

Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledž

Keskkonnakaitse õppetool

TUULEENERGEETIKA KESKKONNAMÕJUD

Bakalaureusetöö tööstusökoloogia erialal

Siim Kilki

Juhendaja: Tiit Lepasaar

Tartu 2013

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

.....

Kuupäev

.....

Allkiri

Sisukord

Põhimõisted	4
Sissejuhatus	6
1. Metoodika.....	7
2. Ülevaade tuuleenergeetika levikust Eestis	8
3. Ülevaade tuuleenergia kasutusest teistes Läänemere piirkonna riikides	11
4. Tuulegeneraatorite keskkonnamõju.....	14
4.1. Mõju inimesele	14
4.1.1. Müra emissioon	14
4.1.2. Visuaalne mõju	17
4.1.3. Varjude mõju.....	19
4.1.4. Elektromagnetiline interferents	20
4.2. Mõju keskkonnale	20
4.2.1. Maakasutus	20
4.2.2. Veekasutus	20
4.2.3. Õhureostus	21
4.2.4. Kohalikud kliimamuutused	22
4.3. Mõju lindudele.....	22
4.4 Mõju maismaaimetajatele.....	24
4.4.1. Mõju nahkhiirtele	25
4.5. Mõju mereelustikule	26
5. Tuuleenergeetika keskkonnamõju võrdlemine teiste elektritootmisviisidega	30
5.1. Erinevate elektritootmisviiside kasvuhoonegaaside heitmete võrdlus	32
6. Tuuleparkide keskkonnamõju vähendamine	34
6.1. Visuaalse mõju vähendamine	34
6.2. Müra mõju vähendamine	34
6.3. Varju väreluse mõju leevendamine	35
6.4. Õhureostuse vähendamine	35
6.5. Lindude kaitse	35
6.6. Nahkhiirte kaitse.....	37
6.7. Mereelustiku kaitse.....	37
6.8. Tuulikute keskkonnasõbralik utiliseerimine	38
7. Arutelu	39
Kokkuvõte	41

Summary.....	42
Tänuõnad.....	43
Kirjanduse nimestik.....	44
Õigusaktid.....	48

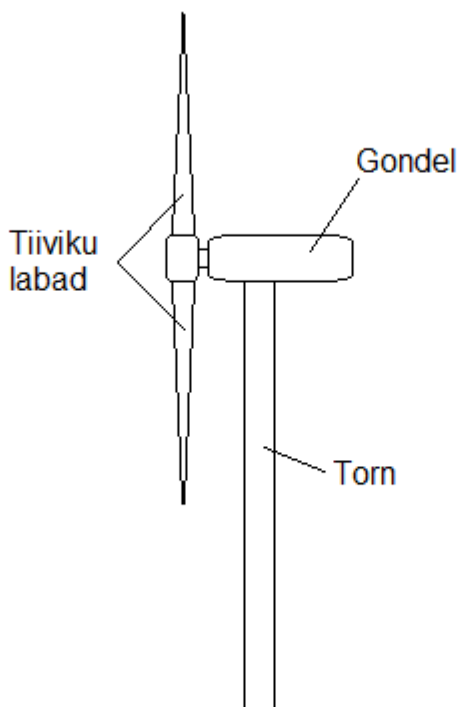
Lisad

Lisa 1. Eesti võimaliku tootmisvõimsuse kujunemise ja tootmis- ning tarbimisvõimsuse suhte arvutuskäik

Lisa 2. Välditud keskmine CO₂ heitmete kogus aastas võrrelduna ühe keskmise Eestis müüdü auto CO₂ emissiooniga aastas

Põhimõisted

Tuulik – ka tuulegeneraator või tuugen; tornist, tiiviku labadest ja gondlist (vaata Joonis 1) ning neid sisaldavatest osadest koosnev mehhanism, mis muundab tuule kineetilise energia elektrienergiaks. Enamik (~95%) tuulikuid on horisontaalteljelised (nagu Joonis 1), vaid vähesed tuulikud (~5%) on vertikaalteljelised (Kikuchi, 2008).



Joonis 1. Tuuliku skeem (Kikuchi, 2008)

Tuulepark – ka tuuleelektrijaam; mitmest tuulikust koosnev elektrijaam.

Torn – 40 kuni 100 meetri kõrgune sorditerasest, sõrestikust või betoonist rajatis, mille otsas asub tuuliku gondel.

Gondel – tuuliku mehhanisme kattev klaaskiust kest. Gondlis on tiivikurumm, laagrid, peavõll, käigukast, generaator, sammusüsteem, võimsusmuundur, transformaator, pidurdussüsteem. Torni ja gondlit ühendab turbiini alus ja laagerdussüsteem. Gondli külge kinnituvad tiiviku labad.

Tiiviku labad – komposiitmaterjalist (klaaskiu ja epoksüvaigu segu), polüestrist või süsinikkiust valmistatud kuni 60 meetri pikkused labad, mis tuule mõjul pööreldes panevad generaatori elektrit tootma. Malmist tiivikurumm hoiab labad pöörlemise ajal õiges asendis.

Peavõll – seadeldis, mis kannab tiiviku pöörlemisel tekkiva jõu üle käigukastile.

Käigukast – seadeldis, mille hammasrattad suurendavad mitmes etapis tiivikuvõlli madalat pöörlemiskiirust, et saavutada generaatori tööks vajalik kiire pöörlemiskiirus.

Generaator – seadeldis, mis muundab mehaanilise energia elektrienergiaks.

Sammusüsteem – süsteem, mis reguleerib labade kaldenurka, et puhuvat tuult maksimaalselt ära kasutada.

Võimsusmuundur – seadeldis, mis muundab generaatori toodetud alalisvoolu elektrivõrgule edastatavaks vahelduvvooluks.

Transformaator – seadeldis, mis muundab toodetud elektrienergia kõrgepingeenergiaks, mida elektrivõrgus kasutada saab.

Pidurdussüsteem – ketaspiduritest koosnev süsteem, mis peatab vajadusel tuuliku liikumise.

Turbiini alus – torni otsas asetsev alus, millele toetub gondel.

Laagerdussüsteem – mehhanism, mis pöörab gondlit vastavalt tuule suuna muutusele.

(Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013a)

Sissejuhatus

Tänapäevane ühiskond on üles ehitatud fossiilseid kütuseid tarbides. Selleks on välja arendatud väga tõhusad tehnoloogiad kõigis eluvaldkondades, kuid jätkuv fossiilkütuste tarbimine ja kasvuhoonegaaside emiteerimine on viinud meie maailma globaalsete kliimamuutusteni, mistõttu niisked paigad muutuvad veel niiskemateks ja kuivad veel kuivemateks. Samuti on üheks suureks probleemiks jõukate ja arenevate riikide üha suurenev energianälg – tarbitakse rohkem energiat, kui suudetakse toota. Seetõttu võetakse kasutusele kõikvõimalikud elektritootmisviisid, millest eelistatakse keskkonnasõbralikumaid – hüdro-, tuule-, päikese- ja biomassi energeetika.

Kuna tuuleenergia on üks suurima potentsiaaliga taastuveenergiaallikaid Eestis, siis on Eestisse planeeritud ka palju tuuleparke. Üha enamate tuuleparkide rajamine ja elektrivõrku ühendamine on nende keskkonnamõjud aktuaalseks muutnud ka Eestis. Seetõttu on antud töö tähtis Eesti tuuleenergia keskkonnasõbralikuks arenguks ning on lähtepunktiks edasistele teadusuuringutele tuuleenergeetika keskkonnamõtjude valdkonnas.

Töö eesmärkideks on:

- Tutvustada tuuleenergia levikut Eestis ja lähiriikides;
- Tuua välja tuuleenergeetika erinevad keskkonnamõtjud;
- Võrrelda tuuleenergeetika keskkonnamõtjusid teiste elektritootmisviiside keskkonnamõtjudega;
- Leida võimalusi ja anda soovitusi tuuleenergeetika keskkonnamõtjude leevendamiseks.

Töö autor püstitas ka hüpoteesi:

- Tuuleenergeetika on teistest elektritootmisviisidest keskkonnasõbralikum.

