a fenntartható fejlődés alapelveit követik, tehát mindegyik néhány éven belül újra termelődik a környezetet. Már pár évtized eltelt azóta, hogy elkezdte az embereket foglalkoztatni a megújuló energiák kihasználásának lehetősége. Ennek fő oka, hogy a fosszilis tüzelőanyagok használata nem egyezik meg a fenntartható fejlődés elképzelésével. A fosszilis energiaforrások közé tartozik a kőolaj, kőszén, földgáz, propán-bután gáz, metán és az urán, mely utóbbit az atomenergia termelés során hasznosítják és a sugárzásával nagymértékben károsítja a környezetét. A fosszilis energiahordozókról elmondható, hogy egyre nehezebb kitermelni őket és a bányászat környezetkárosító hatása is egyre fokozódik. A legnagyobb kárt mégis az elégetésük során keletkezett környezetkárosító anyagok okozzák. Legnagyobb mértékben szén-dioxid keletkezik, mely az üvegházhatás jelenségét erősíti fel, ami a Föld hőmérsékletének további emelkedéséhez vezet. Ezen energiaforrások nincsenek összhangban a fenntartható fejlődés elképzelésével.

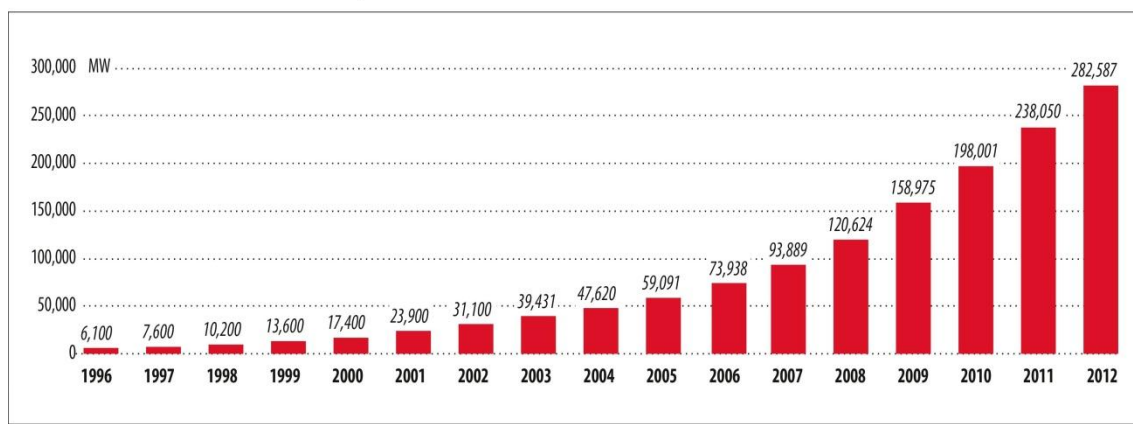
A fenntartható fejlődés fogalma először a Brundtland jelentésben jelenik meg 1987-ben, amely az UNESCO leírása alapján a következő: A fenntartható fejlődés a társadalmi haladás - méltányos életkörülmények, szociális jólét - elérése, megtartása érdekében a gazdasági fejlődés biztosítását és a környezeti feltételek megőrzését jelenti. A méltányos életkörülmények, a megfelelő életminőség, jólét biztosítását kifejező célkitűzés mindenkire - a jövő nemzedékekre is - vonatkozik. A fenntartható fejlődés tehát elismeri és céljának tekinti az egymást követő nemzedékek megfelelő életminőséghez való egyenlő jogának biztosítását, s az ezzel összefüggésben álló köteleességek teljesítését (Internet 6).

A megújuló energiaforrások közül hazánkban a szélenergia rendelkezik a második legnagyobb energiapotenciállal (*1. ábra*). A 2012. évben termelt villamos szélerőműi villamosenergia 2,8 PJ volt (MAVIR 2012).



1. ábra Megújuló energiahordozó típusok energiapotenciálja Magyarországon Imre L. (2006) adatai alapján saját szerk.

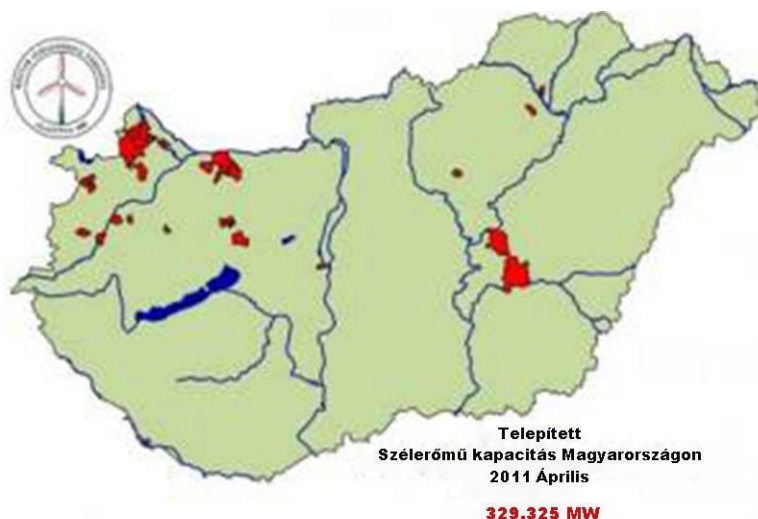
Az első modernebb szélturbinák megjelenése óta rohamosan fejlődik az iparnak ezen ága és az elmúlt 20 évben meg ötvenszereződött a szélerőművek éves összteljesítménye, 1996-ban 6.1GW majd 2012-ben 282,5 GW volt és az előző évhez képest 44,4 GW-ot növekedett. A GWEC (*Global Wind Energy Council*) jelentés alapján 2012-ben az éves összteljesítmény növekedése 2011-hez képest 19%-os, az elmúlt 10 évben az éves átlagos növekedés 22%-os volt (Internet 3) (2. ábra).



2. ábra Globális Halmazott Beépített Szélenergia Kapacitás 1996-2012
(Forrás: GWEC, 2013)

Tehát a növekedés meglehetősen rohamos, világszerte egyre elterjedtebb. A GWEC (2012) kimutatásai alapján Észak-Amerikában és Ázsiában is nagyobb méretű szélenergia parkok építését tervezik. A legnagyobb potenciál Ázsiában rejlik, de itt még lassabb éves növekedés mutatkozik. Európában már a 90-es évek elején elkezdődött a szélenergia telepítése. Az EWEA (2012)(The European Wind Energy Association) statisztikái szerint: 2012-ben 11,6 GW-ot telepítettek, így az összteljesítmény 105,6 GW-ra nőtt. 2013 első félévében pedig 277 offshore turbinát telepítettek és csatlakoztattak az energiahálózatra 1045 MW összteljesítménnyel (Internet 5).

Magyarországon az első szélenergia parkot 2000-ben adták át Inotán, míg az első villamosenergia-hálózatra csatlakoztatott szélenergia park 2001-től Kulcson működik. A Magyar Szélenergia Társaság adatai alapján jelenleg hazánkban 37 szélenergia park található, mely 172 toronnyal közel 330 MW összteljesítményt ér el (3. ábra). Ezek közül mindössze 2 torony található csak az Alföldön. Hazánkban a Kis- Alföldön rejlik a legnagyobb potenciál, de a vizsgálatok alapján, az Alföldön is található elég nagy mennyiségű kihasználatlan szélenergia. Az EWEA 2013-as éves statisztikai kimutatása alapján hazánkban 1,8 GW kihasználatos szélenergia potenciál található, ennek ellenére a 2012-es és 2013-as évben egyetlen új szélenergia parkot sem telepítettek a határainkon belül (Internet 5). Ez csak tovább fokozta a már így is jelentős lemaradásunkat a Nyugat-Európai országoktól (MUNKÁCSY B. ET. AL 2010).



3. ábra Telepített szélenergia kapacitás Magyarországon 2011. Április

A szélenergia parkok a piros területeken találhatóak

(Forrás: MSZET, 2011)

Dolgozatom célja egy Magyarországi viszonylatban jelentős szélpotenciállal rendelkező terület, Csongrád megye példáján alkalmazni a szélerőművek optimális elhelyezését támogató geoinformatikai módszereket. Célom olyan módszertan kimunkálása, mely más területeken (megyékben) is alkalmazható, és újabb adatrétegekkel tovább bővíthető, (például a szélerőművek tervezésének egyik legsarkalatosabb pontját jelentő esztétikai értékeléssel). Tanulmányterület lehatárolásához azért választottam a megyét, mint közigazgatási egységet, mivel bár a megyei területrendezési tervekben van lehetőség a „szélerőmű elhelyezésére vizsgálat alá vonható területek” lehatárolása, eddig nincs még egységes módszertan a szabályozási övezetek lehatárolására. A másik oka annak, hogy elemzésem megyei szinten végeztem, a rendelkezésemre álló térinformatikai adatbázisok méretarány korlátaiból fakad.

2. A szélenergia-termelés története

„A légkörben fellépő áramlások vízszintes irányú összetevőjét szélnek nevezzük. A szél vektormennyiség, amit tehát irányával és nagyságával (sebességével) határozunk meg. A szél jelentős mennyiségű levegőtömegek elmozdulásával, azaz horizontális áthelyeződésével jár, létrejötte tehát erőt követel meg. Ennek az erőnek a létrehozója a levegő vízszintes síkban tapasztalható egyenlőtlen eloszlása, miután az egyensúlyi állapotra való törekvés miatt a légkör egy olyan helyzetet kíván felvenni, hogy benne adott magassági szintben mindenütt egyenlő légnyomás uralkodjék” – PÉCZELY GY. 1998.

A szél energiáját már régóta kihasználják az emberek. Elsőként ötezer évvel ezelőtt az egyiptomiak a vitorlás hajóikkal közlekedtek a Níluson. A szél energiájának a hajózáson kívül az első írásos feljegyzése Hammurápi idejéből származik. Az ókori Babilóniában víz átemelésére használták az első szélmalomokat. Perzsia és Kína területén tárták fel az előbb említett malomokat, amik még vertikális tengelyűek voltak. Nagyobb számban a mai Irán és Afganisztán területén terjedtek el az 500-as években. Ezeket gabonaörlésre és öntözésre használták. A szélmalomokat a keleten járt kereskedők hozták magukkal. A függőleges tengelyről valószínűleg a jobb hatásfok kihasználása érdekében tértek át a vízszintes tengelyre, a hatások további növelését a szélkerék kézzel való szélirányba forgatásával vitték véghez. Az első nyugat-európai horizontális szélmalomok leírása a 15. századból származik (4. ábra). Ezek után egyre nagyobb területeket hódítottak meg és folyamatosan fejlesztették is ezeket a jobb hatásfok elérése érdekében (TÓTH P. ET. AL 2011.).



*4. ábra 19. századi gabonaörlő szélmalom
(Fotó: opusztaszer.hu)*

Az Amerikába vándorló telepéseknek köszönhetően az új földre is eljuthatott ez a technológia. A lapátok dőlésszögét is állítani lehetett a szél erősségének megfelelően, így az élettartamuk nagymértékben megnőtt. Ezt a típust nevezzük Halladay-féle szélkeréknek. Hasznos fejlesztés volt még a farok lemez, amivel a kerék a szél irányába fordulhatott, így ezt a feladatot nem egy embernek kellett egésznap végeznie. A 19. században szélmalomokat felváltották a nagyobb teljesítményű, nagyobb hatásfokú gőzgépekkel meghajtott malmok.

A gőzmalmok megjelenésével a 19. század második felétől Magyarországon is bezárták a legtöbb szél által hajtott malmot és hagyták elenyészni őket.

A Villamosenergia termelés céljából az első szélerőművet 1888-ban C. F. Brush építette Cleveland-ben. A Brush turbina 144 lapátból állt és 17 méter átmérőjű volt. Az ekkoriban készült turbinák lapátjai már acéllemezből készültek. A korábbi fa lapátokat a rossz hatásfok miatt kellett lecserélni, mivel azok nehezek voltak és kevésbé időállóak. Farmok elektromos árammal való ellátását akarta ezzel biztosítani. Vele egy időben a dán Poul la Cour professzor első, majd 1897-ben a második elektromos energiát termelő szélkereket építette meg. 20 évig működtek a dániai Askor közelében. A XX. század elején egyre változatosabb és formailag kifinomultabb szélerőművek jelentek meg köszönhetően a vas és acélipar fejlődésének. Az első több funkciós a víz átemelésére, szivattyúzására és akár elektromos áram termelésére is alkalmazható szélkerekek 1905-ben jelentek meg. Ahogy széles körben elterjedtek az elektromos áramot termelő kerekek megnőtt az igény a keletkezett energia tárolására illetve továbbítására. Megjelentek az első akkumulátorok az

erőművek mellett, melyekkel tárolni lehetett a megtermelt elektromos áramot és más helyen tudták hasznosítani. 1940-es években megjelentek az 1MW-os szél erőművek, ezekkel már egy egész falut el lehetett látni energiával (BARTHOLY J. 2002.)

