

A szélenergia hasznosításának környezeti hatása

Az energia-termelés során – alapvető tény – mindig fellépnek környezeti hatások. A környezeti hatások egy része káros, például a légszennyezés, más része hasznos, konkrétan az amiért e tevékenységet folytatják, például a villamos energia termelése. A hatások pozitív és negatív oldala együttesen vizsgálándó, amikor a tevékenység szükségességét, hasznosságát mérlegelik. Ez a törekvés, azaz az ilyen kiterjedt költség- és haszon-elemzés, az energia-gazdálkodásban is csak az utóbbi időben vált jellemzővé. A környezet igénybevétele, a környezet rombolás, a levegő és víz-szennyezés, a föld és tájhasználat, a globális klíma megváltoztatása, vizuális szennyezés jelentősége és ennek a költségek közötti kalkulálása is csak azóta vált elfogadottá. Az elemzések többsége szakértői becsléseken alapul, kiváltva ezzel komoly vitákat.

A modern társadalom számára nem csak az energia előállítása, hanem az igények kielégítésének módja is gazdasági és politikai feszültségek forrása. Talán példának említhetnénk a fenntartható fejlődés biztosításának társadalmi igényét, az egyenlőtlen elosztásból fakadó szociális problémákat, a nagyfokú koncentrációból adódó sebezhetőséget, kockázatot, a fejlett és fejletlen országok érdek-különbözőségét.

Ezt a vitáktól hangos, érdekektől megosztott területet tovább terheli számos, a környezet védelemével kapcsolatos probléma is, mint pl. a széndioxid kibocsátás és a kapcsolódó üvegház-hatás, a savas csapadék, a radioaktív hulladék, az ózonlyuk, a tengerek olaj szennyezése, a bányászat tájromboló hatása.

Mindezek a problémák szükség-szerűvé teszik, hogy az emberiség kifejlészen olyan olcsó, bőséges

energia-termelő, vagy megtakarító technológiákat, melyek nem, vagy csak kis mértékben terhelik a környezetet, nem okoznak visszafordíthatatlan környezeti károkat, a fenti értelmű vitákat mérséklük.

E törekvések két fő csapásiránya: egyfelől az energia racionális használatát elősegítő, másfelől a megújuló energiatermelését lehetővé tevő technológiák kifejlesztése. Mindkét irány bírja a társadalom, a politika aktív támogatását.

Biztos, hogy a felsorolt okok is közrejátszottak abban, hogy manapság reneszánszát éli a szélenergia hasznosítása. Naivság lenne azt hinni, hogy pont ez az energia-termelési mód lenne a kivétel a fent elmondottak alól. Természetes, hogy a szélenergia hasznosítása során is vannak, lesznek problémák, melyek nagymértékben a környezeti hatásokkal és károkkal vannak kapcsolatban. A kérdés a hatások, a károkozás mértéke, melyet összevetve más technológiákkal kapcsolatban felmerülő terhelésekkel, eldönthető, hogy helyes irányba haladunk-e.

A szél energiája

A mozgó léggör kinetikus energiája, az áramlás éves energia tartalma, ha globális léptéken a kinetikus energia keletkezése majd annak disszipációja átlagosan hét nap alatt zajlik le, akkor mintegy 10^{23} J. A szárazföld szélenergia kapacitása (munka végző képessége) mintegy 53.000 TWh, ezen belül Ny-Európáé 4.800 TWh, tovább haladva K-Európa a korábbi Szovjetunióval 10.600 TWh energia kapacitással rendelkezik. (Sørensen 2000).

A közeljövő földi energia igényére jellemző az a becslés, mely szerint az új évezred első évtizedében csak az elektromos energia felhasználás

nálás mintegy 30%-kal növekszik, és eléri a 21 TWh-ás éves igényt és 2020-ra pedig a 27 TWh-t.

Ha a szélenergia fenti értékeit összevetjük a Föld 2010-re becsült villamos energia igényével, akkor látható, hogy a szárazföld szélenergia potenciáljának 0,04%-ából ki-elégíthető lenne a Föld villamos energia igénye. Ha csak az európai potenciált nézzük, akkor is két-három ezrelék már fedezhetné az igényeket.

Természetesen ezek az adatok elméleti értékek. A valóság jobb közelítéséhez figyelembe kell venni egyfelől a szélenergia átalakításának veszteségét, másfelől pedig a rendelkezésre állás erős időbeli ingadozását. Meg azt is, hogy senki se akarna szél erőmű erdő közelében élni a valóságos erdő helyett.