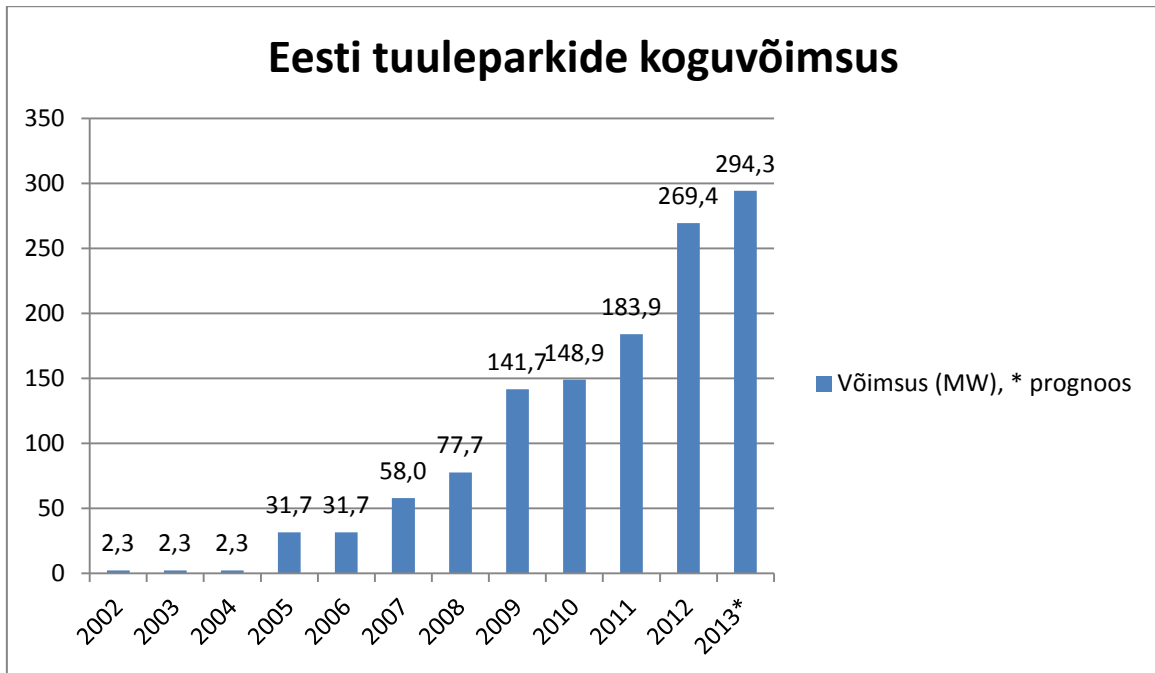
1. Metoodika

Käesolev töö on referatiivne ning selle koostamisel kasutati perioodiliste teadusajakirjade teemakohaseid artikleid, kohalike ning üleeuroopaliste ametiasutuste uuringute ja mõõtmiste aruandeid ning analüüse, Läänemere maade tuuleenergiaassotsiatsioonide kodulehekülgi, tuuleenergeetika andmebaasi (kodulehekülg), tuulikute tervisemõjusid käsitlevat raamatut (Internetis), teemakohaseid kohalikke ajaleheartikleid, uusi tehnoloogiaid tutvustavaid kodulehekülgesid ning sotsiaalministri määrust lubatava mürataseme kohta. Kõik allikad on välja toodud kasutatud kirjanduse nimestikus ning viidatud töös.

Analüüsi käigus leiti refereeringute põhjal kõikvõimalikud järeldused ning toodi välja ettepanekuid tuuleenergeetika arendamiseks ja selle keskkonnamõju vähendamiseks. Need on kirjas Arutluse peatükis.

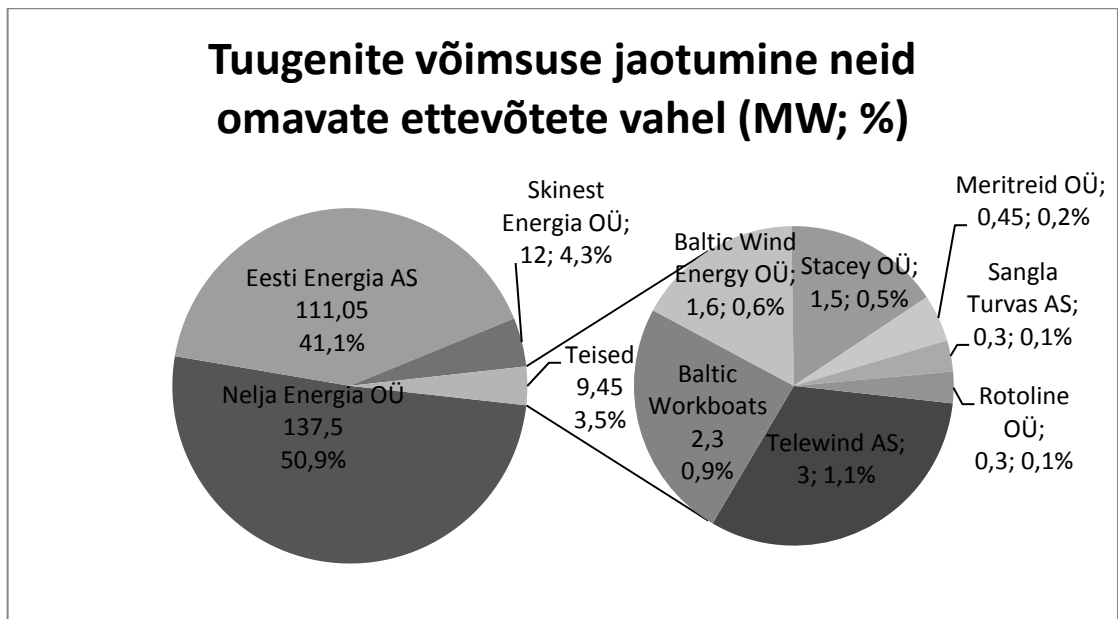
2. Ülevaade tuuleenergeetika levikust Eestis

Hetkel toodetakse Eestis elektrit 21 tuulepargis 126 tuulikuga, mille koguvõimsus on 269,4 MW (tuulikute koguvõimsuse kasvu vaata Joonis 2). 2012. aasta septembri seisuga oli Eesti elektrijaamade summaarne installeeritud netootmisvõimsus 2652 MW, millest tipuajal on võimalik kasutada tootmisvõimsusi 2275 MW ulatuses. 2012. aastal moodustas tuulegeneraatorite toodetud elektrienergia 5,5% kogu elektritarbimisest ehk 448 GWh. (Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013b; Elering, 2012)



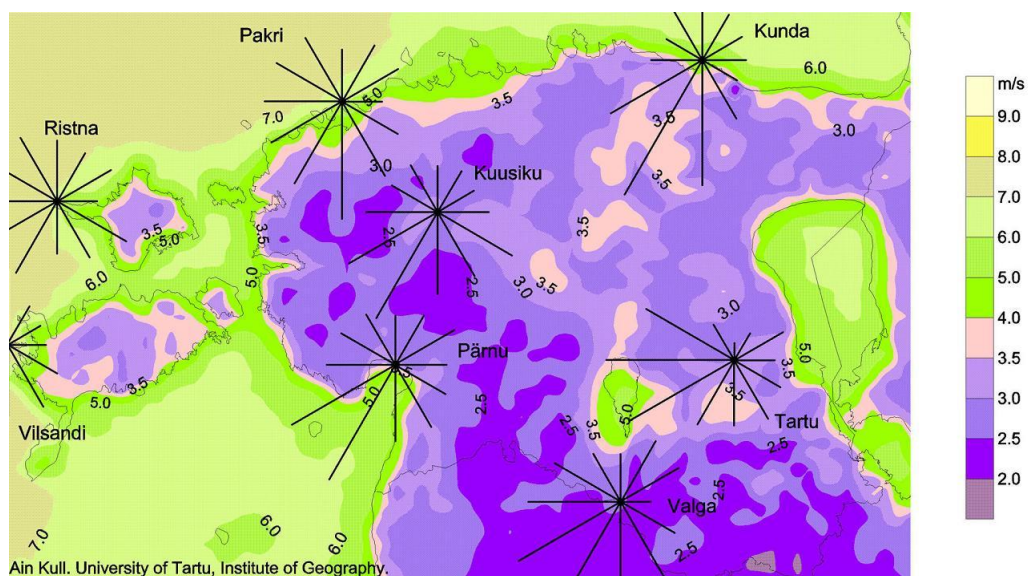
Joonis 2. Eesti tuuleparkide summaarne võimsus aastate lõikes ning prognoos 2013. aastaks (Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon 2013b)