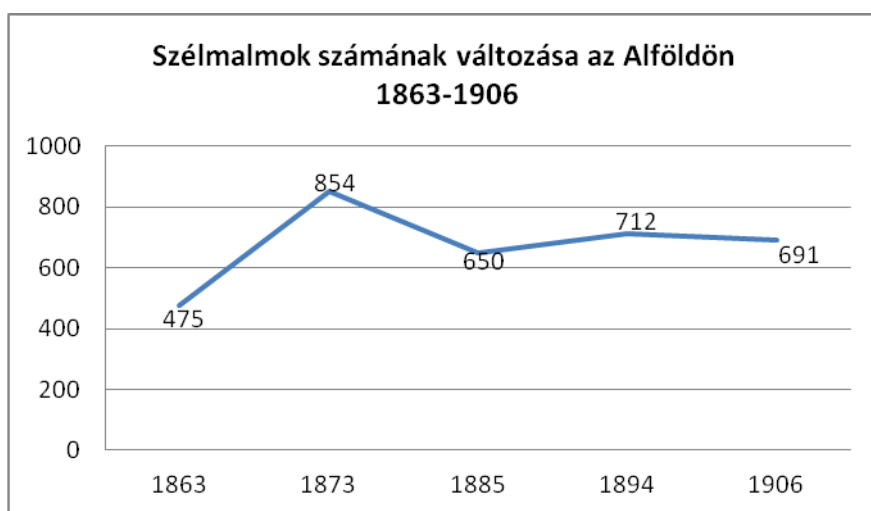
A XX. század közepén a szélenergia termelés fejlődése lelassult, szinte megállt. Ennek fő oka a fosszilis energiahordozókra épülő technika erőteljes fejlesztése elsősorban a II. világháború miatt. Minden technikai fejlesztést ezen energia hordozókkal kapcsolatos volt, míg meg nem jelent az atomenergia. Ennek kutatása lehetővé tette az elszakadást a kőolaj származékoktól, de a szélenergia még továbbra is háttérbe szorult. Ebben a stagnáló időszakban is történtek előre lépések, mint például a dán Johannes Juul által 1950-ben megépített már a villamos hálózatra termelő szél erőmű. Szintén Dániában készült el az első olyan turbina is, ami már váltóáramot termelt és itt készültek elsőnek olyanok, amelyek rendelkeztek túlpörgést gátló aerodinamikai fékrendszerrel és forgatható gondolával. Először a két majd a három tollas modellt gyártották. Mindezekkel a tulajdonságokkal a 200 kW-os Gedser turbina rendelkezett szintén Dániában (TÓTH P. ET. AL 2011).

A szélenergia kihasználásának válságát az 1970-es években beköszönő olajválság oldotta fel. A kőolajban szegény országok egyre több pénzt fordítottak a kutatás fejlesztés ezen ágára és így lassan egy külön iparággá nőtte ki magát. Cégek kezdtek el foglalkozni a turbinák gyártásával, ezek folyamatos korszerűsítésével és fejlesztésével, valamint a telepítésükkel és szél erőmű parkok tervezésével.

A világ első offshore szél erőműve 1991-ben Dániában Vindeby-ben épült (MUNKÁCSY B. 2002.). Ezen turbinák telepítése jóval költségesebb, mint szárazföldi társaiké, mivel a tengeren jóval nagyobb alapot kell építeni nekik és a szállítási költség is magasabb, de a víz érdecsége 0-val egyenlő, ezért a szél sebessége nem csökken, így a turbina hatásfoka jóval nagyobb, mint a szárazföldön. Manapság kiterjedésük már igen nagy, a 100 fölötti turbina számot is meghaladhatja egy-egy park.

3. Szélenergia termelés Magyarországon

TAR K. (2012) szerint a szél energiájának kihasználása Magyarországon a XV. századra nyúlik vissza, bár ekkor még csak helyenként voltak megtalálhatóak szélmalmok. Nagyobb számban a török hódoltság után terjedtek el hazánkban. A XVII. századtól kezdett gyarapodni számuk és a csúcst a XIX. század második felétől érték el. A holland forgatható tetőzetű volt a legelterjedtebb típus Kelet-Európában és hazánkban is. Számuk a következő képen alakult Magyarországon (5. ábra).



5. ábra Szélmalmok számának változása az Alföldön 1863-1906 Tar K. (2012) adatai alapján saját szerk.

A szélmalmok 95%-a hazánkban az Alföldön helyezkedett el, és a 19. század végén és a 20. század elején létesült (TAR K. 2012). Ez a magas szám a mezőgazdasági termelésnek tudható be. A malmokat ekkoriban főként gabonaörlő malmoknak használták, de előfordultak öntözés céljából vízszivattyúzásra is alkalmas szerkezetek. Az Alföldön kisebb a szélesebsége, mint a Kis- Alföldön, de ez a nagyszámú elterjedés is bizonyítja, hogy ez a terület is alkalmas a szél energiájának kihasználására.

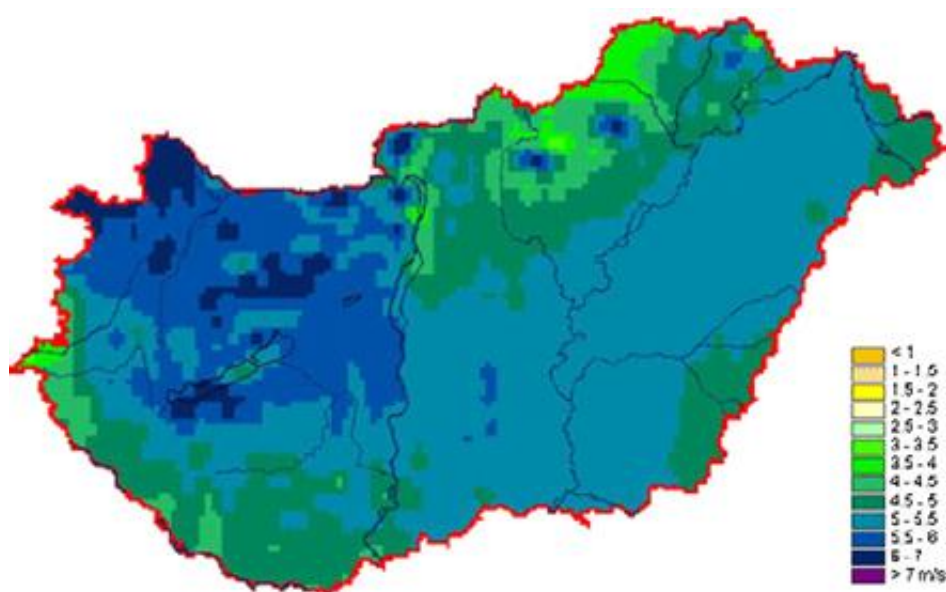
Mivel ezek a szélmalmok az Alföldön sík területen helyezkedtek el, így bevett szokás volt, hogy egy természetes vagy mesterséges dombra telepítették őket. Egészen a 19. század végéig, a vasúti pályák kiépülésig a leggazdaságosabb módja a gabona megőrlésének a szélmalom volt, ezért is terjedtek el nagy számban. Gőzmalmok építése költséges volt, a szélmalmok alkatrészeit nehéz volt átszerelni az új modern gépekbe és a működésükhöz szükséges köszén a sikságon hiánycikk volt. A vasútvonalak kiépülésével a logisztikai

probléma megszűnt és elindult a gőzmalmok térhódítása, ezzel egy időben a szélmalмок pusztulása. Az utolsó példányok 1950-es évekig működtek, majd bezárásuk után a rossz állapotúakat lebontották, a jó állapotban lévőket műemlék védelem alá helyezték vagy múzeumokba szállították alkatrészeiket. Csupán 22 szélmalmot vont az Országos Műemlék Felügyelőség védelem alá. Sajnos 1990-es évek elejéig ezzel meg is szűnt a hazai szélenergia kihasználása (TÓTH P. ET. AL 2011).

A Magyar Szélenergia Társaság (MSZET) szerint a több évtizedes stagnálás után először 2000-ben történt változás, ekkor épült az ország első szélerőműve. Inotán kapott helyett a turbina, ami 250 kW-os. A kulcsi turbina 2001-ben lett üzembe helyezve beépített 600 kW-os teljesítménnyel és ez volt az első, ami már a 20 kV-os hálózatra termelt. Pár évig még továbbra sem kapott lendületre a magyar szélipar. 2002-ben haladta meg az 1MW-ot és 2005-ben is csupán 14 MW volt az országos termelés. A következő években egyre nagyobb összteljesítményű és nagyobb toronyszámú erőműparkok létesültek. Az MSZET 2011-es adatai alapján 37 szélerőmű van az országban 172 toronnyal, közel 330 MW összteljesítménnyel. Ezek közül a legnagyobb parkok: kisigmándi 19 toronnyal és az ikervári 17 toronnyal 38 MW és 34 MW beépített teljesítménnyel. A turbinák 90%-a az ország északnyugati részében találhatóak, de 2 torony helyett kapott az Alföldön is Mezőtúr és Törökszentmiklós mellett. A telepítésük rendkívül megéri a vállalkozónak, mert egy 2 MW-os szélkerék közel 100 millió Forint hasznót termel évente (Internet 4). A jogszabály előírja a szolgáltatónak, hogy mennyiért kell átvennie az így termelt áramot, amely összeg közel duplája a megszokott módon termeltének. Hazánk az előállított energia 4-4,5 %-át megújuló energiaforrásokból állítja elő és ennek az ötöde a szél által termelt energia. A Policy 2020-ra vetített forgatókönyve alapján a célkitűzés 15 %, amiből a szélenergia 3,3 százalékban részesül majd (GKM 2007).

Magyarország adottságai eltérnek a nagy szélenergiát termelő országokétól (Hollandia, Németország) mind természetföldrajzi, és jogszabályi szempontból is. Az Alpok és Kárpátok vonulatai meglehetősen lecsökkentik a szélsébséget. Hazánk területén 2-6 m/s közé tehető az átlagos szélsébség, ami jó, ha 75 méteren eléri az 5-6 m/s-ot. Meteorológiai szélmérések alapján mért sokévi átlag az Alföldön 70-100 W/m² év, míg az ország Északnyugati részén (a Kisalföldön) 160-200 W/m² év szélenergia potenciállal számolhatunk (CSÖSZI M, 2005). Más e téren fejlettebb országokban már régóta találhatóak átfogó és részletes szélterképek, míg hazánkban csak 2005-ben készült el egy a turbinák magasságában lévő szélsébség értékeket

meghatározó térkép (6. ábra). Erről a térképről leolvasható, hogy Csongrád megye területén 75 m magasan az 5-5,5 m/s az átlagos szélsébség (WANTUCHNÉ et al. 2005). Szegeden 1971-2000 közötti szélmérések havi átlagai alapján havonta 10-18 szeles nap jellemző, ami Alföldön lévő területhez képest jó eredmény (TAR K. 2006). Ezzel az értékkel egy szélérőmű már hasznot tud termelni, tehát érdemes ezt a térséget is telepítésre alkalmas területként vizsgálni.



6. ábra Magyarország 75 méter magasságra kalkulált szélsébség térképe
(Forrás: WANTUCHNÉ et al., 2005)

4. Szélérőművek hatása a környezetre

A szélérőművek mesterséges, mechanikus szerkezetek száz méter feletti vertikális kiterjedéssel és száz tonna feletti súllyal, ezért elkerülhetetlenek a környezetre gyakorolt káros hatások. A következőkben ezeket a természetre, élővilágra és emberekre gyakorolt hatásokat fogom bemutatni.

Talajt érő hatások: A pedoszféra nagy területen hatás nem éri, mivel mindössze csak 300 m²/MW szükséges a torony alapjához és az összeszereléshez is elég egy 18x35 méteres terület, ami 630 m² (CSÖSZI M, 2007). A talajt megfelelően rétegenként telepítik vissza a torony felállítása után, így semmilyen káros változást nem hagyva maguk után és a környezetének rendezésére is kötelezettek az építők (1196. LIII. tv. 7. § (2) b)). Általában már

egy meglévő műutat vagy egy talaj utat jelölnek ki telepítő és karbantartó útnak, de ha ilyen nem áll rendelkezésre, akkor rendszerint egy 3,5-5 m széles salakozott utat telepítenek. A domborzati hatásokat is ebbe a kategóriába soroltam, mivel szorosan kapcsolódnak egymáshoz. Bizonyos lejtőszög fölött nem javasolt a turbina elhelyezése, mert felerősítheti az eróziós folyamatokat, de ezt Csongrád megye természeti adottságai miatt itt nem kell figyelembe venni (KÖRMENDY I. 2011). A talajra nehezedő több száz tonna súly miatt a talajszerkezetet meg kell vizsgálni, hogy megfelelően stabil alapot tudnak-e állítani egy erőmű számára. Az általam vizsgált területen, Csongrád megyében főként csernozjom talajok, szikes talajok találhatók, amelyek véleményem szerint megfelelőek a telepítéshez, bár ezek gyakorta magas humusztartalmú, jó termőhelyi adottságú talajok, mezőgazdaságilag fontos területek. A mesterséges burkolás elég komoly környezeti hatást jelenthet, mert nagy talajfelszínt fednek le. A magyarországi szélenergia-tervezésnél a Google Earth-ben végzett mérések alapján minimum 5x50 méteres új bekötőút létrehozása szükséges, ami újabb 250 m² földhasználat turbinaként.