A lehetőségek ismeretében, a fenti korlátok ellenére sem csoda, hogy nagyon jelentős fejlődésnek indult a szélenergia hasznosítása. A befektetők, az állam egyre nagyobb lehetőséget lát e természeti erőforrás kiaknázásában. Egyes becslések szerint csak Európában az évtized végére, akár 100.000 MW hasznos teljesítmény kiépítése is reális.

Az olaj és egyéb fosszilis tüzelőanyagok árának emelkedésével, a technológiák gyors fejlődése eredményeként, a szélből nyert energia ára közeledik az állami támogatások nélkül is versenyképesnek tekinthető árhoz. Tehát a gazdasági kényszerek egyre kevésbé állnak a felhasználás útjában.

Azt hiszem, hogy a fentiek kelletlen meggyőző érveket szolgáltatnak arra, hogy érdemes és szükséges valóban komolyan foglalkozni a szélenergia termelés környezeti hatásaival, hiszen az iparág megakadályozhatatlan lendülettel fejlődik hazánkban is.

A szélérőművek környezeti hatása

Mielőtt a részletekbe mennénk, fontosnak tartjuk egy korábbi konkrét, számszerű vizsgálat néhány adatát bemutatni (*Extern E.* 1995).

E tanulmány a szélérőművek áramtermelése során egy KWh áram előállításához szükséges egyes externáliák (környezeti károk) árának becslésével foglalkozott. Eredményeiket tized EUR-Centben adták meg, amelyeket az egyszerűség kedvéért 250 Ft/EUR átváltási ár figyelembevételével forintban adunk most meg (összevetéshez, ma a fosszilis alapanyagú hazai erőművektől felvásárolt áram ára – nagy szórás mellett – 15 Ft/KWh körül mozog):

Zaj 0,018 – 0,275 Ft/KWh

Globális melegedés 0,038 Ft/KWh

Savasodás 0,18 Ft/KWh

Terület használat 0,065 Ft/KWh

Balesetveszély 0,023 Ft/KWh

Vizsgálódásunk során számos ismert és lehetséges környezeti hatást elemezzük (ABC szerint felsorolva):

Árnyékolás, árnyék-vibrálás, baleseti kockázat, beavatkozás a légköri áramlási rendszerbe, biológiai sokszínűség sérülése, elektromágneses interferencia, madárpusztulás, táj-terhelés (látvány), terület-foglalás, zaj kibocsátás.

Az egyes hatások vizsgálatánál alapvetően irodalmi adatokra támaszkodunk, hivatkozva a forrásra.

Árnyék és árnyék-vibrálás

A szélérőmű oszlopa, szárnylapátja és egyéb egységei árnyékot vetnek, melynek mértéke nagyban függ a konstrukció felületétől, a szél irányától, a napállástól, illetve az égbolt borultságától.

A napsugárzás két részre bontható, úgymint direkt és diffúz (szórt) sugárzás. A direkt sugárzás útjában lévő forgó lapátú szélérő-

mű hatására egy folyamatos vibráló, illetve az álló kerék mögött egy lassan mozgó árnyék jön létre. A diffúz sugárzást az ilyen „karcsú” építmény, akár több tíz elemet tartalmazó szélérőmű farm méretben sem befolyásolja.

Az árnyák hatás egyfelől a környék épületeiben tartózkodókat (lakókat), illetve a közlekedést, másfelől a mezőgazdasági termelést érintheti.

A két hatás közül az árnyék-vibrálás az, amely az igazi probléma forrása, ugyanis a fény intenzitás gyors változása meglehetősen zavaró hatású. Az álló szélkerék mögött kialakuló árnyék a napállás változásával mintegy vándorol és csak rövid ideig tartózkodik egy-egy helyen. E rövid idejű hatásnak nincs említésre méltó következménye.

Álló rotort és állandó napsütést feltételezve az épületek benapozására használt számítási eljárásokkal az érintett terület körvonala jól meghatározható. A vibráló hatás ezen a területen belül léphet fel. Mértékét erősen befolyásolja a szélirány és a sebesség, a napállás, a légkör átláthatósága.