Töötavad tuulepargid kuuluvad kümnele ettevõttele (vaata Joonis 3). Suuremad tuulepargid on Aulepa tuulepark (48 MW, 16 tuulikut) Läänemaal, Paldiski tuulepark (45 MW, 18 tuulikut) Harjumaal ja Narva tuulepark (39 MW, 18 tuulikut) Ida-Virumaal. (Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013b)



Joonis 3. Tuulegeneraatorite koguvõimsuse jaotumine neid omavate ettevõtete vahel Eestis (MW; %) (Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013b)

Enamus tuuleparke asub Saaremaa, Lääne-Eesti ja Virumaa rannikualadel, mis on ka kõige tuulisemad kohad Eestis (vaata Joonis 4). Tuulegeneraatorid toodavad elektrit, kui tuulekiirus on 4-30 m/s. Nagu kaardilt näha, siis enamasti on rannikualadel, avamerel ja suurtel järvedel (Peipsi, Pihkva, Lämmi- ja Võrtsjärv) kümne meetri kõrgusel aastane keskmine tuulekiirus üle nelja meetri sekundis (vaata Joonis 4). (Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013b) 50 meetri kõrgusel on kogu Eestis tuule keskmine kiirus üle nelja meetri sekundis. (Rathmann, 2003)



Joonis 4. Aasta keskmine tuulekiirus ja suund 10 m kõrgusel (Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013c)

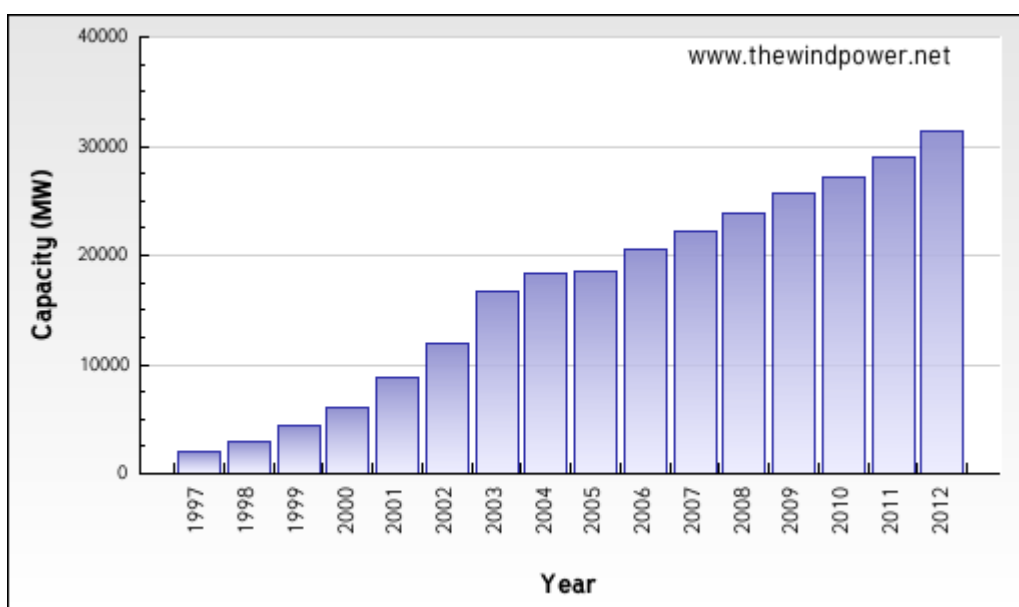
Praegu on ehituses kolm tuuleparki summaarse võimsusega 24,9 MW ning planeerimisel on 23 maismaatuuleparki summaarse võimsusega 1465,5 MW ja 4 avameretuuleparki summaarse võimsusega 3489 MW (vaata Joonis 5). Nende kõigi valmimisel ja tööle hakkamisel oleks Eesti elektrijaamade summaarne installeeritud netootmisvõimsus 7631,4 MW (juhul, kui ühtegi teist liiki elektrijaama ei ehitataks), millest tuuleelektriijaamad moodustaksid umbes 68,8% (arvutuskäiku vaata Lisa 1). Antud juhul ületaks tootmisvõimsus maksimaalset tarbimisvõimsust praegusel tasemel (2052 MW) 4,9 korda (vaata Lisa 1). (Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013b; Elering, 2012)



Joonis 5. Tuuleenergeetika seis Eestis: rohelised tilgad - olemasolevad tuulepargid; kollased mutrivõtmed - ehituses olevad tuulepargid; sinised knopkad - planeeritavad tuulepargid (Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013b)

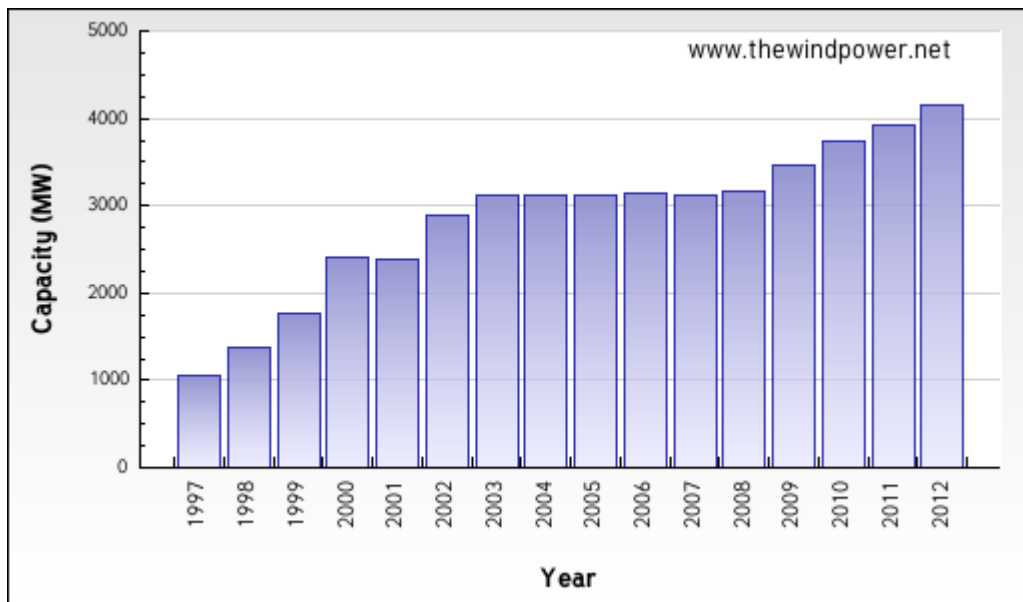
3. Ülevaade tuuleenergia kasutusest teistes Läänemere piirkonna riikides

Läänemereäärsetest riikidest on kõige rohkem tuulegeneraatoreid kasutusse võtnud Saksamaa, kes on maailmas Hiina ja USA järel kolmandal kohal tuuleparkide installeeritud koguvõimsuse järgi. Saksamaal oli 2012. aasta lõpuks tuulikute installeeritud koguvõimsus 31 332 MW. Tuuleparkide summaarne koguvõimsus on Saksamaal igal aastal kasvanud (vaata Joonis 6). 2012. aastal tootsid tuulepargid Saksamaal 45 000 GWh elektrienergiat, mis moodustas 7,3% kogu Saksamaa elektritarbest. (Bundesverband WindEnergie, 2013; The Wind Power, 2013)