Vízet érő hatások: Az épület telepítése és működése közben sem okoz semmilyen vízszennyezést, mivel nem éri el a vízerőket és a talajvizet, és az ártalajvíz szintjét sem. A pontszerű elhelyezkedésnek köszönhetően a talajvíz is körül tudja áramolni, így azt sem befolyásolja (HORVÁTH G. 2005). Folyó és állóvizet minőségét a magasabb reliefenergiájú területeken befolyásolhatná, eróziós következményekkel járhat, de ezt akadályozza meg a puffer zóna, ami a felszíni vizek köré javasolt (KvVM 2005).

Elektromágneses hatások: Mint minden nagy mozgó tárgy képes elektromágneses zavaró hatást kelteni. Horváth G. (2005) tanulmánya alapján a turbinák esetében a forgó lapátokról visszaverődő jel zavarhatja a telekommunikációt, de ez a nemzetközi előírások betartása mellett elkerülhetővé válik. A mai vizsgálatok mellett teljes mértékben kizárható, hogy az erőműparkokból származó sugárzás élő szervezetre káros hatást gyakorolna.

Zaj és rezgőhatások: Zajnak nevezzük az embert zavaró hangokat. Ez a probléma lokális szintű, tehát csak a szerkezet közelében van hatással. Ahhoz, hogy az embereket ne zavarják a turbina által keltett hallható zajok és a nem hallható frekvenciák, megfelelő távolságra kell telepíteni a településektől és az emberek által gyakran látogatott helyszínektől. A feltételeket a 12/1983. (V. 12.) MT sz. zaj- és rezgővédelemről szóló rendelet tartalmazza (1. táblázat).

Vizsgált terület	Nappal (dB)	Éjjel (dB)
Üdülőterület, üdülőhely, gyógyhely, kórházi, szanatóriumi negyed, védett természeti terület	45	35
Lakóterület és intézményterület laza, városias beépítéssel	50	40
Lakóterület és intézményterület tömör, városias beépítéssel	55	45
Iparterület lakóépületekkel és intézményekkel vegyesen	60	50

1. táblázat Megengedett egyenértékű A-hangnyomásszint 12/1983. (V. 12.) MT sz. zaj- és rezgésvédelemről szóló rendelet adatai alapján saját szerk.

A több turbinából álló parkoktól 500 méterre 40 dB a hangszint a dromstorre.dk sound calculator program adatai alapján, így véleményem szerint lakóépületektől minimum 500-600 méterre kell lennie egy turbina együttesnek. A zaj hangnyomásszintjének mindenféle képen az éjszakai alsóhatárt kell figyelembe venni, mivel leginkább ekkor zavarhatják az embert és az élőlényeket ezen hatások. A hanghullámok éjszaka folyamatosan terjednek, mivel nincs ilyenkor árnyéktér. A zaj mellett a turbinák által keltett rezgés is káros lehet az élőszervezetekre nézve és a mesterséges elemeket is megrongálhatja hosszú távon, de a megfelelően megválasztott védőzónán kívül viszont ez a hatás nem érzékelhető.

Élővilágot érő hatások: Ebből a szempontból elsősorban a madarak és denevérek pusztulását veszik figyelembe. Horváth G. (2005) szerint a madarak pusztulása két okra vezethető vissza: a forgó lapátokat nem veszik észre és nekirepülnek vagy a forgó lapátok által keltett villogó hatása vonuló madarakat odavonzza és eltérítheti őket a vonulási útvonalukról és eközben neki is ütközhetnek a forgó tárgynak. Az erőműpark kikerülése közben is irányt változtathatnak, így letérve a megszokott útvonalról. Ez a jelenség elkerülhető, ha 300 méternél távolabbra vannak telepítve az egyes turbinák egymástól, akkor nem kell kikerülniük az erőműparkot, mert így elférnek a forgó lapátok között a madarak. A területen található állandó fajok tartanak egy minimális távolságot a szerkezetektől. Osztrák megfigyelések alapján a tűzok közel 600 méter távolságot tart, de a madár szaporulatában változás ennek hatására nem mutatható ki. Megállapították, hogy denevérelhullás csak az állatok téli gyülekezőhelyei és telelőbarlangjai közvetlen közelében található (HORVÁTH G. 2005).

A szélérőműveket általában mezőgazdasági területekre telepítik, így az semmilyen változást nem okoz a helyi élővilágban, nem szabdal fel élőhelyeket. A karbantartást, üzemeltetést általában egyeztetik a helyi környezetvédelmi szervekkel, és ha van rá lehetőség a vegetációs időszak után végzik a munkálatokat.

A tájképre gyakorolt hatás: A szélérőműveket nyílt területen kell elhelyezni a gazdaságosság szempontjából. A tornyok ma már 70-120 méter közé esnek a lapátok átmérője pedig 50-90 métert is elérheti, ebből következően akár 20 kilométerről is láthatóak ezek az épületek (*Internet 1*). A helyi lakosság általában meglehetősen megosztott ebben a témában. Többen már a telepítés kezdetekor támogatják azt. Az ellenzők többsége a telepítés után már a működő szakaszban inkább pozitívan áll a dologhoz. A legtöbb ember a jövő szimbólumaként tekint egy-egy szélérőműre, míg a környezetvédők egy része a tájkép lerombolójaként. A gyártók is próbálnak tenni a dologért, ezért a mai erőműveket lekerekített esztétikus formában és tájba illeszkedést segítő festéssel tervezik meg. Telepítésnél próbálják a táj természetes vonalait követni, ezzel is segítve a jobb beilleszkedést (7. ábra)(JURASITS J. 2003.).



7. ábra Szélérőművek elhelyezkedése mezőgazdasági területen

(Fotó: www.mszet.hu)

5. Alkalmazott módszerek

5.1. Szélerőmű telepítést kizáró szempontok térinformatikai elemzése

A vonatkozó szakirodalom, és jogszabályok alapján megnevezhetjük azokat a tényezőket, melyek teljes egészében kizárják a szélerőmű parkok kialakítását. A kizáró tényezőkhez többféle pufferzónát rendelve lehetőségem volt különböző lehatárolások (területhasználat scénáriók) kialakítására.

Munkámban a következő szempontokat tartottam kizáró tényezőnek: védett természeti területek, erdők, állóvizek, beépített területek, közlekedési hálózat, energia hálózat. Az első három tényező felsorolt jogszabályok által is védelmet élvez hazánk területén. A vonalas létesítmények közlekedési utak és az energiahálózat esetében többféle pufferzónát tesztelve hoztam létre olyan „védőövezeteket” melyeken belül kizártam a szélerőművek létesítését.

5.1.1 Védett természeti területek, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők

A védett természeti területeken, az alábbi előírások korlátozzák a szélerőművek telepítését és mekkora területet fednek le. Tájképvédelmi területek közül csak tájképvédelmi szempontból kiemelten kezelendő területeket vettem figyelembe.

- „Ökológiai hálózat területein: védett természeti területeken, ezek védőövezetén, természeti területeken, (ex lege védett területeken, védett értékeken, valamint felszín alatti védett természeti érték esetén azok felszíni vetületének területén sem) és az ökológiai folyosókon [1996. évi. LIII]. Védett állatfajok tömeges előfordulásával jellemezhető, illetve fokozottan védett állatfajok élő-, táplálkozó- és fészkelő helyén, vonulási útvonalán, és azok közvetlen környezetében [1996. évi. LIII. törvény 1990/7. Berni egyezmény];
- Védett növényfajok, növénytársulások tömeges előfordulásának, illetve fokozottan védett növényfajok, növénytársulások előfordulásának területén [1996. évi. LIII. törvény a, Bonni Egyezmény, 1990/7., Berni egyezmény];
- Nemzetközi szerződés hatálya alá tartozó területeken [Ramsari Egyezmény 275/2004 (X. 8.) Korm. rend. [1996. évi. LIII. törvény]
- Egyedi tájértékekhez tartozó területeken [1996. évi. LIII. törvény] világörökség területek, kiemelkedő jelentőségű tájképi értékekkel rendelkező területeken vagy tájképvédelmi övezetekben [1996. évi. LIII. 2003. évi XXVI. törvény] Érzékeny

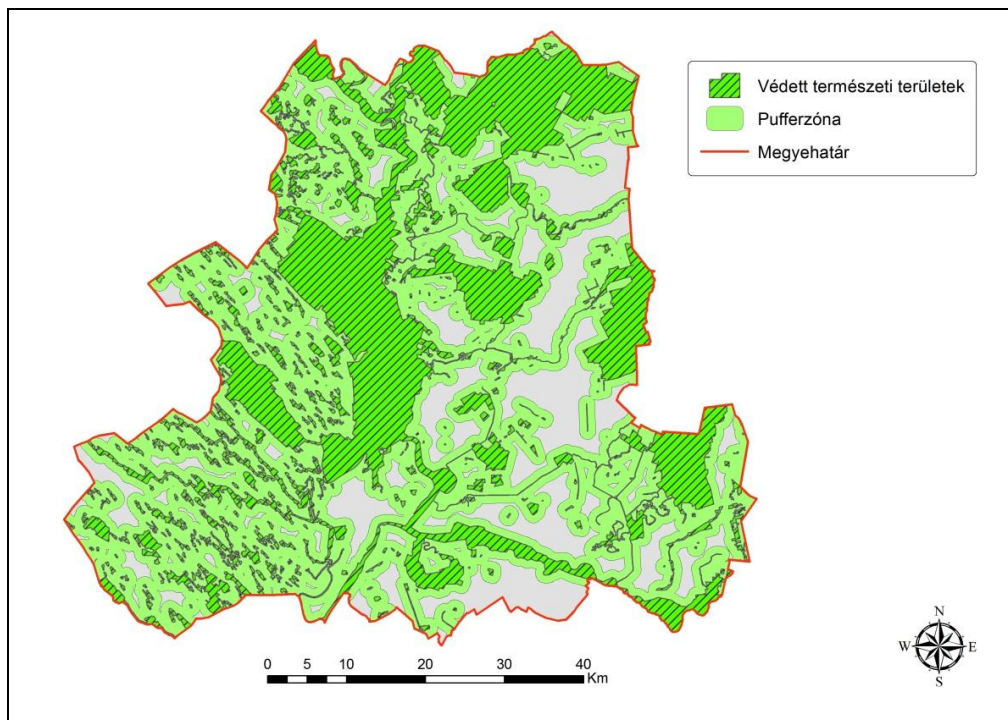
természeti területeken egyedi indokoltság esetében [2/2002. (I. 23.) KöMFVM] együttes rendelet.” – *Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Tájékoztató a szélerőművek elhelyezésének táj- és környezetvédelmi szempontjairól, 2005*

Az Európai Unióhoz való csatlakozásunk után kötelező jelleggel ki kellett jelölnünk a Natura 2000-es területeket az országban. A Natura 2000-es területek két féle területi egységet foglalnak magukba: különleges madárvédelmi területeket, és különleges természet-megőrzési területeket. Csongrád megye közel 25%-át borítják ilyen különleges területek.

A Natura 2000-es területek és a védett természeti területek köré a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium ajánlása szerint 800-1000 méteres puffer zónát kell létrehozni, hogy az élőlényeket már csak minimális hatás érje. Az értékelésem során a 800 és az 1000 méteres puffer zóna szerinti lehatárolást is elvégeztem (MUNKÁCSY B. ET. AL 2010.).

ArcGIS 10. környezetben a természetvédelmi információs Rendszer digitális állományának felhasználásával leválogattam a NATURA 2000-es területek poligonjait, majd 800 és 1000 m-es pufferzónákat készítettem a poligonok köré. Az ily módon kialakított pufferzónákat a szélerőművek telepítésére alkalmatlan területeknek definiáltam.

A védett természeti területek Csongrád megye területéből ($4262,7 \text{ km}^2$) $1352,3 \text{ km}^2$ területet foglalnak el, ami a vizsgált terület 31,7 %-a. Ez az érték 800 méteres puffer zónával: $3328,9 \text{ km}^2$, a vizsgált terület 78,1 %-a. 1000 méteres védőzóna esetén: $3582,6 \text{ km}^2$, a vizsgált terület 84 %-a (8. ábra).



8. ábra Védett természeti területek 1000 méteres pufferzónával Csongrád megye területén

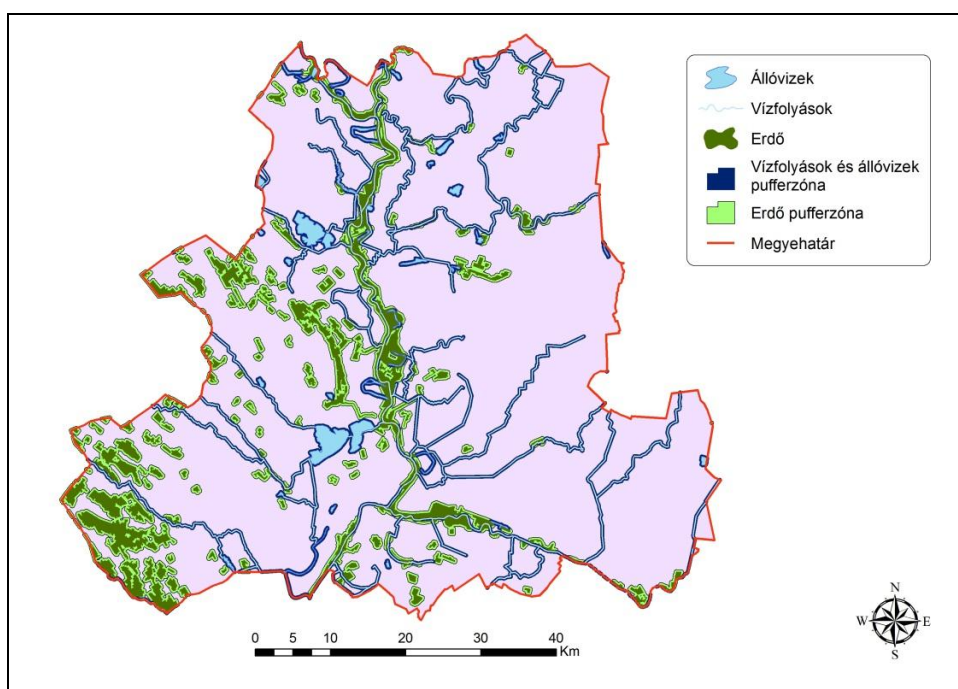
5.1.2. Erdőterületek és vizek, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők

Magyarországon az erdők, facsoportok foltjaihoz - főként élővilág védelmi megfontolások miatt, 250 méteres védőövezet ajánlott (MUNKÁCSY B. 2011.).