Az érintett terület alacsony napállásnál (napkelte, napnyugta) jelentős, a szélérőmű talpától akár több kilométer is lehet, míg a nap többi részében 3-400 méterre korlátozódik. A rövid ideig tartó, de nagy területeket érintő hatás miatt külö-

nösen érdekes, hogy e kérdésben Németországban már bírósági döntés is születet (*Dobesch and Kury*, 2001), mely az érintetteket kismértékben, de tűrésre kötelezte. Konkrétan évente 30 óra időtartamban el kell viselniük az árnyék-vibrálást.

Baleseti kockázat

A mai korszerű nagy teljesítményű szélérőművek tengely magassága akár a 100 m-t, míg szárnylapátjainak hossza az 50 m-t is meghaladhatja. Nagyobb szélben a meglehetősen gyorsan forgó lapátok jelentős impulzussal rendelkeznek, így ha leszakadnak, akkor ballisztikus lövedékhez hasonlóan repülve az erőműtől nagyobb távolságra is kerülhetnek. A több tonna súlyú alkatrészek bizony komoly potenciális veszélyt jelenthetnek, pl. az offshore telepítésnél hajókra, autótutak mentén a közlekedőkre, vagy közeli lakóházak estén azok lakóira.

A veszélyek ismeretében, a kockázatok csökkentésére a nagy szélsebességeknél automatikus leállító rendszer üzemel. Általában 25 m/s-ot meghaladó szélesebesség esetén a rendszer leáll. A kerekek nem forognak tovább.

De más események is bekövetkezhetnek, pl. az oszlop ledől, vagy egy-egy alkatrész leesik, esetleg jég képződik és az hullik le.

Az árnyékhatástól befolyásolt távolság (m) a toronymagasság és a napállás függvényében

Toronymagasság Napmagasság	50	60	70	80	90	100	110	120
2°	1432	1718	2005	2291	2577	2864	3150	3436
2.5°	1145	1374	1603	1832	2061	2290	2519	2748
3°	954	1145	1336	1526	1717	1908	2099	2290
15°	187	224	261	299	336	373	411	448

Az óra járásával É-ről indulva (0=360 fok) az árnyékhatás releváns területe

0° – 24°	Az építmény magasságának 3,732-szeresén belül árnyék lehetséges
24°–108°	Árnyék lehetséges 15° magassági szög felett
50° – 124°	Árnyék lehetséges 2-3° magassági szög felett
124° – 236°	Releváns árnyékolás nincs
236° – 310°	Árnyék lehetséges 2-3° magassági szög felett
252° – 336°	Árnyék lehetséges 15° magassági szög felett
336° – 360°	Az építmény magasságának 3,732-szeresén belül árnyék

A kérdés kettős: mekkora legyen a védőtávolság, azaz meddig repülhet egy-egy ilyen alkatrész, illetve mekkora a kockázata egyáltalán ennek az eseménynek

Holland, német és dán erőműveknél bekövetkezett több mint kétszáz súlyos eseményt analizáltak (Braam, 2002). A teljes adatbázis mintegy 43 ezer erőmű-évet reprezentált. A kétszáz esetből végül 62 bizonyult a környékre veszélyesnek. A 0,5–2 MW teljesítményű háromlapátos erőműveknél a megengedett forgási sebesség kétszeresénél az elemzések szerint a veszélyeztetett terület az oszlop 3–400 méteres körzete, az oszlopmagasság függvényében.

Annak kockázatát, hogy egy ilyen baleset bekövetkezik, és egy személy meghal, aki folyamatosan és védelem nélkül e területen tartózkodik, 10^{-6} /év értékben adták meg. Azt pedig, hogy például egy tartálykocsi balesetet szenved, amíg elhalad egy szélfarm mellett $p = 5,9 \cdot 10^{-10}$ valószínűségűnek becsülték. (Az üzemanyag szállító gépkocsi 15 m hosszú és 2,5 m széles, továbbá 85 km/h sebességgel egy szélfarm (9,5 km hosszan települt 20 db 100 m magas és 74 m szélkerék átmérőjű szél erőmű) mellett az oszloptól 37 m távoli úton halad.)

Beavatkozás a légköri áramlási rendszerbe

A szél erőmű az áramló levegő kinetikus energiáját használja fel és alakítja át villamos árammá. Tehát, mintegy „energia szivattyú” működik. Energiát emel ki az áramlásból, melynek következtében szükség szerűen csökken a szélesebesség. Az izgalmas kérdés arra irányul, hogy mekkora ez a csökkenés, és ez a csökkenés hatással lehet-e a lokális, vagy nagyobb méretű cirkulációs rendszerekre?