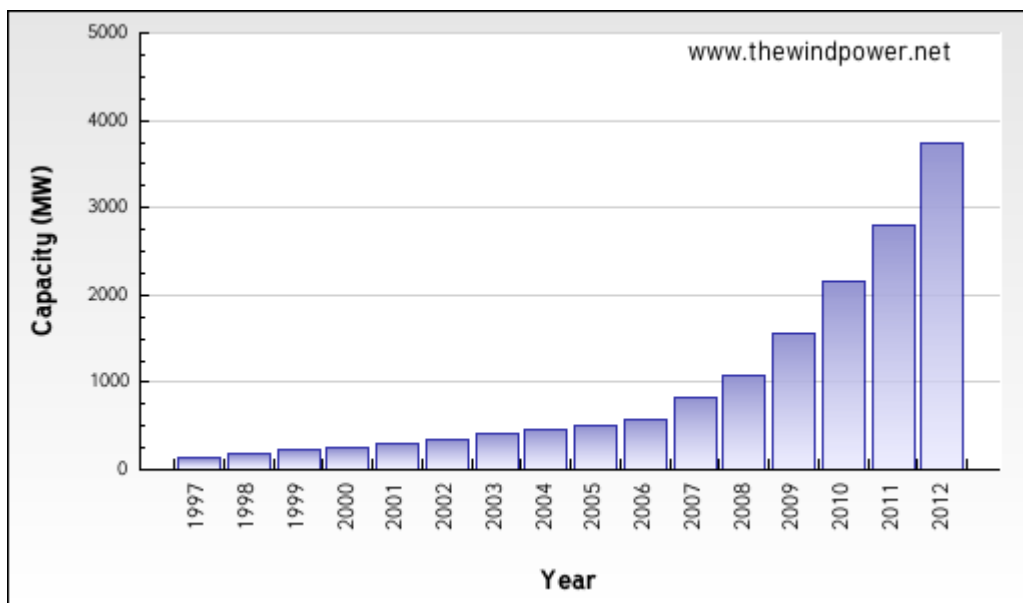
Joonis 6. Saksamaa tuuleparkide installeeritud koguvõimsus (MW). x-teljel on aasta, y-teljel võimsus. (The Wind Power, 2013)

Saksamaale järgneb meie lähiriikidest Taani 4162 MW, kus esimesed 1000 MW installeeriti juba enne 1997. aastat. Aastatel 2003-2008 püsis Taanis tuuleparkide koguvõimsus 3000 MW juures ning pärast seda on igal aastal kasvanud (vaata Joonis 7). Taanis tahetakse aastaks 2020 vähendada tuulikute arvu praeguselt 5000-lt 3400-ni, kuid nende efektiivsuse suurendamisega tõstetakse tuuleenergia osa tarbimises praeguselt 28%-lt 50%-ni ehk 9800 GWh-lt 18 000 GWh-ni ning summaarne võimsus tõuseb ligi 6000 MW-ni. (The Wind Power, 2013, Vindmølleindustrien, 2012)



Joonis 7. Taani tuuleparkide installeeritud koguvõimsus (MW). x-teljel on aasta, y-teljel võimsus. (The Wind Power, 2013)

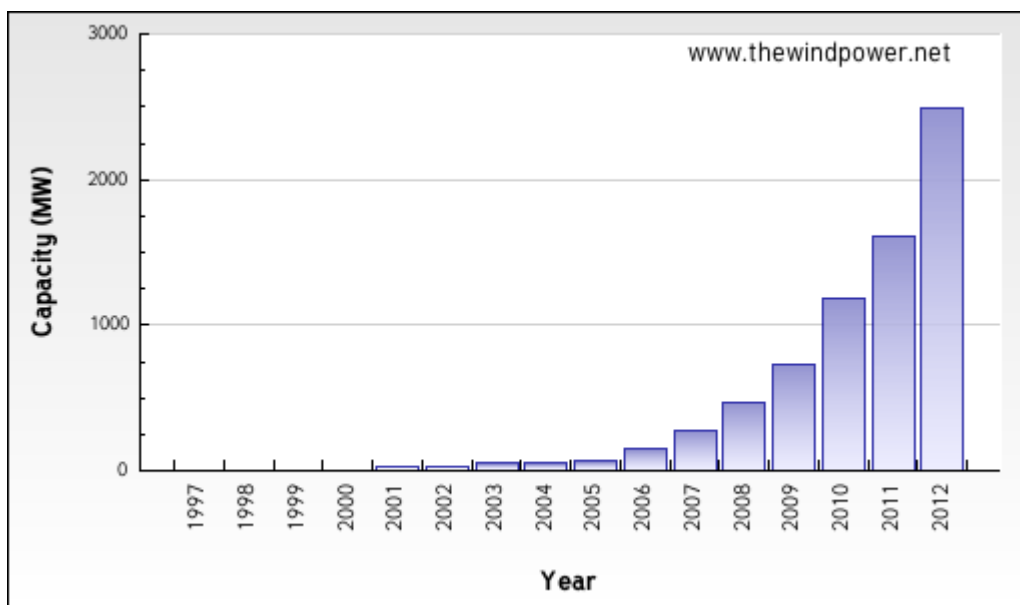
Rootsis on installeeritud tuuleparkide summaarne võimsus 3745 MW, olles kasvanud kiiresti alates 2007. aastast (vaata Joonis 8). 2012. aastal tootsid tuulepargid Rootsis 7100 GWh elektrienergiat. 2020. aastaks tahab Rootsi toota üle 20 000 GWh elektrienergiat tuulest. (Svensk Vindenergi, 2012; Svensk Vindkraftförening, 2012; The Wind Power, 2013)



Joonis 8. Rootsi tuuleparkide installeeritud koguvõimsus (MW). x-teljel on aasta, y-teljel võimsus. (The Wind Power, 2013)

Poola tuuleparkide summaarne võimsus on kasvanud sarnaselt Rootsile, kuid veel kiiremini

2497 MW-ni (vaata Joonis 9). 2011. aastal tootsid Poola tuulepargid 3126 GWh elektrienergiat. (Polish Wind Energy Association, 2012; The Wind Power, 2013)



Joonis 9. Poola tuuleparkide installeeritud koguvõimsus (MW). x-teljel on aasta, y-teljel võimsus. (The Wind Power, 2013)

Norras oli 2013. aasta veebruari seisuga tuulikute installeeritud koguvõimsus 704 MW (Vindportalen 2013). Soomes oli 2012. aasta lõpus installeeritud koguvõimsus 288 MW (Tuulivoimayhtistys, 2013). 2011. aasta lõpus oli installeeritud koguvõimsus Leedus 179 MW, Lätis 31 MW ja Valgevenes 4 MW. Venemaal on Läänemere regioonis ainult üks 21 tuulikuga 5,1 MW tuulepark Kaliningradi oblastis. (The Wind Power, 2013)

4. Tuulegeneraatorite keskkonnamõju

4.1. Mõju inimesele

4.1.1. Mära emissioon

Tuulikute töötamisel tekib kahte liiki müra – aerodünaamiline ja mehaaniline müra. Tuuliku tekitatud müra väheneb tuuliku kauguse kasvades nii, et ühe kilomeetri kaugusel on tekkinud müra täielikult keskkonnas sumbunud. (Katsaparakakis, 2012; Saidur *et al.*, 2011; Chourpouliadis *et al.*, 2012)

Aerodünaamilise müra tugevus sõltub tiivikute aerodünaamilisest disainist ja tuulekiirusest. Aerodünaamiline müra jaguneb kaheks – pöörlemise ja turbulentsi müra. Pöörlemismüra tekib tiiviku pöörlemise sagedusest, turbulentsi müra kaasneb õhukeerise tekkimisega tiiviku labade tippudes ja turbulentsi tekkimisega tiivikute taga. (Katsaparakakis, 2012; Chourpouliadis *et al.*, 2012)

Mehaanilist müra tekitavad tuuliku liikuvad elektromehaanilised osad. Enamus mehaanilisest mürast tekib käigukasti, generaatori ja peavõlli tõttu. (Katsaparakakis, 2012; Chourpouliadis *et al.*, 2012)

Kaasaegse tuuliku müratase gondli juures jääb vahemikku 95-st 105 detsibellini (dB), mis on enamasti aerodünaamiline müra. Mehaaniline müra tekib tänapäevastel tuulikutel ainult probleemide tõttu, sest gondli seest tuleva mehaanilise müra summutab isolatsioonmaterjal. (Katsaparakakis, 2012)

Tabel 1. Tuuliku tekitatud müra hajumine meetrites (Katsaparakakis, 2012)