A vízfolyások és állóvizek területére szintén nem lehet telepíteni és azok közvetlen közelébe sem, mert a talaj szerkeze nem megfelelő egy stabil alap létrehozásához. Itt is a 250 méteres védőövezet ajánlott a gyengébb szerkezetű talaj és az áradások elkerülése miatt. Állóvizeink nagyon gyakran a védettségtől függetlenül jelentős élőhelyek, ezért 250 méter helyett a védett természeti területekre érvényes 800-1000 méteres védőzónát alkalmaztam.

ArcGIS 10. környezetben a 1:100 000-es méretarányú CORINE 2006 digitális felszínborítási adatbázisból leválogattam a tavak, és az erdőterületek poligonjait, majd 250, 800 és 1000m-es pufferzónákat készítettem a poligonok köré. Az ily módon kialakított pufferzónákat, a szélerőművek telepítésére alkalmatlan területeknek definiáltam.

Felszíni vizek és erdőterületek Csongrád megye területéből 638 km²-t, azaz a terület 8,4 százalékát foglalnak el. Ez az érték a puffer zónák alkalmazásával 1052,6 km²-re és 24,7 %-ra nő (9. ábra).



9. ábra Erdők és felszíni vizek 250 méteres pufferzónával Csongrád megye területén

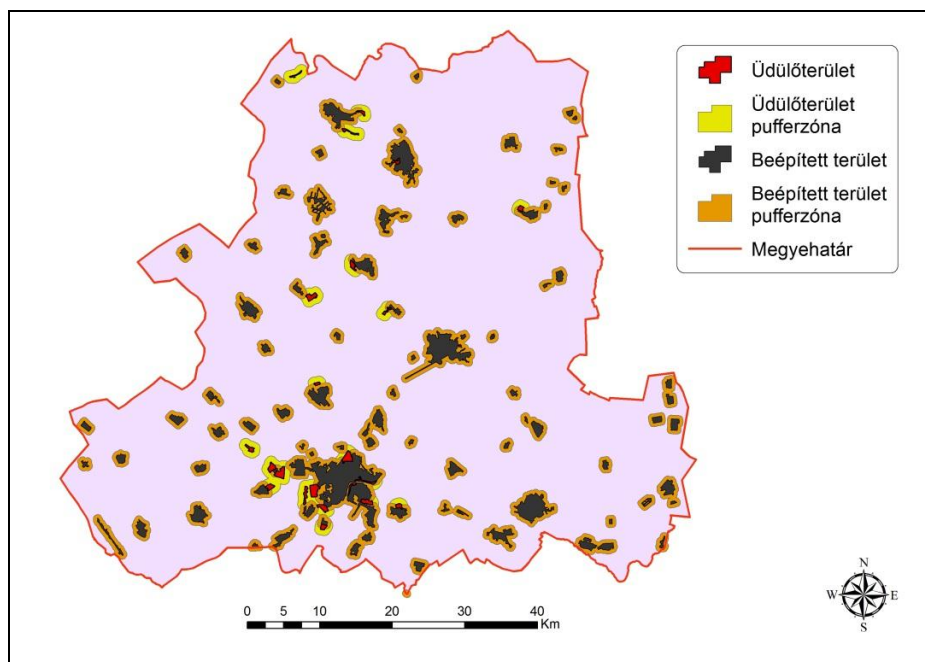
5.1.3. Beépített területek, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők

Településeknél a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium ajánlása szerint - a szélerőművek zajkibocsátása miatt - 500 méteres védőzóna kialakítása ajánlott, így én is ekkora puffer zónát használtam. (KvVM, 2005.).

A dromstorre.dk Sound calculator szoftver alkalmazásával a védőzónák kialakítását kvantitatív eredményeimmel is meg tudtam erősíteni. Egy 2MW-os turbina 105 dB értéket produkál közvetlen közelben, ez az érték 500 méter távolságban 40 dB, 800 méter távolságban pedig 35,9 dB-re csökken. A kapott eredmények a már fentebb említett határértékeknek megfelelnek (Internet 2). Ilyen távolságból már a keletkezett zaj és rezgés sem okozhat környezetvédelmi problémát. Az üdülőterületek más kategóriába tartoznak, mert ide általában pihenni mennek az emberek és ezért ezek köré 800 méteres puffer zónát találtam megfelelőnek. Az üdülőterületek esetében még a tájkép megváltozása az, ami nagyban kizárhatja a telepítést, mert így elveszítheti különleges értékét az üdülőterület, látogatottsága visszaeshet, éppen ezért néhány kilométeres távolságon belül nem ajánlott a turbinák telepítése. ArcGIS 10. környezetben a 1: 100 000-es méretarányú CORINE 2006 digitális felszínborítási adatbázisból leválogattam a beépített területek poligonjait, majd 500 m-es

pufferzónákat készítettem a poligonok köré. Az ily módon kialakított pufferzónát nem tartottam alkalmasnak szélérőművek telepítésére.

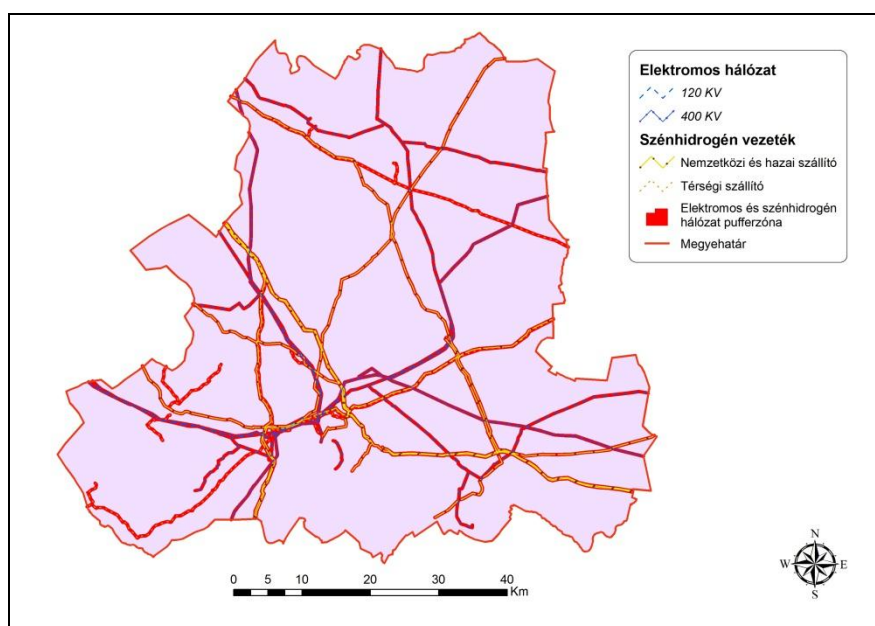
A megye területéből 199,5 km² területet foglalnak el ezek a területek. Védőzónával ez az érték 682,44 km²-re növekszik (10.ábra).



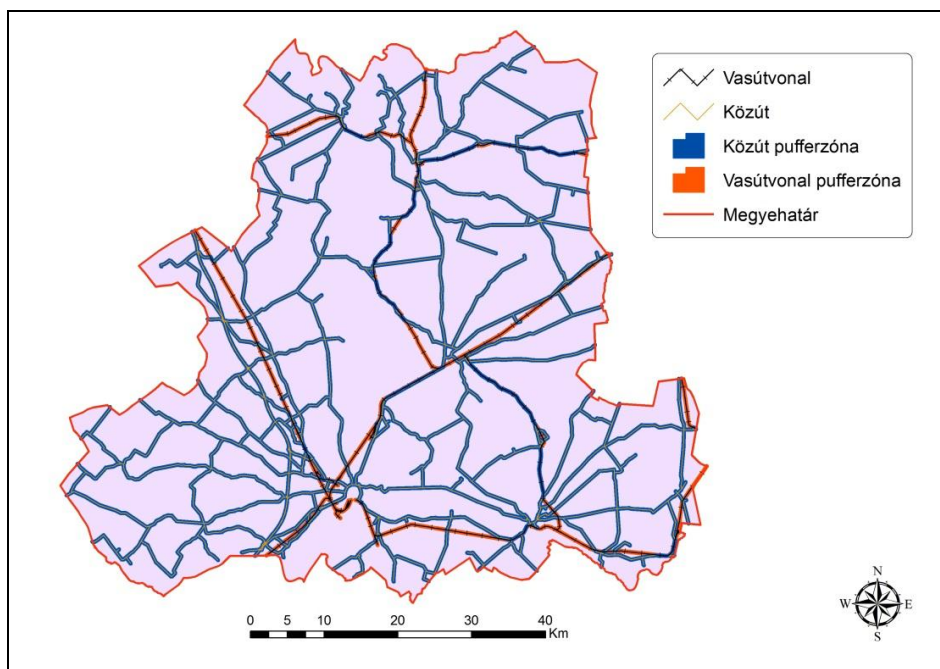
10. ábra Beépített és üdülőterületek 500 illetve 800 méteres pufferzónával
Csongrád megye területén

5.1.4. A közlekedési pályák és az energia hálózat vonalas elemei, mint a szélérőművek telepítését korlátozó tényezők

Véleményem szerint a közút, vasút és energia hálózat köré is szükséges 250 méteres védőzóna tervezése, a vezetékek esetleges sérülésének elkerülése érdekében. Az elektromos hálózathoz a nagyobb 400 és 120 kV-os hálózatokat digitalizáltam és vettem figyelembe, míg a szénhidrogén hálózathoz a nemzetközi és hazai fő és a térségi szállító vezetékeket. (Tóta A. 2009.) Meglehetősen nagy terület esik ki ezek miatt a telepítésre alkalmas felszínnek közül. A földutakat és alsóbbrendű mellékutakat nem soroltam a telepítést kizáró szempontok közé, mivel azok a telepítést elősegítő kategóriába tartoznak. Az elektromos és szénhidrogén hálózat illetve a közlekedési hálózat a fent említett védőzónával 500 km²-t foglalnak el a megye területéből (11. és 12. ábra).



11. ábra Elektromos és szénhidrogén hálózat 250 méteres pufferzónával
Csongrád megye területén



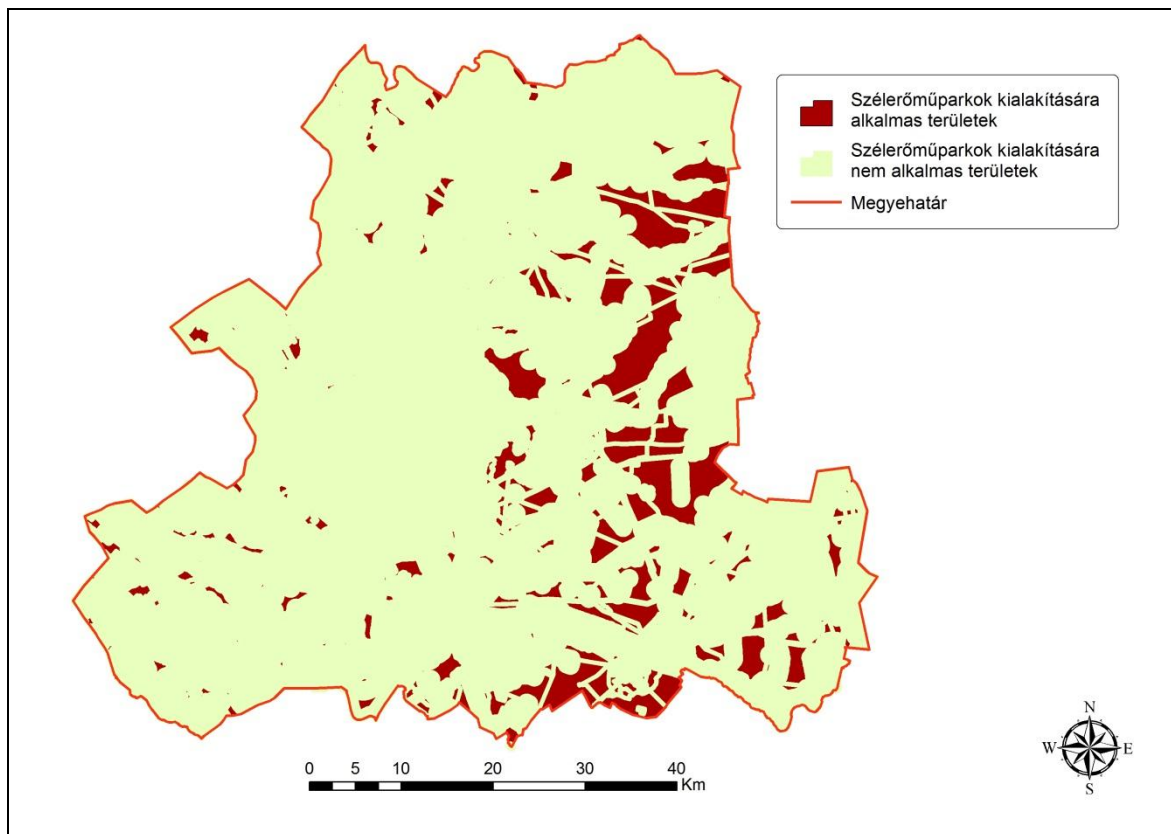
12. ábra Közút és vasút hálózat 250 méteres pufferzónával Csongrád megye területén

A kizáró tényezők és a szegélyeikhez rendelt pufferzónák nagysága négyzetkilométerben kifejezve az alábbi táblázatban van összesítve (2. táblázat).