A nagy kiterjedésű szélfarmok esetén a kérdés nem csak elméleti,

hanem gyakorlati szempontból is fontos. Hiszen a szélirányban álló erőművek erősen ronthatják a mögöttük elhelyezkedők hatásfokát. A kérdéskört vázlatosan Christiansen (2006) munkája alapján mutatjuk be.

Dániában Horns Rev-ben (Északi tenger) 80 szél erőmű 160 MW teljesítménnyel, Nysted-nél (Balti tenger) 78 turbina 166 MW teljesítménnyel üzemel. Az erőművek szél gyengítő hatását, illetve a turbulencia intenzitásának növekedését nagyfelbontású SAR (Synthetic Aperture Radar) képek és földi mérések felhasználásával vizsgálták.

A szél erőmű farmon átlagosan 8–9% sebesség csökkenést tapasztaltak, közvetlenül az erőművek közelében, szélirányban. A környezeti szélesebességtől már csak 2%-kal kisebb sebességet tapasztaltak 5–20 km távolságban, a szélesebesség, a légköri stabilitás és a működő szél erőművek számának függvényében. (A felszíni szél mérések és a modell számítások jó egyezést mutattak.)

Számos hasonló mérés alapján kimondhatjuk, hogy a szél erőművek közelében jelentős szélgyengülés fordul elő, miközben a turbulencia erősödése is tapasztalható.

A légköri cirkulációs rendszert, pontosabban annak módosulását érintő kérdésre más megközelítéssel válaszolunk. A bevezetésben már említettük, hogy a Föld 2010-re becsült villamos energia igényét a szárazföld széle energia potenciáljának 0,04%-ából ki lehetne elégíteni. Ha egy rendkívül ambiciózus tervet elemzünk, amikor a Föld villamos energia igényének 10%-át szárazföldi és offshore szél erőművekkel állítják elő, akkor a szárazföldi széle energia potenciál legfeljebb 3×10^{-5} részét használnánk ki.

Milyen következményei lehetnek?

Egyfelől a kinetikus energia disszipációjának (hővé alakulásának) területi eloszlása változna (hisz a villamos energia felhasználá-

lása nem esik egybe az energiatermelés helyszínével), másfelől megváltozna a kinetikus energia – a már említett hétnapos – disszipációs ideje. Mindkét esetben nyugodtan mondhatjuk, hogy a változás mértéke messze kisebb, mint a jelen ismereteinkben meglévő bizonyosság. Például, a disszipáció ideje legfeljebb egyharmad perccel rövidülne.

E tekintetben nyugodtan kijelenthetjük, hogy nem valószínű a globális légköri cirkulációs rendszer megzavarása. Az azonban nem zárható ki, hogy a helyi szélrendszerek kisebb módosulása bekövetkezik.

Elektromágneses interferencia

Amennyiben rádió, televízió, vagy mikrohullámú adó és vevő között szél erőmű helyezkedik el, előfordulhat az elektromágneses hullámok visszaverődése. A visszavert hullám aztán interferenciába léphet az eredetileg kibocsátott elektromágneses hullámmal. Ha ez az interferencia fellép, akkor például a TV kép „szellemképes” lesz, vagy a rádió „zavartnak” tűnik. Egyes vélemények szerint a radar berendezések zavara is felléphet, bár e kérdés egyelőre nyilvánosan nem tisztázott.

A visszaverődés nagymértékben függ a szélkerék és a torony anyagától, annak fizikai méreteitől, alakjától. Általában a zavar megszüntetéséhez egyéb műszaki beavatkozások (néha drága megoldások) szükségesek, például a TV esetében kábel hálózat kiépítése, vagy újabb átjátszók alkalmazása.

Feltűnő azonban, hogy az irodalomban e kérdés alapos, a részleteket is feltáró vizsgálatai hiányoznak. A jelenséget és a potenciális problémát, mint egy egyszerű, technikai eszközökkel megoldható kérdést kezelik.

Erózió

Szokásos körülmények közt, sík területen telepített erőművek esetén e jelenséggel nem kell számolni. Nem így a hegyvidékeken, sivatagokban, azaz nem művelt területeken. Itt a telepítéssel kapcsolatos munkák következtében megbontják a korábbi felületet és ez által a szélnek, a csapadéknak jobban kitett helyzetet hozhatnak létre. Mindezek azonban gondos munkavégzéssel és a terület tudatos védelmével könnyen elkerülhetők.