Müratase müra tekkimisel gondli juures (dB)	Kaugus tuulikust 45 dB mürataseme juures	Kaugus tuulikust 35 dB mürataseme juures	Kaugus tuulikust 30 dB mürataseme juures
105	350 m	575 m	775 m
100	200 m	350 m	575 m
95	120 m	200 m	350 m

Tuulikute mürataseme mõõtmiseks on välja pakutud erinevaid meetodeid, millest täpseimad nõuavad eraldi mõõtmist öösel. Tüüpilised müra hajumise kaugused on toodud tabelis 1. Tabelis 2 on võrdluseks toodud erinevate antropogeensete helide müratasemed. (Katsaparakakis, 2012)

Tabel 2. Antropogeensete helide müratasemed (Katsaprakakis, 2012)

Inimtegevus või seade	Tekitatud müratase (dB)
Ööklubi	100
Kesklinn päeval	75
Inimese kõne	60
Külmkapp	35-40
Magamistuba puhkamise ajal	30

Tuulikute tekitatud müra on märgatav ainult kindlate tingimuste juures. Väikse tuulekiirusega tuulik ei tööta – ei teki ka müra. Kui tuulekiirus ületab 8 m/s, siis varjavad tuuliku helisid tuule tekitatud helid (puulehtede sahin jms). Seega ei ole tuuliku tekitatud müra otseselt seotud tuulekiirusega ja on kuulda ainult tuulekiiruse vahemikus 3-8 m/s ning siiski ainult tuulikust selles suunas, kuhu puhub tuul. Mürast tekkinud häirituse tekitab kohalike elanike seas enamasti tuulepargi nägemine. (Katsaprakakis, 2012; Saidur *et al.*, 2011)

Sotsiaalministri määruses „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“ on välja toodud, et I kategooria aladel (looduslikud puhkealad ja rahvuspargid, puhke- ja tervishoiuasutuste puhkealad) võib tööstusettevõtte (milleks on ka tuuleelektrijaam) müra ekvivalenttase planeeritavatel aladel olla kõige rohkem 45 dB päeval ja 35 dB öösel, olemasolevatel aladel 55 dB päeval ja 45 dB öösel. II kategooria aladel (laste- ja õppeasutused, tervishoiu- ja hoolekandetasutused, elamualad, puhkealad ja pargid linnades ja asulates) võib tööstusettevõtte müra ekvivalenttase planeeritavatel aladel olla kõige rohkem 50 dB päeval ja 40 dB öösel, olemasolevatel aladel 60 dB päeval ja 50 dB öösel. (Sotsiaalministri määrus, 2002)

Eesti suurima, Aulepa tuulepargi lähedase Suur-Nõmmküla elanikud on kaevanud häiriva müra pärast. Lähimad elamud on tuulepargist 700-900 meetri kaugusel. Kohalikud elanikud soovivad, et tuulikute kaugus elamutest oleks 2-3 km, mis oleks piisav vahemaa ebameeldiva müra ennetamiseks. (Ilves, 2009; Sammler, 2009)

2009. aasta sügisel tehtud mõõtmiste järgi oli Aulepa tuulepargile kõige lähemal asuva Tinise talu piiril müra hinnatud tase öösel 38,9 dB ning müra hinnatud tase päeval 40,8 dB. Võrreldes teiste lähedal asuvate elamutega on need kõige suuremad näitajad. Kui arvestada, et elamuala kuulub II kategooria alade hulka, siis vastasid müratasemed seadusele, kuid peab märkima, et mõõtmiste ajal asusid elamud tuulepargist allatuult. (Mell ja Rušai, 2009)

Paljustest tuulikutest koosnevad tuulepargid tekitavad mütsatuste sarnast heli umbes üks kord

sekundis. Need tekivad tuuliku labade möödumisel tornist. Tekkivat heli saab kirjeldada kui „lõputut rongi“. Päevasel ajal ei ole seda heli selgelt kuulda, sest ümbritsevad helid summutavad selle. Väga vaiksuses piirkonnas, kus puudub tihe taimestik, on üldine ümbritsev mürafoon väga madal, mistõttu vaiksuse tuule korral, mil tuuliku labad tiirlevad üsna kiiresti, on tuuliku tekitatava müra ja ümbritsevast keskkonnast tuleva müra kontrast öösel tunduvalt suurem kui päeval. Kui aga tuulikuid on palju, siis võivad nad töötada sünkroniseeritult, millest tulenevalt võib nende müratase tõusta veel 3 dB, kui samal ajal mööduvad tuuliku tornist labad kahel tuulikul, või 5 dB võrra, kui sünkroonis mööduvad tornist kolme tuuliku labad. (van den Berg, 2004)

Tuulikute tekitatud madalsageduslik aerodünaamiline heli võib inimesi häirida ning esile kutsuda unehäireid (lapsepõlve öised hirmud, täiskasvanute ärkamine ärevusest ja ülivalvsusest; vajadus öösel urineerida), peavalu (sagedasemad, tõsisemad ja kauem kestvad, kui tavalised), tinnitust (vile või sumin kõrvades), survet kõrvades, peapööritust, iiveldust, merehaigust, nägemise ähmastumist, tahhükardiat (kiirenenud südametegevus), ärrituvust, keskendumis- ja mäluprobleeme ning paanikahooge. (Pierpont, 2009)

Katses osalenud inimesed märkasid, et vastavad sümptomid tekkisid pärast tuulikute tööle hakkamist nende kodude naabruses. Mujale minnes sümptomid kadusid ning tagasipöördudes tekkisid sümptomid taas. Sümptomid ei ilmunud kõigil katses osalenutest. (Pierpont, 2009)

Tuulegeneraatorite madalsageduslik müra või vibratsioon petab keha mõtlema, et ta liigub. Viimase 10 aasta uuringud on näidanud, et viis, kuidas inimese keha registreerib tasakaalu ja liikumist, mõjutab ajufunktsioone (automaatsed ja reflektorsed lihaste liikumised; hoiatamine; ruumiline töötlemine ja mälu; füsioloogilise hirmu ilming; vastumeelsus õppimisele). Kui meie tasakaalu- ja liikumismeel on häiritud, siis on need ajufunktsioonid segadusse aetud. (Pierpont, 2009)

Tuuliku tekitatud müra tingitud häiritust mõjutab peale müra tugevuse ka tuulikute nägemine. Kuna inimesel on multisensoorne ümbruse tajumine, siis nähes oma kodust tuulikut, on suurem tõenäosus, et nähtud tuuliku müra teda ka häirib. (Pedersen ja Larsman, 2008) Samuti mõjutab tuulikust saadav tulu häiritust. Kelle maavaldustele tuulikud püsti on pandud ja kes selle eest kompensatsiooni saavad, neid tuulikud ei häiri (Ilves, 2009).

4.1.2. Visuaalne mõju

Tuulepargid ja nende toodetud elektri transpordiks rajatud elektrisüsteemid mõjutavad kahtlemata maastiku väljanägemist. Küsimus ei ole mõju olemasolus, vaid pigem selle aktsepteerimises, mis teeb sellest subjektiivse küsimuse. Inimeste arvamus sõltub suuresti nende kogemustest tuulikutega. (Katsaprakakis, 2012; Magoha, 2003)

Šotimaal tehtud uuringus selgus, et kuigi enne tuulepargi rajamist väitsid 27% küsitletud kohalikest, et tuulikud rikuvad maastikupildi ära, siis pärast tuulepargi rajamist olid sama meelt ainult 5% küsitletud kodanikest. Sama oli ka tuulepargis tekkivate probleemide puhul. Kui 40% küsitletutest arvas, et tuulikutega tekivad erinevad probleemid, siis tuulepargi valmides täheldasid probleeme ainult 9% küsitletutest. (Ek, 2005)

2012. aastal Euroopa Komisjoni läbiviidud Eurobaromeetri uuringu tulemustest selgub, et 70% Euroopa Liidu elanikest nimetab järgmise 30 aasta prioriteetseimateks energiaallikateks taastuvenergiaallikaid. Kõige rohkem pooldavad taastuvenergeetikat portugallased (82% vastanutest), järgnevad Taani, Saksamaa, Hispaania ja Austria elanikud 81-protsendilise toetusega. Kõige vähem toetavad taastuvenergeetikat bulgaarlased (45% vastanutest) ja rumeenlased (49% vastanutest). Eestis peavad taastuvenergeetikat prioriteetseks 58% elanikkonnast, olles sarnane teiste Ida-Euroopa riikidega. (Euroopa Komisjon, 2013)