Kizáró tényező	Terület (km ²)	Terület puffer zónával (km ²)	Pufferzóna mérete (m)	Csongrád megye területéből pufferzónával (%)
Védett természeti terület A verzió	1352,3	3328,9	800	78,1
Védett természeti terület B verzió	1352,3	3582,6	1000	84,0
Erdők, vizek	638	1052,6	250	24,7
Beépített terület	184,4	548,2	500	12,9
Üdülőterület	15,1	125,6	800	2,9
Közlekedési és energia hálózat	n.a.	500	250	11,7

2. táblázat A kizáró tényezők területi nagysága és pufferzónák mérete

Az 1. táblázat alapján láthatjuk, hogy a védett természeti területek és puffer zónájuk foglalja el Csongrád megye legnagyobb részét, míg az üdülő és beépített területek csak csekély arányt képviselnek. Ha az összes kizáró illetve korlátozó szempont pufferzónáját összevonjuk, meglehetősen kevés terület marad alkalmas szélérőművek létesítésére (13. ábra).



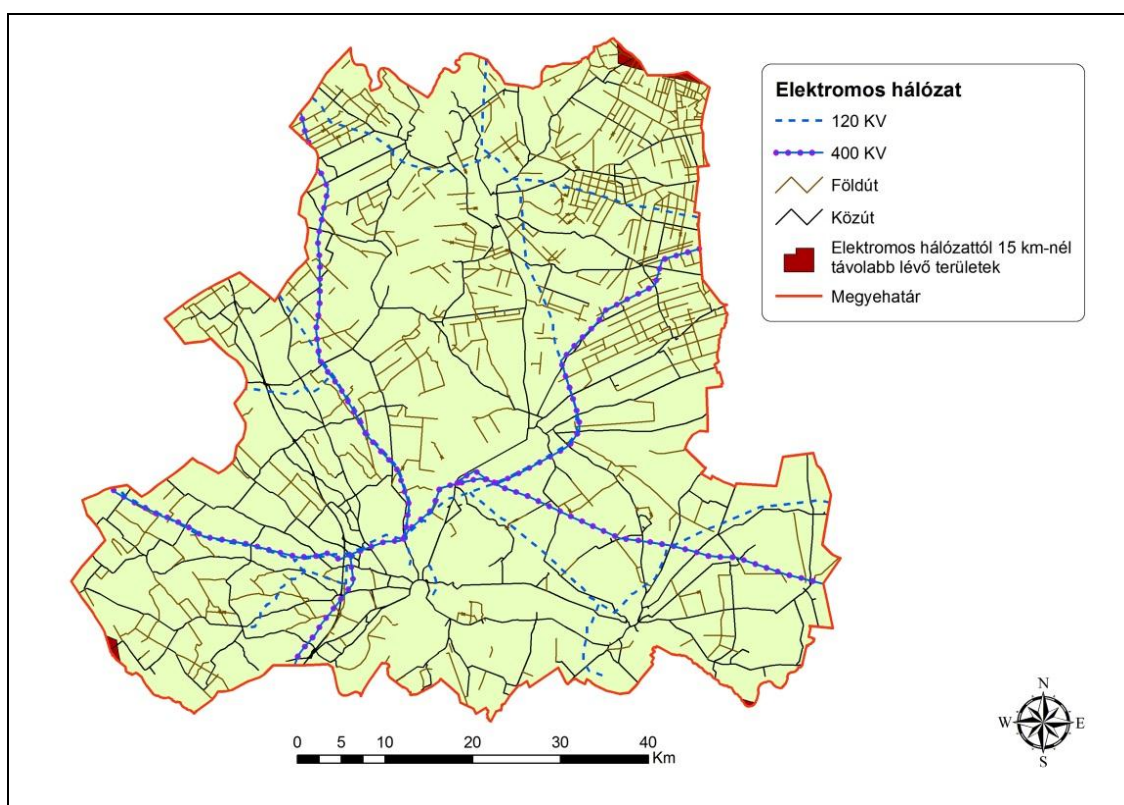
13. ábra A szélérőművek telepítését kizáró tényezők és a körükön volt pufferezónák összesített térképe a legnagyobb pufferezónával számolva Csongrád megye területén

5.2. A szélérőművek kialakítását indokoló tényezők elemzése

5.2.1 Közlekedési és energia hálózat

Telepítést segítő tényezők közül meglehetősen kevesebb van, mint a kizáró szempontokból. A földút és az energiahálózathoz a villamos energia hálózata bizonyul pozitív tényezőnek egy vagy több turbinás park installálásakor, mivel így a beruházás költségei jelentősen csökkenthetők. A 120 illetve 400 kV-os magasfeszültségű vezetékrendszer 250 méteres közelébe nem lehet telepíteni turbinát, de a közcélú hálózatra való csatlakozáshoz nagyon fontos, hogy minél kisebb távolságra legyenek ezekről a távvezetésektől. A megtermelt energiát földkábelben keresztül 1-1,5 méter mélységben vezetik el, így a föld felett nem találhatók vezetékek és oszlopok. Csak a 15 kilométernél hosszabb nyomvonalak esetében kötelező a környezeti hatásvizsgálat, ezért célszerű a szélérőmű parkokat ezen a távolságon belül kialakítani. A vezetékek köré generált 15 km-es pufferezóna tehát itt, mint a telepítést támogató tényező jelenik meg.

Vizsgálataim alapján csupán a megye észak-keleti és dél-keleti részén néhány négyzetkilométeres terület esik az így kialakított zónán kívülre. A földúthálózat a telepítés és karbantartás szempontjából nagyon fontos, mivel jelentős költségsökkentő hatású, ha nem kell új burkolt szervíz utat létrehozni. Ezek az utak általában 3,5-5 méter széles zúzott kővel vagy salakkal borították. Az úthálózatot, tehát mint a telepítést támogató tényezőt vettem figyelembe. Arc GIS 10 környezetben digitalizáltam Csongrád megye 120 és 400 kV-os magasfeszültségű vezetékrendszerét, majd 250m és 15km-es pufferzónákat készítettem a vonalas állomány köré. A két pufferzónát fedésbe hozva egymással megkaptuk a közlekedési és energetikai infrastruktúra nyomvonalai alapján lehatárolt szélerőművek telepítésére kiválóan alkalmas területeket (HORVÁTH G. 2005)(14. ábra).



14. ábra Szélerőmű telepítését segítő vonalas infrastruktúra elemek Csongrád megye területén

5.2.2. A történeti térképek alapján azonosított szélmalomok, mint a szélpotenciál indikátorai

KEVEINÉ BÁRÁNY I. (1991) publikációjában felhívta a figyelmet rá, hogy a szélmalomok, mint a szélenergia potenciál első kihasználási formái alkalmasak a szélenergia adottságok becslésére. A szerző munkájában térképen is bemutatta az alföldi szélmalomok területi eloszlását. Dolgozatomban Csongrád megye történeti térképek adatainak felhasználásával készítettem el a szélpotenciál becslésére lehetőséget kínáló szélmalomsűrűség térképet.

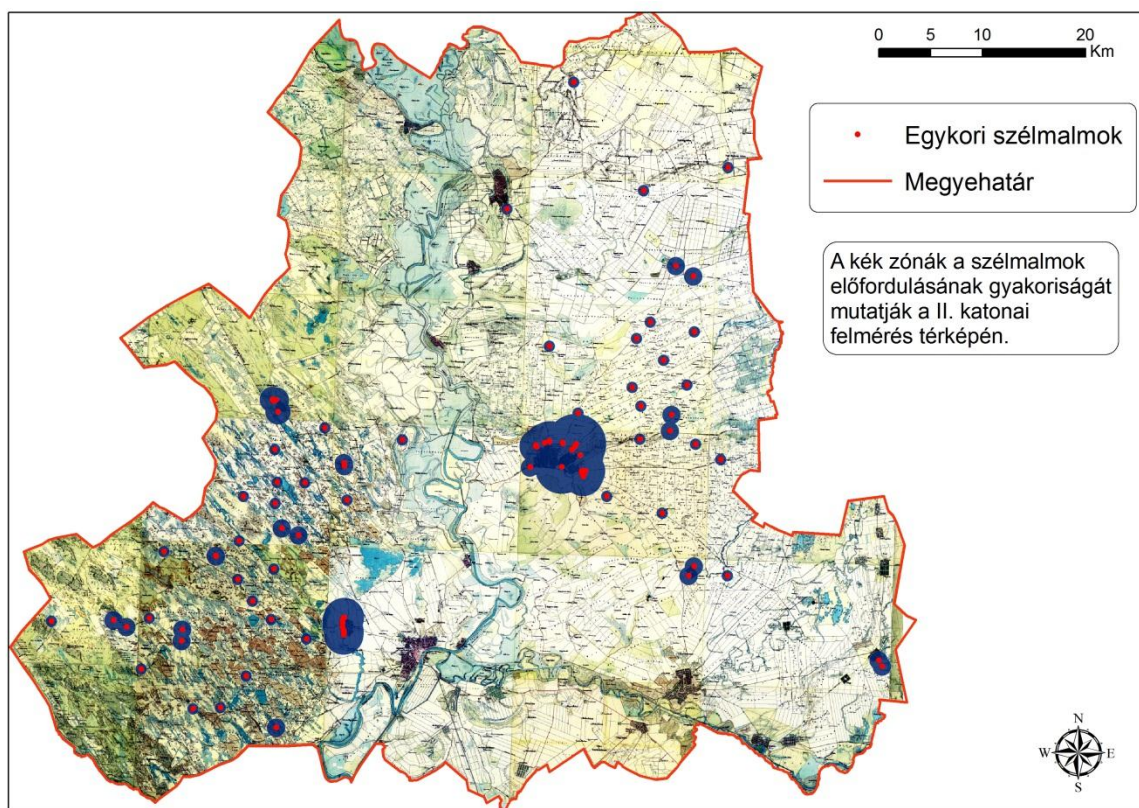
Magyarországon a 19. század második felére tehető a szélmalomok virágkora. Ebből a korszakból a legpontosabb és legteljesebb térképre volt szükségem, amely alapján be tudtam digitalizálni Csongrád megye területén található szélmalomokat. A II. katonai felmérés térképének elkészítését az egész monarchia területére elrendelte I. Ferenc császár. A térkép magyarországi részét 1819-1869 között rajzolták meg a térképészek, így ez volt a legmegfelelőbb térképi adatbázis a számunkra, hiszen az irodalmi források alapján 1873-ban volt a szélmalomok számának a csúcsa (854 db.)(BÁRÁNY I. et al. 1970). A felmérés lapjait DVD-n az ARCANUM KFT által georeferált 1:28800-as állományt használtam fel (ARCANUM 2006.). A szükséges területet két részletben HD72/EOV vetületi formában ki tudtam exportálni a lemezzről. A digitalizálás során megyét felosztottam egyenlő területekre és ezeket egyesével átnézve, vizuális interpretáció révén azonosítottam a szélmalomokat. A jelzett időszakban készített katonai térképlapok alapján összesen 96 szélmalmot sikerült azonosítanom Csongrád megyében, Főként a megye keleti és dél-keleti területein tapasztaltam nagy szélmalom sűrűséget. A térképhez ezek után hozzáadtam a Csongrád megye polygon shape állományát, amit Magyarország közigazgatási határai vektoros állományból válogattam le a Select by Attributes eszköz segítségével és mentettem el új állományként.

Egy pontok alapján elkészíthető sűrűség térképet többféleképpen is elkészíthetünk. Az első az egyszerűbb és egy raszteres állományt eredményez az ArcMap Kernel density eszközzel. Input point feature a szélmalom pontok, a Search radius-t pedig 3 km-re állítottam, ami azt jelenti, hogy 3 km sugarú körben keres más pontokat és az alapján ad értékeket a pixeleknek és generál egy raszteres állományt. Minél sötétebb színű a kék folt, annál sűrűbben helyezkednek el egymáshoz képest a szélmalomok.