Madár- és denevérpusztulás, biológiai sokszínűség sérülése

A szélerőművek hatása e téren kettős: – egyfelől a madarak és denevérek közvetlen ütközése a szélkerékkel – másfelől a zavaró hatás miatt a madarak élettere beszűkül és feltelezhető az elköltözésük.

Az irodalomban talán a leggyakrabban hivatkozott madárpusztulás a californiai Altamont Pass területén folyik. A hetvenes években épített szélerőmű farm mintegy 6700 kisebb teljesítményű, nagy forgássebességű elemből áll. A kilencvenes években átlagban évente mintegy 300 db ragadozó madár esett áldozatul, ütközvén a szélkerekekkel. Bár ez a szám megdöbbentően magas, mégis a szokásos madár/turbina/év mérőszámot alkalmazva még a 0,5 értéket sem éri el. Az irodalomban található európai, ausztráliai adatokkal általában ennél magasabbak, jelentős szórással egy-két madár/turbina/év paraméterről számolnak be (*Wind coordinating committee*, 2004).

Fontos megjegyezni, hogy a ragadozó madarak a leginkább veszélyeztetettek. (A vadászás során vélhetően csak a prédára koncentrálnak.) Nagyfokú pusztulásukkal felborulhat a helyi biológiai egyensúly.

A baj általában a rosszul megválasztott telepítési hely miatt van. Ezért a madár és denevér pusztulás elkerülésére különösen körültekintő telepítést javasolnak a szakértők, például a kisebb madarak lakóhelyétől 250–500 m-es, míg a nagy testű állatok esetében akár 800 m-es védőtávolságot tartanak szükségesnek.

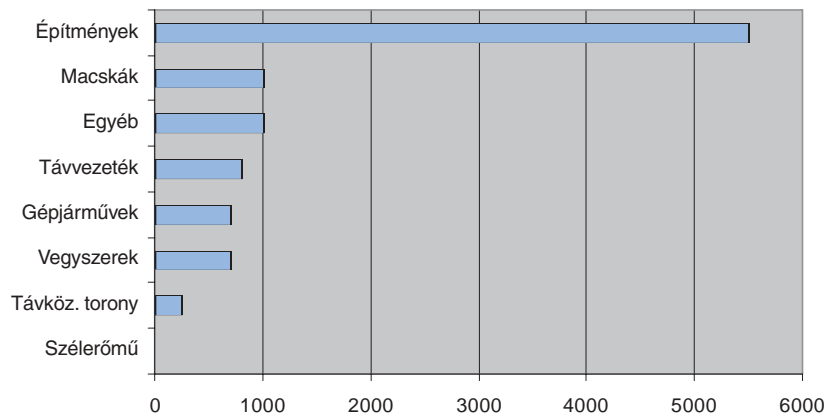
A javaslatok szerint az erőművek telepítésénél kerüendő a védett madarak tartózkodási területei, a vándorlási útvonalak, az az élettér ahol sok madár tartózkodik, továbbá a költőhelyek környezete (*Chapman*, 2003.).

továbbá, hogy az erőmű közelében lakók véleménye az idővel kedvezőbb lesz.

Talán objektívabbnak tűnhet a véleményalkotás, ha az erőművek körzetében lévő ingatlanok értékét, illetve értékében bekövetkezett változásokat mérlegeljük. Gyakori vélemény, hogy az ingatlanok értékvesztést szenvednek el, bár előfordul olyan vélemény is, hogy ezen építmények nincsenek befolyással az árra (*20-MW Wind Farm*, 2002) Mindenesetre a nyitott tér, a zavar-talan tájkép értéknövelő, melyet az erőművek képe ronthat.

Áthidaló megoldásként az újabb

Madárpusztulás oka 10000 esetből



Forrás: Erickson, et.al, 2002. Summary of Anthropogenic Causes of Bird Mortality

Táj-terhelés (látvány)

A szélerőművek egy adott térség meghatározó látványai. Az erőmű magasságától és a felszín egyenletlenségeitől függően 2 km-en belül a táj domináns eleme, míg 2–5 km-en belül fontos eleme (*Stanton*, 1996).