Tuulepargi visuaalne aktsepteerimine sõltub väga palju selle normaalsest tööst. Kui tuulegeneraatorid töötavad normaalselt, siis tekib inimestel arvamus, et need täidavad oma otstarvet, on kasulikud. Kuid kui enamus tuulegeneraatoreid tuulepargis tuulise ilmaga paigal seisab, siis tekitab see inimestes negatiivseid tundeid tuulikute vastu ja kokkuvõttes hakkavad inimesed pidama tuulikuid maastikupilti rikkivateks elementideks. (Katsaprakakis, 2012)

Tuuleparkide asukoht mõjutab suurel määral visuaalse mõju suurust. Mida rohkem paistavad tuulikud silma, seda vähem need inimestele meeldivad. Avatud ja/või tasasel aladel on tuulikud palju vähem väljapaistvad, kui nad on mägede ja mäeahelike tippudel või kitsastes orgudes, kus nad tunduvad täitvat kogu orgu. Silmapaistvus sõltub ka vaataja asukohast. Kui vaataja asub tuulikute kõrremaal, siis need ei häiri teda, sest tuulikute siluetid ei eristu taustast (maastik, taimestik, asustus). Kui aga vaataja asub tuulikute madalamal, siis eristuvad tuulikute siluetid ühevärvilisest taevast või pilvedest väga hästi. (Katsaprakakis, 2012; Magoha, 2003)

Kui tuuleparkide rajamine looduskaunitesse (rahvuspargid, looduskaitsealad jms) või eripärastesse kohtadesse (vaatamisväärsuste, arheoloogiliste leidude lähedus jms) tekitab

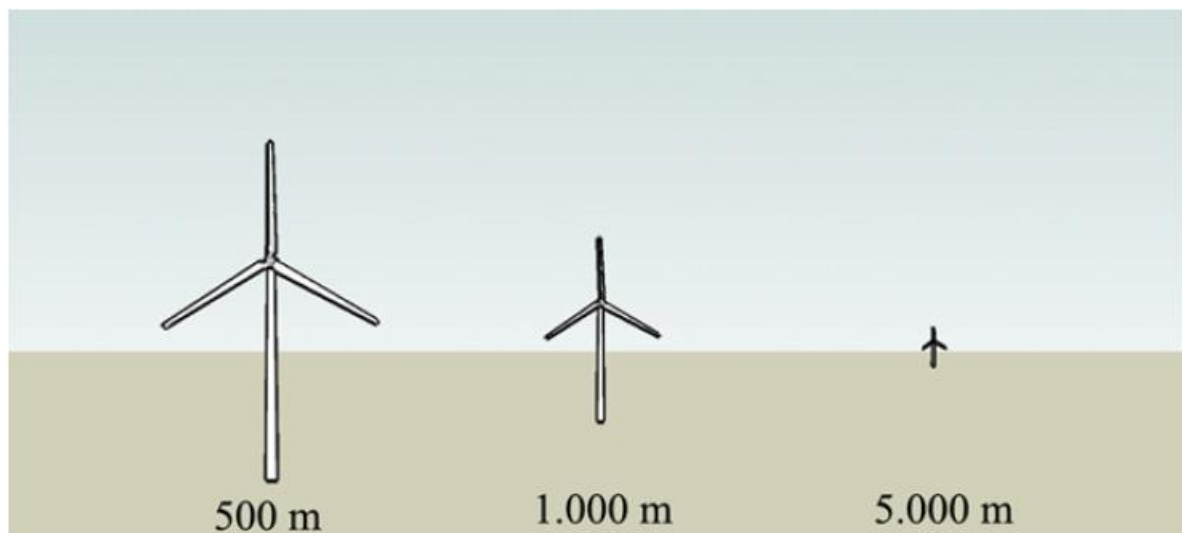
inimestes vastumeelt, siis kõrvalistesse kohtadesse, nagu suured põllumassiivid, kaljused mäed, vanad kaevandusalad jms, tuulikute püstitamine inimesi eriti ei häiri. (Katsaparakakis, 2012)

Ka tuulikute väljanägemine mõjutab inimeste suhtumist neisse. Üldiselt aktsepteeritakse pigem silindrilise torni, kui võrelise torniga (nagu kõrgepingeliinide mastid) tuulikuid. Inimeste hinnangus mängib suurt rolli ka tuulikute ühesugune väljanägemine. Nii tiivikud, gondel, kui ka torn peaksid ühe tuulepargi piires olema kõigil tuulikutel samasugused. Kolme labaga tuulikud jätavad esteetiliselt kõige parema mulje. (Katsaparakakis, 2012)

Ka tuuliku värvus on oluline visuaalne parameeter. Tuulikud tehakse enamasti valged või helehallid, torni alumine osa tehakse roheline, mis järkjärgult läheb heledamaks, kuni muutub lõpuks torniga sama värvi. Tuuliku hele värvus hajutab tuulikut keskkonnas, sest teised keskkonna värvused hakkavad tuuliku värvuse üle domineerima. Helehall värvus imiteerib ka taeva värvust kõige paremini ning sulandub taevasse kõige paremini. (Katsaparakakis, 2012, Saidur *et al.*, 2011)

On ka väidetud, et tuuliku sulandumine maastikusse võib põhjustada rohkemate lindude hukkumist. Kuigi lindude hukkumine tuulikute tõttu on tõsine probleem, soovitatakse tuulikud teha heledates toonides (valge kuni hall), sest tuulikute visuaalne probleem on silmanähtavam, kui lindude hukkumine. (Saidur *et al.*, 2011)

Tuuliku visuaalne mõju väheneb kaugusega ning mõju ulatub kuni kümnekordse tuuliku kõrguse kaugusele. Heade tingimuste juures (puhas õhk, füüsiliste barjääride puudumine) võib tuulikut näha ka 400-kordse tuuliku kõrguse kaugusele, kuid üldiselt sulandub tuulik maastikus (vaata Joonis 10) nii loodusobjektide (mets, üksikud puud, põõsastikud, erinevad positiivsed pinnavormid), kui ka ilmastikutingimuste (udu, vihm, pilved) tõttu. (Katsaparakakis, 2012; Saidur *et al.*, 2011)



Joonis 10. Visuaalne mõju tuuliku kauguse kasvades (Katsaparakakis, 2012)

Ladenburg ja Dahlgaard tõid välja, et mitmed demograafilised näitajad mõjutavad inimeste suhtumist tuulikutesse:

- Mida vanemad on inimesed, seda negatiivsem on üldine suhtumine tuulikutesse;
 - Jõukamad leibkonnad suhtuvad tuulikutesse negatiivsemalt;
 - Vähem kui seitsmeaastase kooliharidusega inimeste suhtumine on negatiivsem;
 - Kuid ka magistrikraadiga inimesed kipuvad olema negatiivsemalt meelestatud.
- (Ladenburg ja Dahlgaard, 2012)

Teised demograafilised muutujad ei mõjuta inimeste suhtumist tuulikutesse märkimisväärselt. (Ladenburg ja Dahlgaard, 2012)

Küll aga peab välja tooma, et Ladenburg'i ja Dahlgaard'i uuritud nelja mudeli tulemused viitavad sellele, et päevas rohkem kui viie tuuliku nägemisel on negatiivne mõju suhtumisele olemasolevatesse maismaatuulikutesse. Kuigi tuulikute paiknemine eramute või suvilate vaateväljas paistab suurendavat negatiivset suhtumist neisse, ei leitud, et sel oleks märkimisväärset mõju. (Ladenburg ja Dahlgaard, 2012)

4.1.3. Varjude mõju

Tuuleparkide lähedal olev asustus võib kannatada tuuliku labade pöörlemisel tekkivate värelevate varjude käes, kui ruumid on looduslikult valgustatud. Tuuliku labad tekitavad pidevalt värelevaid varjusid päikese eest läbi liikudes, see tekitab inimestes ebameeldivat või isegi häirivat tunnet. Ka võib valgus tuuliku tornilt või labadelt peegelduda. (Katsaparakakis, 2012; Saidur *et al.*, 2011)