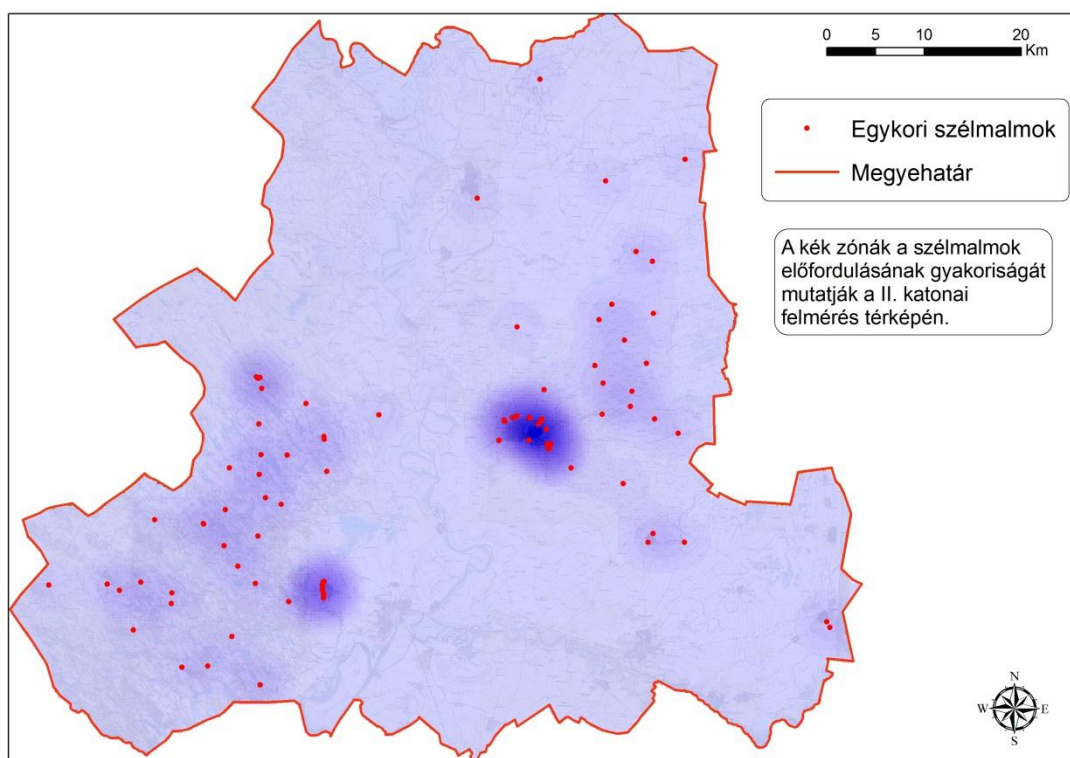
A második lehetőség több lépésből áll. A szélmalom pontok köré Quantum Gis programban 3 km-es puffer zónát hoztam létre, majd Pontok a felületben eszközt elindítottam, input pont

vektor az egykori szélmalomok és input felület vektornak a létrehozott puffer zónát állítottam be. A program minden egyes ponthoz hozzá rendeli a ponthoz tartozó zónán belül található pontok számát. A növekvő szimbólumoknak köszönhetően minél nagyobb a felületekben lévő pontok száma, tehát minél több szélmalom található egy másik szélmalom 3km sugarú közelében, annál nagyobb méretűvé válnak a kör alakú felületek, így mutatva meg sűrűségüket. Az eredmény mindkettő esetben hasonló, de az egyik raszteres a másik vektoros állományt ad.

Szélmalomok sűrű előfordulása főleg nagyobb mezővárosok környékén figyelhető meg (Szeged- Kiskundorozsma-Hódmezővásárhely). A megye dél-nyugati és keleti részén találhatóak még nagyobb számban szélmalomok, de itt szórtan, főként a magántulajdonban lévő tanyákon. Általában elmondhatjuk, hogy a szántóként művelt mezőgazdasági területeken elég nagy számban alkalmazták a szélmalomokat, ezzel kihasználva a Dél-Alföld szélenergia potenciálját (15. és 16. ábra).



15. ábra A szélmalomok sűrűsége az 1870-es években a II. katonai felmérés adatai alapján
(vektoros állomány)



16. ábra A szélmalomok sűrűsége az 1870-es években a II. katonai felmérés adatai alapján
(raszteres állomány)

5.2.3. Csongrád megye szélpotenciál térképének készítése térinformatikai módszerekkel

Szélerőművek telepítéséhez nélkülözhetetlen a telepítésre szánt területek szélesebbességi adatainak ismerete. Az Országos Meteorológia Szolgálat 2005-ben készített egy szélesebbességi térképet az egész országra, melyet különböző módszerekkel interpolálva 2 km-es raszteres felbontásban publikáltak. Ez az egész országot lefedő térkép a kevés mérőállomás miatt területi szinten sajnos elég pontatlan. Megyei elemzésemhez szükségem volt tehát egy országosnál sűrűbb állomáshálózat éves átlagain alapuló adatbázisra. Az Országos Meteorológiai Szolgálattól a megye 4 mérőállomásának adatait kaptam meg, hosszú idősorban havi átlagok formájában. Az időkép.hu adatbázisban szereplő 3 mérőállomás (Szentes, Hódmezővásárhely, Szeged pláza) havi átlagait is megkaptam több mint egy éves idősorban. Az M5-ös autópálya Csongrád megyei szakaszától 4 különböző adatsorhoz jutottam hozzá az ÁAK ZRT.-nek köszönhetően és szintén 4 adatsorhoz az M43-as autópálya kezelőjétől az AKA ZRT.-től. Mind a két autópálya kezelő cég az úthálózatuk mentén elhelyezett mérőállomások adatait biztosította a számomra. A megyén belülre így összesen a

15 állomás havi átlagos szélesség adatsora volt elérhető, de az interpolációhoz szükség volt vizsgálat alá vont területen kívülre eső adatokra is. Erre a célra az ogimet.com honlapról nyert szélesség adatokat használtam fel. Itt egyes városok szélesség adatait nyerhetjük ki általunk beállított intervallumon belül. Az adatsor tartalmazza a szél sebességét, irányát, a mérés dátumát és koordinátáját. Először jegyzetömbbe lementve majd Excel táblázatként szerkesztve függvények segítségével kinyertem a számomra megfelelő adatokat. Csongrád megye határain kívül eső városok közül: Arad, Baja, Békéscsaba, Kecskemét, Kikinda, Újvidék (Novi Sad), Palics, Szolnok, Zombor szélesség adatait alkalmaztam az interpolációhoz.

Az adatok előkészítése során mérőállomások koordinátái rendre WGS84 vetületi rendszerben megadott földrajzi koordinátákat átszámoltam EOVI vetületi rendszerbe. Mivel a meteorológiai állomások adatai a földfelszín közelében mérteket reprezentáltak, ezért a Hellman hatványfüggvény segítségével kiszámítottam a szél sebességét 70 m, 100 m és 120 m magasságokra vonatkoztatva. Mérőállomások szabálytalan elhelyezkedése az interpoláció folyamán torzulásokhoz vezethet, ami befolyással van a kész raszteres állományra.

A képlet a következő:

$$v_w(h) = v_{10} \cdot \left(\frac{h}{h_{10}} \right)^a$$

ahol a: $V_w(h)$ = szélesség az általunk megadott magasságban, h[m/s]

V_{10} = 10 m magasságban mért szélesség [m/s]

h = a turbina magassága

h_{10} = 10 méter magasság

a = Hellman kitevő

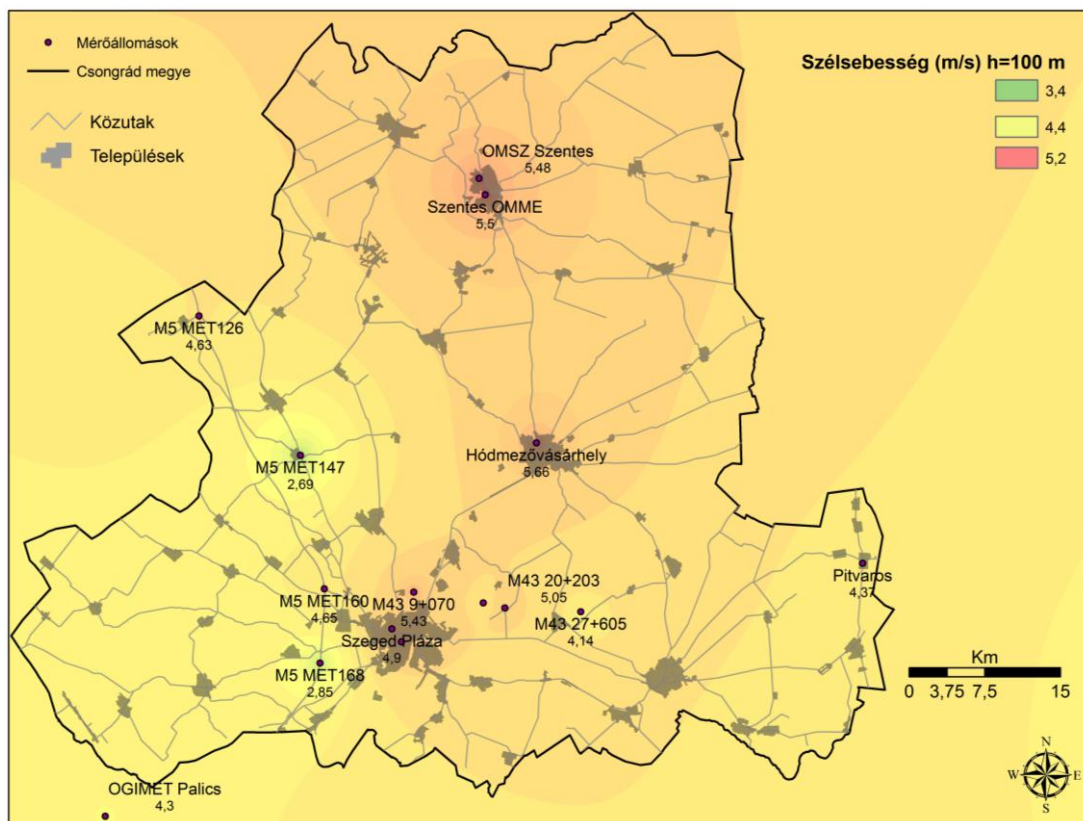
A Hellman kitevőt a Davenport féle osztályos alapján állapítottam meg. Legtöbb számítás esetében a 0,25-ös 'Rough' (érdes) osztályt használtam, ami természetes vagy termesztett magasabb növények, szétszórt 12-15 m magas porózus természetes akadályok (pl. mezővédő erdősávok) vagy 8-12 m magas épületek esetében alkalmazható. A 0,5-ös 'Very Rough' (nagyon érdes) osztály, ami intenzíven művelt táj, nagy akadály csoportok (nagy gazdaságok, erdőfoltok), alacsony sűrűn ültetett nagyobb kiterjedésű terület, mint például gyümölcsösök, fiatal erdő, fás bokros terület és alacsony épületek által lefedett térségek esetén használatos. Beépített területen vagy annak közvetlen közelében használtam a 0,5-ös kategóriát. A földfelszín közelében mért adatokat Microsoft Excel táblázatkezelő szoftver

segítségével számítottuk ki, 70 m, 100 m és 120 m magasságokra. KIRCSI A. (2004.) vizsgálatai alapján Magyarországon 60 méternél magasabb régiókban már nem okoz jelentős zavaró hatást a felszín érdessége. (3. táblázat).

Mérőállomás neve	Állomás által mért adat (m/s)	70 m magasságban (m/s)	100 m magasságban (m/s)	120 m magasságban (m/s)
Szentes (Országos Magyar Méhészeti Egyesület)	1,74	4,60	5,50	6,03
Hódmezővásárhely (Leccapo)	1,79	4,74	5,66	6,20
Szeged (Szegedplaza)	1,55	4,10	4,90	5,37
M5 MET 126	2,19	4,24	4,63	4,85
M5 MET 147	1,27	2,46	2,69	2,81
M5 MET 160	2,20	4,26	4,65	4,87
M5 MET 168	1,35	2,61	2,85	2,99
M43 9+070 kmsz	2,57	4,97	5,43	5,69
M43 16+202 kmsz	2,00	3,87	4,23	4,43
M43 20+203 kmsz	2,39	4,62	5,05	5,29
M43 27+605 kmsz	1,96	3,79	4,14	4,34
OGIMET Arad	1,60	2,60	2,85	2,98
OGIMET Baja	1,45	2,36	2,57	2,69
OGIMET Békéscsaba	2,55	4,15	4,53	4,75
OGIMET Kecskemét	2,94	4,78	5,23	5,47
OGIMET Kikinda	3,08	5,01	5,48	5,73
OGIMET Novisad	2,35	3,82	4,18	4,37
OGIMET Palics	2,42	3,94	4,30	4,50
OGIMET Szolnok	3,04	4,94	5,41	5,66
OGIMET Zombor	2,05	3,33	3,65	3,82
OMSZ Pitvaros	2,46	4,00	4,37	4,58
OMSZ Szeged külterület	3,09	5,03	5,49	5,75
OMSZ Szentes	3,08	5,01	5,48	5,73

3. táblázat Szélsebesség sokévi átlagai 70, 100 és 120 méter magasságra számítva

A szélenergia potenciál térképet 100 m magasságra kalkulált adatok alapján készítettem el IDW (Inverse Distance Weighting) interpolációs módszer alkalmazásával, mivel SZALAI S. ET. al (2010.) cikke alapján ez a magasság ajánlott hazánkban. Eredményeimet Natural Breaks módszerrel 32 osztályba soroltam. A kapott szélpotenciál térképen jól látható, hogy a megye északi részén magasabbak a szélsebesség adatok, és hogy tölcészerűen Szegedig beszűkül ez a terület. Magasabb értékeket a megye keleti illetve délkeleti területein is megfigyelhetünk (17. ábra). RÓZSAVÖLGYI K. (2007.) tanulmányában található egy a teljes országra készített 100 méter magasságra kalkulált szélsebesség térkép, amiről hasonló adatokat lehet leolvasni, mint az általunk készítetttről, 5-5,5 m/s-os értékeket.