Annak megítélése, hogy a tájképet mily mértékben zavarja (vagy éppen kiegészíti), komoly, a szubjektív értékítélétől befolyásolt viták tárgya. Az állásfoglalás erősen függ a véleményt alkotó és a szélerőmű kapcsolatától. Azaz akik közel laktak egy ilyen erőműfarmhoz azok véleménye kevésbé pozitív, mint azoké, akiknek nincs közvetlen tapasztalatuk, illetve a telepítésben érdekeltek. Érdekes tapasztalat

telepítésekkor részletes látványterv készítését javasolják. A tervnek a fontos tájképi elemeket és értékeket, valamint az azokra gyakorolt hatást is be kell mutatnia (*Cambridge windfarm proposal*, 2004). A látványtervek alapján aztán széleskörű társadalmi egyeztetés eredményeként születhetnek meg a döntések.

Léteznek vizsgálatok és azokon alapuló javaslatok, melyek szerint például a szélerőmű színe, annak változatossága, a környezetben lévő állandó építmények és azok horizontális mérete, az energia hálózattal kiépített kapcsolat, a megközelítést biztosító út is jelentőséggel bír a látvány tekintetében.

Összefoglalóan mondhatjuk, hogy e tárgykörben nincs általános-

nak tekinthető mértékadó és kiforrott vélemény, de e körülmény a tervezés során nem hagyható figyelmen kívül.

Terület-foglalás

A területfoglalásnak legalább két értelmezése lehetséges. Egyfelől a ténylegesen építmények, berendezések részére igénybe vett terület, másfelől a szélenergia felhasználása oldaláról az a terület, melyen belül további szél erőművek csak lényegesen alacsonyabb hatékonysággal üzemeltethetők.

Az utóbbiból kiindulva egyes szerzők szerint sík területen, az átlagos energia termelő képességű széleloszlás esetén 60 acres/MW névleges teljesítmény (mintegy 24 hektár/MW) területfoglalás tekinthető általánosnak. (Érdemes összevetni a „Beavatkozás a légköri áramlási rendszerbe” című bekezdéssel!)

Az ilyen mértékű területfoglalás esetén a tényleges terület használat azonban csak néhány százalék (2–5%), mely az utak, az építmények és az elektromos berendezések telepítéséből következik.

A területfoglalás egy másik aspektusa a terület optimális hasznosítása a tulajdonos szempontjából. Vizsgáljuk meg ezt a kérdést a profit oldaláról. Ha egy hektár jó minőségű szántó föld ma hazánkban – minden támogatást is figyelembe véve – úgy évi 200 eFt bevételt jelent gazdájának, akkor annak adózás előtti nyeresége, legfeljebb ha 20 eFt/év lehet.

Ugyan ekkora területet szél erőmű telepítésével hasznosítva az itt megtermelt áramból származó bevétel mintegy 60 mFt/év (amennyiben 1 MW teljesítményű és 30%-os hatékonyságú erőművel számolunk). Ha a nagyvonalú erőmű telepítő bevételeinek egy ezrelékét fizeti ki a terület bérleti díja ként, akkor a tulajdonos 60 eFt/év adózás előtti nyereségre tehet szert.

Zaj kibocsátás

Talán a jelenséget legjobban észrevehető részét a surrogás hangutánzó szó jellemzi, amelyet alapvetően a szélkerék (kilépő él és vég), valamint a tartóoszlop okoz. Létrejön az áramló levegő és a szélkerék/oszlop interakciója során a turbulens áramlás következtében bekövetkező a szerkezetekre ható erőhatásnak, illetve az örvények leválásának köszönhető. E jelenség elsősorban gyenge-közepes szélnél zavaró, mert erős szélben a természetes környezet elemein keletkező hasonló jellegű háttér zaj ezt elfedheti.

Két fő zajforrás létezik a szél erőműveknél, úgymint aerodinamikai és mechanikai.

Aerodinamikai a hangkibocsátás akkor keletkezik, ha egy bizonyos sebességű szél tárgyakkal, objektumokkal „ütközik” és ekkor az örvények az objektumról leválva különböző magas frekvenciájú véletlen hang-hatásokat hoznak létre, illetve rezgésbe hozzák az akadály bizonyos elemeit, melyek aztán kibocsátják saját zajukat. Ez a zaj tipikusan a szárnylapátokon, ott is leginkább a végeken, keletkezik. A fejlesztések eredményeként a korszerű berendezéseken, az utóbbi években ez a típusú zaj jelentősen csökkent. (A kisebb zaj érdekében a korszerű berendezéseken például már nem teszik lehetővé a szárnylapát-végek 65 m/s-nál nagyobb sebességét.)