Varjud on kõige pikemad vahetult pärast päikesetõusu ja vahetult enne päikeseloojangut, ulatudes kuni 4,8 km kaugusele. Enamasti ulatuvad tugevad varjud 1,4 km kaugusele. (Katsaparakakis, 2012)

Suurt mõju avaldab liikuvate labade tekitatud varju väreluse sagedus, mis on võrdne tuuliku laba kolmekordse kiirusega (kolmelabalise tuuliku korral). Väreluse sagedus on oluline tegur väga ohtlike haiguste, nagu epilepsia, väljakujunemisel. (Katsaparakakis, 2012; Saidur *et al.*, 2011)

4.1.4. Elektromagnetiline interferents

Tuulepargid võivad mõjutada raadio- ja televisioonisignaale (peamiselt FM edastuse sagedusel) ülekannet, kui nad asuvad saatja ja vastuvõtja vahel, sest nad on füüsilised takistused raadiolainetele. Kuid peamine probleem tuulikutega on labade pöörlemine, mis võib peegeldumise tõttu muuta raadiosignaale. See mõju oli suureks probleemiks vanade tuulikute puhul, kui labad olid valmistatud metallist. Tänapäeval valmistatakse tuulikute labad eranditult sünteetilisest materjalidest, millel on äärmiselt väike mõju elektromagnetilise kiirguse ülekandele. (Katsaparakakis, 2012)

Tuulikus võivad elektromagnetilist kiirgust emiteerida ainult elektrigeneraator ja keskpingetrafo. Tekitatud elektromagnetiline väli on äärmiselt nõrk ning levib väga piiratud ulatuses, olles vähemalt 40-50 meetri kõrgusel maapinnast. Järelikult puudub tuulikutel, eriti maapinnatasandil, elektromagnetilise kiirguse mõju elusloodusele. (Katsaparakakis, 2012)

4.2. Mõju keskkonnale

4.2.1. Maakasutus

Erinevate uuringute põhjal on arvatud, et tuuleenergeetikas vajab üks installitud MW umbes 200-5000 m² maad. Ühe turbiini maavajadus on $40 \times 40 \text{ m} = 1600 \text{ m}^2$, mis viiemegavattise tuulegeneraatori puhul teeb ühe megavatti kohta $1600 \text{ m}^2 \div 5 \text{ MW} = 320 \text{ m}^2/\text{MW}$. (Katsaparakakis, 2012)

4.2.2. Veekasutus

Malaisias tehtud uuringu kohaselt kulutavad tuulepargid keskmiselt neli kuupmeetrit vett ühe toodetud GWh elektrienergia kohta. (Saidur *et al.*, 2011)

4.2.3. Õhureostus

Üldiselt on tuuleenergeetika õhureostusest vaba. Mõningane kogus süsihappegaasi ja teisi heitgaase eraldub tuulepargi ehitamisel ja parandamisel, kuid töötamise faasis ei erita tuulepark fossiilkütustel töötavate soojuselektrijaamade eritatavaid saasteaineid, nagu süsihappegaas, vääveldioksiid, NO_x-gaasid, elavhõbe, mikroosakesed ja muud õhku saastavad ained. Fossiilkütuste asendamine tuuleenergiaga aitab vältida õhu reostamist. (Saidur *et al.*, 2011)

Tuulikute CO₂ emissioon oleneb tuuliku suurusest (3 MW puhul 4,6 g CO₂/kWh, 30 kW puhul 55,4 g CO₂/kWh), mida suurema võimsusega on tuulik, seda väiksem on kasvuhoonegaaside heide ühe toodetud energiaühiku (kWh) kohta (Raadal *et al.*, 2011), samas sarnastes oludes maismaatuuliku heitmed on väiksemad avameretuuliku kasvuhoonegaaside heitmetest. Tuuleenergeetikas tekivad 72-90% CO₂ emissioonidest tuulikute tootmisel ja töötlemisel ning montaažil ja installeerimisel. Enamus kasvuhoonegaaside heitmetest tuleb terasetootmisel, sellele järgneb betooni valmistamine. 10-28% CO₂ heitmetest tekib transpordil ja jäätmete kõrvaldamisel. Tuulikute CO₂ heitmete kogused on väga asukohaspetsiifilised ja sõltuvad tugevalt keskmisest tuulekiirusest, sest tuuliku väljundvõimsus on võrdeline tuulekiiruse kuubiga. (Weisser, 2007)

Tuulikute poolt kokku hoitavate kasvuhoonegaaside kogust saab leida nii, et kogu olelusringi jooksul tuulikute arvele minevate kasvuhoonegaaside heitmed lahutatakse kasvuhoonegaaside kogusest, mis oleks saadud tuuliku poolt toodetud elektrienergia koguse tootmisel fossiilkütustel töötavas soojuselektrijaamas (vaata

Tabel 3). Tuulikute toodetava energia hulk ületab 20-aastase olelusringi käigus (tuulikute planeeritud olelusiga) tuulikute tootmiseks, töötamiseks ja parandamiseks vajamineva energia hulka 21 kuni 23 korda, pikendades tuulikute olelusiga 30 aastani, ületaks toodetav energia vajaminevat energiat 32 kuni 35 korda. (Crawford, 2009)

Tabel 3. Välditud kasvuhoonegaaside heide (pärast tuuliku 20 aastat töötamist) (t CO₂) (Crawford, 2009)

	Tuulik 1 (850 kW)	Tuulik 2 (3,0 MW)
Kogu olelusringis sisalduvad kasvuhoonegaaside heitmed (a)	1763	5530
Välditud heitmed puhta energia tootmisega (b)	37 028	128 491
Välditud heitmed kokku (b-a)	35 265	122 961

Vastavalt tabelis 3 toodud andmetele, on ühe 850-kilovatise tuuliku välditud süsihappegaasi kogus võrdne 938 keskmise Eestis müüdud sõiduauto keskmise emiteeritud süsihappegaasi kogusega. Ühe kolmemegavatise tuuliku välditud süsihappegaasi kogus on aga võrdne 3270 keskmise Eestis müüdud sõiduauto keskmise emiteeritud süsihappegaasi kogusega (vaata arvutuskäiku Lisa 2).

4.2.4. Kohalikud kliimamuutused

Sise-Mongooliast saadud andmete põhjal võib arvata, et kuivades piirkondades võivad tuulepargid süvendada põuda. Ameerika Ühendriikides tehtud mõõtmiste põhjal aga mõjutavad suured tuulikud maapinna temperatuuri – öösel soojendavad seda ja päeval jahutavad. Osa keskkonnateadlasi spekulatsioonid, et tuuliku tekitatud turbulents võib segada õhku ka väga kaugel tuulikust allatuult ning muuta maapinna lähedase tuule suunda ja kiirust, mis omakorda mõjutab piirkonna loomulikku aurustumist. Kuigi neid ebaregulaarseid ilminguid ei saa otseselt ja kindlalt tuuleparkidega siduda, peaks tuulikute mõju kohalikule kliimale edasi uurima, et saada kinnitust tuulikute mõju kohta kohalikule kliimale. (Leung ja Yang, 2012)

Walsh-Thomas *et al.* tõid kuiva kliimaga piirkonnas tehtud uuringus välja, et tuulepargid mõjutavad ümbritseva maapinna temperatuuri. Tuulepargist allatuult asuva maapinna temperatuur oli olenemata aastaajast järjepidevalt neli kuni kaheksa kraadi Celsiuse järgi kõrgem tuulepargist vastutuult asuva maapinna temperatuurist. (Walsh-Thomas *et al.*, 2012)

4.3. Mõju lindudele

Uuringud näitavad, et linnud õpivad kiiresti takistusi vältima ning seetõttu ei ohusta ka tuulepargid eriti linde. Kuigi linnud hakkavad tuulikute mõõda lendama, hukkub neid seal siiski, kuid mitte nii palju kui muude inimtegevuste (nagu metsade hävitamine, linnastumine, põllumajandus, liiklus) tulemusel (vaata Tabel 4). (Leung ja Yang, 2012) Kõikidest antropogeensetest hukkumispõhjustest vaid 0,003% saab kanda tuuleenergeetika arvele. (Sovacool, 2009)