17. ábra Csongrád megye szélpotenciál térképe 100 m magasságra számítva

6. Eredmények: Szélerőmű telepítés szempontjából alkalmas területek Csongrád megyében

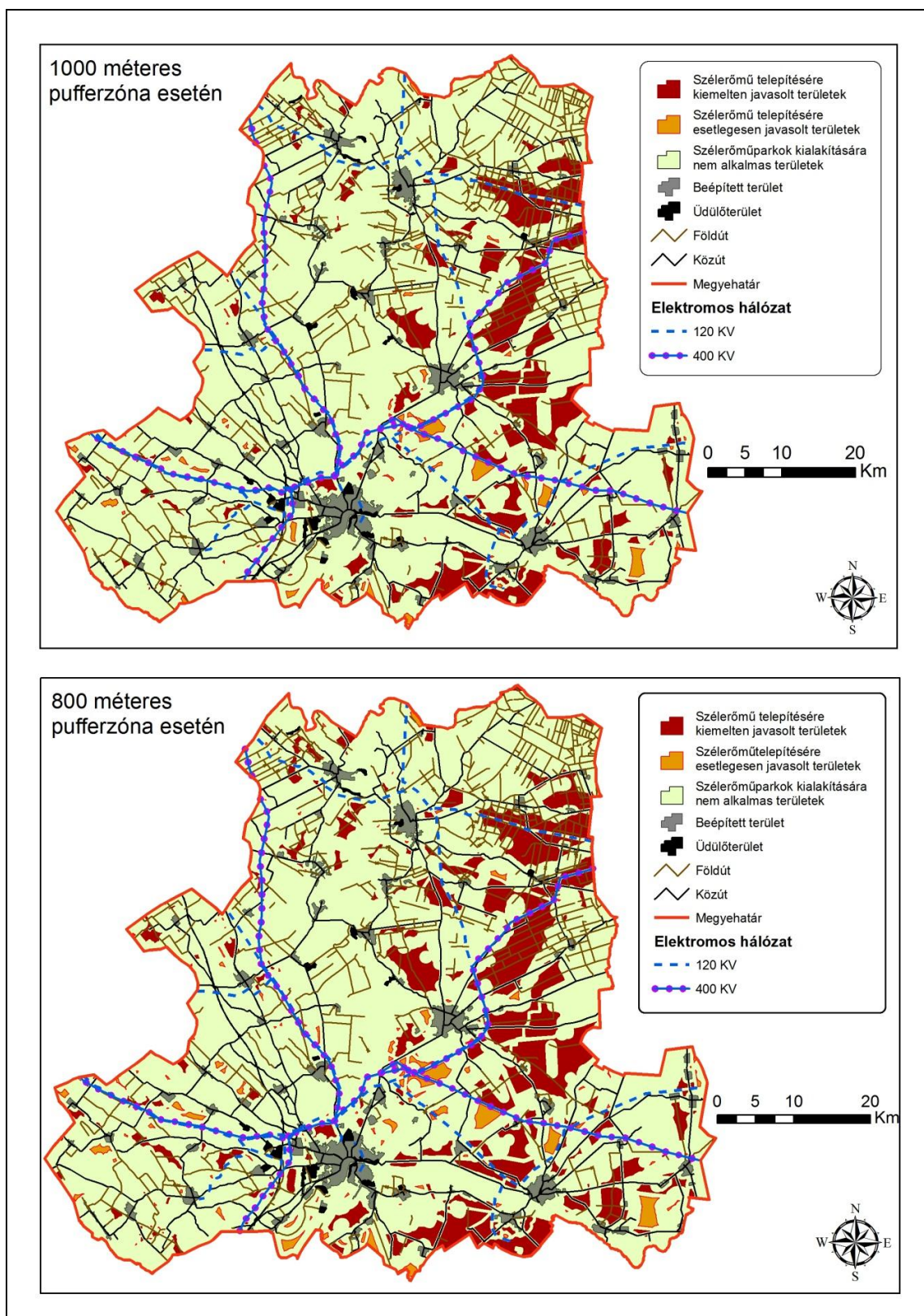
A szélerőmű telepítésre alkalmas területeket ArcGIS 10. szoftver segítségével határoltam le, a telepítés segítő, és kizáró digitális térképi adatbázisok összemetszése révén. A program lefuttatásával létrejött kettő új állomány a szélerőművek telepítésére alkalmas területeket mutatják, de ezeken belül is találhatóak magasabb illetve alacsonyabb prioritású területek. A prioritást az dönti el, hogy található-e 250 méterre tőle műút vagy a területén talajút. A leválogatás után így jöttek létre a szélerőműparkok településére kiválóan, és mérsékeltén alkalmas területek. A villamos energia hálózat minden telepítésre alkalmas területhez 15 km közelségben van, ami azt jelenti, hogy az erőműtől az áramot szállító földalatti kábel nem hatásvizsgálat köteles a vizsgált területen. A kapott eredmények között vannak nagyon kicsi földrészletek is, ahova nem lehet telepíteni egy turbinát sem. Egy szélerőműnek az alapjával, transzformátorházzal és bekötő úttal együtt 6000 m² helyigénye van, tehát az ennél kisebb területeket az attribútum táblából kitöröltem ezzel a térképről is

eltűntek (MAGYAR E. 2011). A kapott eredmények alapján elmondhatjuk, hogy Csongrád megyében vannak telepítésre alkalmas, jó energetikai adottságú területek. (4. táblázat), (18. ábra).

	Telepítésre alkalmas összes terület (km ²)	Szélerőmű telepítésére kiemelten javasolt területek (km ²)	Részesedés a megye területéből (összes terület) (%)
800 m védőzóna esetén	510,1	452,6	11,97
1000 m védőzóna esetén	382,8	343,2	8,98

4. táblázat A szélerőmű telepítésére alkalmas területek Csongrád megyében

A továbbiakban a szélerőmű telepítésére alkalmas területeken belül becsültem meg az elhelyezhető turbinák számát. A dromstorre.dk honlap ajánlása szerint az uralkodó szélirányra merőlegesen 4 rotor párhuzamosan pedig 7 rotor átmérő távolságra érdemes telepíteni a turbinákat egymástól. Egy 2MW-os turbina rotor átmérője általában 90 m, tehát merőlegesen 360 m, párhuzamosan 630 m távolságra kell lenniük egymástól (Internet 2). 1 négyzetkilométerre 4,4 turbina fér el összesen, ha ezt a fajta elrendezést használjuk. Mind a kettő telepítésre alkalmas terület verziónál kiszámoltuk, hogy a területi egységeken hány turbina férne el. Minden egyes egységen elhelyezhető legalább 1 db turbina, ezért minden poligonhoz hozzá lett rendelve egy nullától különböző egész szám. Megbecsültem az ily módon termelhető villamosenergia mennyiségét is úgy, hogy 2MW-os turbinákat vettünk alapul, ezért a darabszámot megszoroztam 2-vel, ám mivel a turbinák a lehetséges teljesítmény körülbelül 25 %-át képesek ténylegesen megtermelni, ezért a darabszámot csak 0,5-el szoroztam a valós teljesítmény kiszámításához (5. táblázat).



18. ábra Szélerőművek telepítésre alkalmas területek a védett természeti területek körül 800 és 1000 méteres pufferzóna esetén.

	Turbinaszám	Névleges teljesítmény (MW)	Tényleges teljesítmény (MW)
800 m védőzóna NATURA 2000 és beépített területek esetén	2362	4724	1181
1000 m védőzóna NATURA 2000 és beépített területek esetén	1744	3488	872

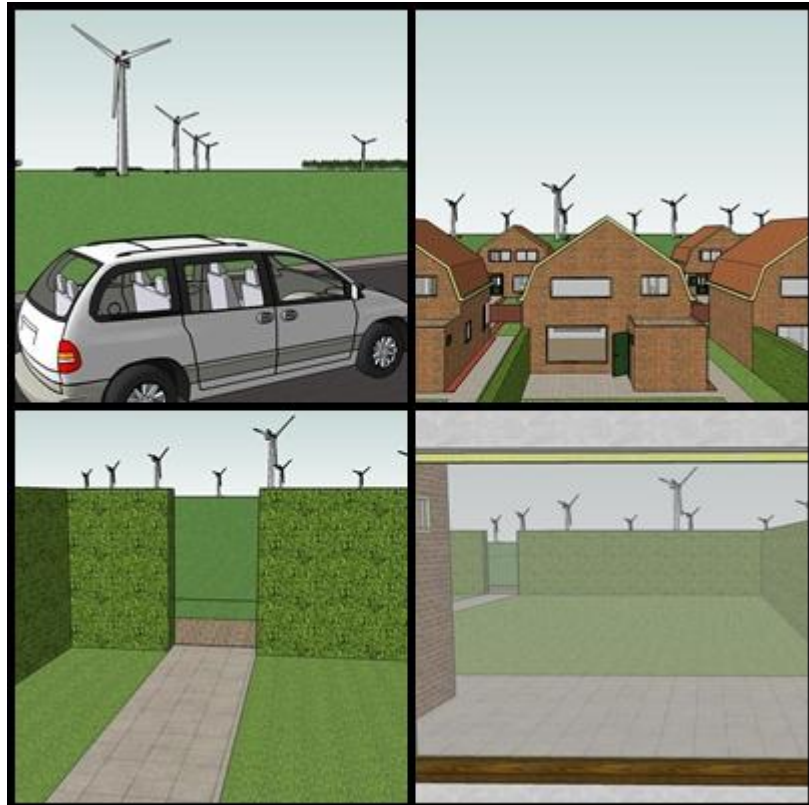
5. táblázat Csongrád megye területére telepíthető szélérőmű turbinák száma, elvi maximális teljesítménye, és várható tényleges teljesítménye

Az utolsó lépés az eddig kapott térképeket összevetni és még jobban szűkíteni a legalkalmasabb területek listáját. A szélmalomok egyik elég nagy része azon a területen helyezkedett el, ahol ma a legnagyobb és magasabb prioritású területek találhatóak. A széltérkép adatai alapján szintén a megye észak-keleti és keleti része rendelkezik nagyobb szélsébség adatokkal. A CORINE 2006 felszínborítási térkép állományból a 'Select by attributes' eszközzel leválogattam a rét, a legelő és a mezőgazdasági területeket, melyeket egy közös layeren helyeztem el. A telepítésre alkalmas területek 90 százaléka ilyen területen helyezkedik el, amelyek a legmegfelelőbbek ilyen célokra, mivel itt nem áll a szél útjába semmilyen akadály sem és ezek már az ember által igénybe vett területek.

7. Szélérőműpark telepítésének vizuális értékelése

A telepítésre alkalmas területek lehatárolása után nagyon fontos tényező még szélérőműpark lehetséges tájképi hatásainak bemutatása az adott területen, ezzel szemléltetve a szélérőműpark látványra gyakorolt hatását a helyi lakosság számára. Ezt a szemléltetést a legegyszerűbb a SketchUp nevű programban létrehozni. A 2 MW-os, 100 méter magas erőműveket a megfelelő 360X630-as elrendezés alapján elhelyeztem a SketchUp nevű programban. Ezzel a megoldással könnyedén szemléltethetem a lakóházaktól 500 méterre, valamint a közúttól 250 méterre telepített szélérőműparkot (19. ábra). A tájképre gyakorolt határról szóló Észak-Tübingiában végzett kutatás statisztikai adatai alapján az emberek 68 %-a település számára pozitív gazdasági tényezőnek tartja, míg az üdülőterületeken a többség egyértelműen ellenzi a szélérőművek telepítését. Vegyesek a vélemények a természetre

gyakorolt hatásokról. A szélérőműveket tájképileg szépnek találja a megkérdezettek 36,7%-a, 29,1%-a nem találta szépnek és 34,3% semlegesnek találta. A zajhatással tekintetében fordította helyzet a többség negatív zavaró hatásnak tarja, míg jóval kevesebben tartják jelentéktelennek. Összesen 619 személyt kérdeztek meg a közvélemény-kutatás keretében (JURASITS J. 2003.).



19. ábra Szélérőműpark digitális reprezentációja lakóépületektől 500 méterre és közúttól 250 méterre

8. Összegzés

A megújuló energiaforrások jelentősége világszerte egyre nagyobb mértékben nő, mivel a fosszilis tüzelőanyagok használata nem egyeztethető össze a Brundtland jelentésben először használt fenntartható fejlődés eszméjével. 2012 végén a globális halmozott beépített szélenergia kapacitás 282,5 GW volt, ebből Európa 105,6 GW-tal részesedett.