A mechanikai zajkibocsátás elsősorban a generátorból, a rotor szélirányba való forgatásából és egyes elemek rezonanciájából szár-

mazik. A jelenlegi technikai szinten, ha megfelelően karbantartott az erőmű, e hatás majdnem elhanyagolható.

A zaj zavaró hatása erősen függ a kibocsátás és a receptor távolságától, az emisszió föld feletti magasságától, a környezettől és a légkör állapotától (szélsebesség, szélirány és hőmérsékleti rétegződés).

A zaj a távolság négyzetével arányosan gyengül, és függ a környezeti elemeken bekövetkező visszaverődéstől, elnyelődéstől. 4–5 m/s-os szélsebesség esetén a fák levelein és ágain, kerítéseken, oszlopokon, építményeken keletkező zajok már elnyomhatják a szélkerék zaját. A környezetben lévő háttérzajtól – ökölszabály szerűen – mintegy 300 méteren-, illetve a rotor átmérőjének hétszeresén belül különíthető el csak a szélkerék okozta zajhatás.

Azonban kijelenthető, hogy szélirányban, bizonyos légköri helyzetben, egész kis zajok is jól terjedhetnek, nagyobb távolságon is hallhatók. Ezért a telepítésnél elengedhetetlen a tipikus szélrózsa és a potenciálisan zavart területek elhelyezkedésének figyelembevétele.

Fontos megkülönböztetni a zajt a hangtól. Vizsgálatok bizonyítják, hogy a zavaró hatás nagymértékben pszichológiai attitűd, a forráshoz való viszonyulás függvénye. Ezért már felmerült az az ötlet is, hogy bizonyos esetekben a magas frekvenciájú zajt kellemesebb hanghatásokkal mintegy elnyomják.

Magányosan álló, közepes teljesítményű szélturbina 90-100 dB(A) zajt bocsát ki. A zaj a szélirányban 40 m távolságra 50-60 dB(A)-re,

1. táblázat

	dB(A)
Éjszaka vidéken	20-40
Csendes hálózata	35
40 mph sebességu gépkocsi 100 m távolságból	55
Iroda (normál munkavégzés mellett)	60
30 mph sebességu teherautó 100 m távolságból	65

Összehasonlító zaj adatok

(The Scottish Office, Environment Department, Planning Advice Note)

500 m-re pedig 25-35 dB(A)-ra csökken. Tíz hasonló turbina együttesen 500 m-re 35-45 dB(A)-l elterheli a környezetet. Ha azonban a széllel ellentétes irányban vizsgáljuk ugyanezt a farmot, akkor 10 dB(A)-l kisebb zajterhelést tapasztalunk. (*British Wind Energy Association*, 2000) (Összehasonlításként az 1. táblázatban egyéb zajokat adunk meg.)

Infra- és alacsonyfrekvenciás zaj kibocsátás

A jelen megközelítésben az infra- és alacsonyfrekvenciás zaj kibocsátásának az a legfontosabb tulajdonsága, hogy intenzitásának csillapodása a távolsággal lényegesen gyengébb, mint a magas frekvenciás zajoknak. Azaz e jelenséget másképp kell kezelni. (Ambrózy Pál hívta fel figyelmet arra, hogy a mindennapi életben e jelenséget kiválóan példázza a ma közkedvelt hangos zenehallgatás az autókban. Amikor jön, vagy megy a jármű csak a dobok hangos ritmusa hallható.)

A szélturbináknál a szél-irányban ellentétes oldalon az infra- és az alacsony frekvenciás zajok általában tapasztalhatók, mérhetőek (*McKenzie* 2004). Az infrahang arra érzékenyeknél alvászavart, fejfájást, mentális zavarokat, esetleg hallucinációt is okozhat. Tehát, mint lehetséges környezeti ártalmat, nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A méréseket, illetve a terhelhetőséget a lakosság legérzékenyebb 5–10 százaléka meghatározott küszöbértékhez képest szokás viz-

gálni. A mai szélerőművek e vizsgálatok szerint azonban a küszöbértéket meg se közelítő zajt bocsátanak ki. Például 0,5–1 MW teljesítményű turbinától 500 m távolságra 10 Hz frekvencián a határérték harmadát (20 Hz-en szintén a harmadát), míg a 2 MW teljesítményt meghaladó turbina esetén, 10 Hz-en és 2 km távolságban a határérték negyedét (20 Hz-en pedig a tizedét) sem éri el a „zajszint” (*Tempest and Leventhall* 2004).