A szélenergia termelés története az egyiptomiaktól az első, C. F. Brush által épített villamosenergiát termelő szélérőműig elég hosszú utat járt be. Az első modernebb turbinák a 90-es években jelentek meg külföldön. Magyarországon a szél energiájának kihasználása a szélmalomok segítségével történt, amik a 19. század második felében voltak jelen legnagyobb számban. Hazánkban az első turbinát 2000-ben telepítették, ma 37 szélérőmű van az országban 172 toronnyal, közel 330 MW összteljesítménnyel.

A szélérőművek hatással vannak környezetünkre, ezek lehetnek: talajt érő, vizeket érő, elektromágneses, élővilágot érő, tájképet, zaj és rezgéshatások. Telepítés előtt a helyszín kiválasztásakor ezeket a környezetvédelmi szempontokat értékelni, vizsgálni kell. Céлом leszűkíteni a megyei területrendezési tervekben is megjelenő szélérőmű telepítésére alkalmas területeket. Először a turbinák telepítését kizáró és segítő tényezőket kell leválogatni, majd megfelelő bufferzónát létrehozni köréjük. Ezek után történeti térkép alapján és mai adatsorok alapján létrehozni egy múltbeli és egy mai szélpotenciál térképet. Végül lehatárolni szélérőműparkok telepítésére alkalmas területeket az előző térképek összemetszése alapján és ezen adatokból kiszámolni a turbinák és a megtermelhető villamosenergia nagyságát.

A szélérőművek telepítését kizáró szempontok és a köréjük húzott védőzóna meglehetősen nagy területet foglalnak el Csongrád megyében. Ezek a tényezők a következők: védett természeti területek, beépített területek, erdők és vizek, közlekedési és energiahálózat. Vannak telepítést segítő tényezők, ezek a földutak, a közép és a magasfeszültségű elektromos hálózat.

A második katonai felmérés térképei alapján a mai Csongrád megye területén 96 darab szélmalmot digitalizáltam. Az ezekből készült sűrűség térkép alapján a nagyobb mezőgazdasági központok (Dorozsma és Hódmezővásárhely) körül található a legtöbb szélmalom, de a megye dél-nyugati és észak-keleti részén is fellelhetőek. Az 5 különböző forrástól kapott 23 helyszínen mért szél adatsorokból készített szélsősebesség térkép alapján 100 méteres magasságban 5 m/s felett van a megye legnagyobb részén a szél sebessége, ami elegendő a szélérőmű gazdaságos üzemeltetéséhez. Utolsó lépésként a turbinák telepítését kizáró tényezők és pufferzónáik leválogatásával megkaptam a szélérőmű telepítésére alkalmas területeket. A védett természeti területek köré vont 800 méteres pufferzónával 510,1 km², 1000 méteres védőzónával számolva 382,8 km² terület felel meg turbinák telepítésére.

Magyarországon a megújuló energiaforrások kihasználtsága még közel sem éri el a nyugat-európai államok szintjét. Hazánkban a másodlagos energiaforrások az

energiafogyasztásunk 5%-át sem elégítik ki, ebből a szélenergia mindössze 1 %-ot tesz ki. A telepített szélerőmű kapacitás közel 330 MW jóval a kihasználható mennyiség alatt van, de a távlati célok pozitívak, mivel 2020-ra 3,3 százalékra becsülik a szélenergia részét az összes energiatermelésünkből (GKM 2007). Ahhoz, hogy ennél még magasabb eredményeket érjünk el a jövőben, fejleszteni kell a magyar elektromos hálózatot, hogy elbírja a terhelést és a telepítési kritériumokat is szükséges lenne kevésbé szigorúvá tenni. Csongrád megye területének mintegy 91,02 %-án nem lehet szélerőművet telepíteni valamilyen jogszabályi korlátozás miatt, ám ezen a területen is körülbelül 872 MW energia termelhető 2 MW-os turbinákkal és 360X630 méteres helyigénnyel számolva turbinánként.

Jelen kutatásban geoinformatikai módszerekkel értékeltem a szélerőművek telepítését segítő és korlátozó tényezőket.

Ezen belül elkészítettem a megye szélpotenciál térképét, illetve történeti térképek alapján a megye szélmalomsűrűség térképét. A szélerőművek létesítését területileg korlátozó tényezőket tematikus digitális térképeken ábrázoltam, változó pufferzónákat, védőtávolságokat alkalmazva. A korlátozó tényezők és a szélenergia potenciál térkép egymásra fedetése, összemetszése után sikerült a szélerőmű parkok telepítésére javasolt területeket bemutató területhasználat scénáriókat készítenem. Végül kiszámítottam a szélerőművek telepítésére potenciálisan alkalmas területek alapján az e területeken előállítható villamos energia mennyiségét.

9. Irodalomjegyzék

- ARCANUM ADATBÁZIS KFT. (2006): Második Katonai Felmérés
- BÁRÁNY, I., VÖRÖS, E., WAGNER, R. (1970): The influence of wind conditions of the Hungarian Alföld on the geographical distribution of mills. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 9/1-4. pp. 73-81.
- BARTHOLY J., RADICS K. (2002): A szélenergia hasznosításának története - *Léggör*, XLVII/2, 30-34. o.
- CSÖSZI M., DUHAY G. ÉS FISKUS O. (2005): Szélenergia és természetvédelem, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Természetvédelmi Hivatala, Bp., pp. 5-8
- CSÖSZI M., DUHAY G. ÉS KINCSES K. (2007): Tájvédelmi kézikönyv, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Természet- és Környezetmegőrzési Szakállamtitkárság, Bp., pp. 31-34
- EWEA (2014): Wind in power, 2013 European statistics, pp. 1-12
- GKM (2007): MAGYARORSZÁG ENERGIAPOLITIKÁJA 2007–2020. A biztonságos, versenyképes és fenntartható energiaellátás stratégiai keretei. Bp., pp. 45-50
- GWEC (2013): Global wind report annual market update 2012
- HORVÁTH G. (2005): Szélparkok tervezése környezetvédelmi szempontok alapján – *Magyar Tudomány* 2005/11. 1406-1414
- IMRE L. (2006): Magyarország megújuló energetikai potenciálja. Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottság, Megújuló Energia Albizottság Szakmai Csoportja, Tanulmány, Budapest
- JURASITS J. (2003): Szélerőművek a tájban, Műszaki-gazdasági információ. Település- és térségfejlesztés, 2. évf. 2. sz.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I. (1991): A szélerő hasznosítás éghajlati adottságai az Alföldön. *Földrajzi Értesítő* 40/3-4. pp.
- KIRCSI A. (2004): Szélebbesség adatok területi extrapolációja – lehetőségek és nehézségek. A Magyar Szélenergia Társaság kiadványai, No.2, pp. 71-78
- KÖRMENDY I. (2011): A településrendezés szabályozási kérdései, egyetemi jegyzet, Budapesti Corvinus Egyetem Tájépítészeti kar Településépítészeti tanszék, Bp.
- KÖRNYEZETVÉDELMI és VÍZÜGYI HIVATAL, (2005): Tájékoztató a szélerőművek elhelyezésének táj- és környezetvédelmi szempontjairól, pp. 3, 7-12, 18.
- MAGYAR E. (2011): Szélerőmű-park előzetes vizsgálati dokumentációja
- MAGYAR VILLAMOSENERGIA-IPARI ÁTVÉTELI RENDSZERIRÁNYÍTÓ ZRT., MAGYAR ENERGETIKAI ÉS KÖZMŰSZABÁLYOZÁSI HIVATAL (2012): Magyar villamosenergia-rendszer 2012. évi statisztikai adatai
- MUNKÁCSY B. (2002): Új tendenciák Európa szélenergia szektorában – Energiagazdálkodás
- MUNKÁCSY B. (2011): A területi tervezés szorításában - A szélenergia-hasznosítás hazai lehetőségei, pp. 20-25

- MUNKÁCSY B., KOVÁCS G., TÓTH J. (2010): A szélenergia-potenciál és területi tervezés Magyarországon, Debreceni Egyetem "Települési Környezet" c. konferencia, pp. 254-259
- PÉCZELY GY. (1998): Éghajlat, Tankönyvkiadó, Bp., 49. o.
- RÓZSAVÖLGYI K. (2007): Szélerőmű-telepek területi elhelyezése saját fejlesztésű klímaorientált modell (KMPAM) segítségével, Debreceni Egyetem „Települési Környezet” c. konferencia, pp. 262-264
- SZALAI S.–GÁCS I.–TAR K.–TÓTH P. (2010): A szélenergia helyzete Magyarországon. Magyar Tudomány, 2010.8., pp. 947-958
- TAR K. (2006): A szeles napok statisztikai szerkezete Magyarországon, SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék SZTE, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged, pp. 687-696
- TAR K. (2012): A szélenergia magyarországi hasznosításának reális lehetőségei. Magyar Energetika, XIX. 5., pp. 2-6.
- TÓTA A., (2009): A szélenergia-termelés lehetőségei a Dél-Alföld megyéiben, pp. 43-44
- TÓTH P., BULLA M., NAGY G. (2011): Energetika, A szélenergia hasznosítása
- ÚJ MAGYAR LEXIKON (1981), Akadémia Kiadó, Bp.
- WANTUCHNÉ DOBI I., KONKOLYNÉ BIHARI Z., SZENTIMREY T., SZÉPSZÓ G. (2005): Széltérképek Magyarországról. Szélenergia Magyarországon. 2005. 01. 19, Gödöllő (11-16)

Törvények, kormányrendeletek

- 1996. évi LIII.** törvény a természet védelméről
- 1996. évi LIV.** törvény az erdőről és az erdő védelméről
- 2001. évi CX.** törvény a villamos energiáról és annak végrehajtási rendelete
- 12/1983. (V. 12.) MT** rendelet a zaj- és rezgésvédelemről
- 314/2005. (XII. 25.)** kormányrendelet a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról

Internetes hivatkozások

- [1] www.windpower.org (Dán Szélipari Szövetség honlapja)
- <http://windpower.org/en>

[2] www.dromstorre.dk (Dán Szélipari Szövetség honlapja)

<http://dromstorre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wres/index.htm>

[3] www.gwec.net (Globális Szélenergia Tanács honlapja)

<http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/>

[4] www.mszet.hu (Magyar Szélenergia Társaság honlapja)

<http://www.mszet.hu/>

[5] www.ewea.org (Az Európai Szélenergia Szövetség honlapja)

<http://www.ewea.org/publications/reports/>

[6] www.unesco.hu (Magyar UNESCO Bizottság honlapja)

<http://www.unesco.hu/>

10. Függelék

Témavezetőmtől Dr. Szilassi Pétertől, azt a feladatot kaptam, hogy határoljam le azon területeket Csongrád megyében, amelyek területére lehetséges szélerőművek telepítése. Geoinformatika szakos hallgatóként geoinformatikai módszerekkel és térinformatikai adatok alapján kezdtem hozzá a projekt kivitelezéséhez. A legalkalmasabb szoftver erre a célra a tanszéken is megtalálható ArcGis 10 térinformatikai szoftver, ami rendkívül jó eszközzel biztosít a területi tervezéshez. Munkám célja, hogy Csongrád megye 2012-óta hatályos területrendezési tervében szereplő a „szélerőmű telepítés szempontjából vizsgálat alá vonható területek” térségi szabályozási övezetén belül lehatárolni a szélerőműparkok településére kiválóan, és mérsékeltén alkalmas területeket.

A kutatás elkezdése előtt a következő kérdések merültek fel: milyen digitális és papír alapú térképi adatbázisok szükségesek, milyen indikátorai vannak szélerőművek telepítésének, milyen pontszerű adatok és adatsorok szükségesek, melyek a kizárás illetve a segítő tényezők vannak jelen szélerőmű telepítésénél és végezetül milyen új digitális térkép állományok szükségesek a dolgozat eredményének kimutatásához.

A munka során meglévő és saját magam digitalizál digitális térkép állományokat használtam fel a szélerőművek telepítését kizáró tényezők lehatárolásához és az ezek köré vont pufferzónák méretét szakirodalmak, törvények, kormányrendeletek és saját számítások alapján határoztam meg. Telepítési indikátornak találtam a II. Katonai Felmérési térkép alapján digitalizált egykori szélmalomok pontjait és az ezek alapján elkészült szélmalom sűrűség térképet, valamint a több forrásból gyűjtött szélesebesség mérő állomások adatait, amiket a Hellman hatványfüggvény segítségével 100 m magasságra kalkuláltam és raster alapú szélesebesség térképet készítettem. Szélerőmű telepítését kizáró és segítő tényezők valamint a körjük rendelt védőzónák shape állományait összefűztem, ez által lehatároltam szélerőművek telepítésére alkalmas területeket. Az elkészített térképi állományok összemetszésével a kapott terület egységeket szélerőmű telepítésére alkalmas és potenciálisan alkalmas csoportokra bontottam. Egy 2 MW-os turbinával és az ilyen méretű szélerőművek ideális telepítési távolságával kiszámoltam a kapott területen elhelyezhető turbinák számát, amiből kiszámolhatóvá vált a telepíthető szélerőművek kumulált tényleges teljesítménye. Kutatásom alapján kijelenthető, hogy Csongrád megyében nagy területek felelnek meg szélerőművek telepítésére és a széleenergetikai adottságok alapján ezen erőművek hasznót termelhetnek.