Összefoglalásul elmondható, hogy a mai technikai, technológiai színvonalnak megfelelő szélerőművek környezeti hatása: megfelelő gondos telepítés esetén, a környezet számára elfogadható, kivédhető terhelést jelentenek.

Az általuk okozott károk eltérnek a már megszokottak tekinthető fosszilis erőművek hatásaitól, így közvetlen összehasonlításuk nehezen képzelhető el. Mégis, ha általános értékmérőként a károk árát pénzben fejezzük ki, úgy mai tudásunk szerint a széleenergia közelebb áll a „zöld energia” fogalmához.

Mind ez azonban nem menti fel a telepítőt az alól a felelősége alól, hogy az érintetteket időben bevonja a tervezésbe, építésbe. Az irodalmi tapasztalatok alapján az ilyen gondos beruházó hosszútávon sokkal előnyösebb helyzetbe kerül, többszörösen megtérül befektetése.

Mersich Iván

Irodalom

Braam H. and Rademkers L.W.M.M.: Guidelines on the Environmental Risk of Wind Turbines in the Netherlands Global Wind Energy Conference, Paris, 2002

Cambridge windfarm proposal review of the landscape and visual chapter of the environmental statement 2004 www.stopcambridgewindfarm.org.uk/documents/Blandford%20Full%20Report.PDF

Chapman A. 2003 Renewable energy industry environmental impacts <http://www.countryguardian.net/chapman.htm>

Christiansen, M.B. and Hasager C.B. 2006 Wind farm wake mapping from SAR

Risoe National Laboratory, Frederiksbergvej 399, DK - 4000 Roskilde, Denmark

Dobesch, H. and Kury G. 2001 Meteorological concepts and recommendations for the exploitation of wind energy in the atmospheric boundary layer WMO

ExternE 1995 A Research Project of the European Commission, www.externe.jrc.es Proceedings, Low Frequency 2004. 11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control Maastricht, Netherlands, 30 August - 1 September 2004

Editors: Dr W. Tempest and Dr H. G. Leventhall

Shadow Flicker Briefing Wind Farm Measurements and Modeling 2003 www.efsec.wa.gov/wildhorse/deis/appendices

Sørensen B.(2000): Renewable Energy. Its physics, engineering, use, environmental impact, economy and planning aspects. Academic Press.

Stanton C. 1996 The Landscape Impact and Visual Design of Windfarms School of Landscape Architecture, Edinburgh College of Art, Heriot-Watt University, Lauriston Place; Edinburgh

Tempest W. and Leventhall H.G. 2004 Proceedings, 11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control Maastricht, Netherlands,

20-MW Wind Farm and Associated Energy Storage Facility Environmental Assessment, 2002

www.tva.gov/environment/reports/windfarm

Wind coordinating committee, 2004 Wind turbine interactions with birds and bats: a summary of research results and remaining questions Fact sheet: second edition national

www.nationalwind.org

KISLEXIKON

Folytatás az 5. oldalról.

Bq aktivitás

Vincze Cs. és társai: Húsz éve ...

A radioaktív részecskesugárzás erősségének mértéke. Az 1 Bq (becquerel) erősségű sugárzás 1 db radioaktív részecske kibocsátását jelenti 1 másodperc

alatt, vagyis $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$. A mértékegységet a radioaktivitás egyik felfedezőjéről, a francia Henri Becquerelről (1852–1908) nevezték el.

K-elmélet

Vincze Cs. és társai: Húsz éve ...

Más néven „a keveredési úthossz elmélete”. Egy légköri nyomanyag terjedésének leírására szolgáló elmélet a turbulens, azaz a néhány centiméteres távol-

ságokkal jellemezhető mozgásrendszerek tartományában. Alapfeltételezése, hogy a terjedés egyenesen arányos a nyomanyag gradiensével, azaz egységnyi távolságra jutó változásával. Arányossági tényező a turbulens örvénytestek intenzitását jellemző mennyiség, amelyet általában K-val szoktak jelölni.

Összeállította: Gyuró György