Tabel 4. Aastas inimtegevusega seoses hukkunud lindude kalkuleeritud arv Ameerika Ühendriikides. (Sovacool, 2009, 2012)

Hukkumise põhjus	Hukkunud lindude arv aastas
Aknaklaasid	97-976 miljonit
Elektriliinid	175 miljonit
Kodukassid	100-110 miljonit
Kütmine	Üle 100 miljoni
Liiklus	50-100 miljonit
Põllumajandus	67-72 miljonit
Sidemastid	4-50 miljonit
Tuulikutega põrkumine	20 000

Kuna linnud tajuvad tuulikuid kui takistusi, siis nad võtavad nende vältimiseks kasutusele meetmeid, nagu tuulikutest mööda lendamine ja turbiinidest alt- või ülaltpoolt lendamine, kuid alati ei õnnestu lindudel tuulikuid vältida, sest:

- nende silmanägemine on kohastunud saagi/toiduse märkamiseks;
- parves lendamine hajutab üksiku indiviidi tähelepanu ja nähtavust;
- halvad ilmaolud, nagu vihm, udu ja pimedus, vähendavad nähtavust;
- osa röövlindude liike kasutab lendamisviisina tõusvates õhuvooludes lauglemist ja sageli kasutatakse tõusvate õhuvooludega asukohti ka elektri tootmiseks;
- tuulevaestel päevadel on tuuliku labad ja gondel ligitõmbav paik istumiseks ning olles korra tuulikule istunud, kalduvad linnud sinna tagasi minema;
- linnud ei taju alati antropogeenseid ohte. (Kikuchi, 2008)

Tuuleparkide kõige sagedasemad mõjud lindudele on surm kokkupõrke läbi, otsene elupaikade häving (mistõttu populatsioonid muudavad oma pesitsus- ja toitumispaike), barjääri tekitamine eelistatud toidu- ja puhkekohtade vahele ning lindude eelistatud lennuteede nihkumine. Mõju erineb paiguti ja liigiti, mõju on suurim muutustele tundlike liikide pesitsuskolooniate läheduses, paljusid linnuliike tuulepargid ei häiri. Üksikud tuulikud on ohuks vaid vähestele liikidele. (Attrill, 2012; Bright *et al.*, 2008; Foote, 2010; Perrow *et al.*, 2011)

Tuuleparkide rajamine merre suurendab võimalikke elupaiku mereelustikule, mis on merelindudele oluliseks toiduseks. Samas vee ja setete liikumisrežiimi muutus tuulikute ümber võib olla nii positiivse kui ka negatiivse mõjuga. Tuulepargi ehitusprotsessi käigus võivad lõhkamis- ja rammimistöode tekitatud helid ulatuda kuni 261 dB-ni, mis mõjutab

kalade kuuldeelundeid kuni 80 km raadiuses. Müra tõttu haavatud või vigastustesse surnud kalad on lühiajaliselt kerge saak raipesööjatele, kuid pikaajaliselt ohustab see kalapopulatsioone, mis omakorda võib ohtu seada kalatoiduliste lindude eksistentsi. (Perrow *et al.*, 2011)

Tuulepargid kiirendavad märkimisväärselt suurte ja pikaealiste ohustatud lindude, nagu raipekotkas (*Neophron percnopterus*), kaljukotkas (*Aquila chrysaetos*), haugaskotkas (*Hieraaetus fasciatus*), must-toonekurg (*Ciconia nigra*), puna-harksaba (*Milvus milvus*), alampopulatsioonide arvukuse vähenemist, suurendades seeläbi ohustatud liikide väljasuremise tõenäosust. Raipekotkaste riskivöönd tuulikute suhtes on 15 km ning selles piirkonnas elutsedes suureneb nende suremuse tõenäosus tuulikutega kokkupõrgete tõttu minimaalselt $0,015 \pm 0,03$ võrra, lindudel, kes sellest piirkonnast pärit ei ole, kuid külastavad seda, suureneb suremuse tõenäosus minimaalselt $0,008 \pm 0,016$ võrra. (Carrete *et al.*, 2009)

Kaeluskotkas (*Gyps fulvus*) on kõige sagedamini tuulikute tõttu hukkunud linnuliik (Lõuna-Hispaania tuuleparkides rohkem kui 50% tuulikute tõttu surnud lindudest olid selle liigi esindajad), sest nende asustus on väga tihe ning nad mööduvad lennates tuulikutest väga lähedalt – tihti vähem kui viie meetri kauguselt. Kaeluskotkad põrkavad tuulikutega kokku just oma suuruse (ca 10,5 kg), mis vähendab nende manööverdamisvõimet, lennu tüübi (lauglemine) ja toitumiskäitumise (otsivad korjuseid suurelt maa-alalt) tõttu. (Carrete *et al.*, 2012)

Rändlinnud peavad tuulikute tõttu tegema oma tavalisse lennuteesse kaare ümber tuulepargi, mis suurendab lindude energiakulu ja vähendab ellujäämisvõimalust. (Foote, 2010)

4.4 Mõju maismaaimetajatele

Kuigi paljude tänapäevaste tuulegeneraatorite tekitatavat müra varjavad erinevad loodusest ja keskkonnast tingitud helid, võib seda pidada mõjukuks elusloodusele. (Kikuchi, 2008)

Kikuchi (2008) tõi oma töös välja, et kaljususlikud (*Otospermophilus beecheyi*), kes elavad tuulikute läheduses, on palju valvsamad, kui need, kes tuulikutega kokku ei puutu (kontrollrühm). Tuulikute läheduses elavad kaljususlikud naasevad tihemini tagasi oma urgudesse, kui kuulevad häirehüüdu. Üldine valvsuse kõrge tase tuulikute lähedal viitab sellele, et tuulikute lähedal elavad suslikud tunnevad end rohkem ohustatuna, kui kontrollrühma suslikud. Arvestades, et muud tingimused olid samad, järeldati, et tuulegeneraatorite tekitatud müra mõjutab kaljususlikute käitumist. (Kikuchi, 2008)

4.4.1. Mõju nahkhiirtele

Kui linnud hukuvad tuuleparkides tuulikulabade tiirlemise tõttu, siis nahkhiired, kellel on välja arenenud kajalokatsioon, tänu millele nad märkavad liikuvaid esemeid paremini kui statsionaarseid esemeid, näevad tiirlevaid tuulikulabaid ning suudavad nendega põrkumist vältida. Sellegi poolest leitakse üsna tihti tuuleparkidest surnud nahkhiiri. Rõhu langemise hüpotees pakub välja, et nahkhiirte suure suremuse põhjuseks on liikuva laba juures tekkiv kiire õhurõhu langus. Sellest tekib barotrauma, mis kujutab endast õhku sisaldavate struktuuride koekahjustust, mille tekitab kiire või ülemäärane rõhu muutus. Bronhiaalne barotrauma on kopsukahjustus, mille tekitab kiire õhu paisumine kopsudes. Õhk paisub aga nii kiiresti, et nahkhiir ei suuda seda hetkega välja hingata ning tekib surmav kahjustus. Baerwald *et al.* leidsid, et tuuleparkides 90% nahkhiirte surmadest oli seotud barotraumast tingitud sisemise verejooksuga ning ainult pooled surmad olid seotud otsese kontaktiga tuulikulabaga. Labade liikumisest tekitatud õhurõhu muutus on märkamatu oht, mis aitab selgitada nahkhiirte suurt suremust tuuleparkide piirkondades. Lindude väiksemat suremust saab seletada nende unikaalse hingamisanatoomiaga, mis on barotraumale palju vastupidavam, kui imetajatel. (Baerwald *et al.*, 2008)

Rõhu langemise hüpoteesi kontrollimiseks uurisid Baerwald *et al.* karvik-sileninade (*Lasiurus cinereus*) ja sileninade (*Lasionycteris noctivagans*) surnukehi ja neil esinevaid sisemisi ja väliseid vigastusi. Loomad olid tuulegeneraatorite tõttu hukkunud Edela-Albertas, Kanadas, (Baerwald *et al.*, 2008)

Uuringu tulemused (vaata Tabel 5) näitasid, et ligikaudu pooltel hukkunud nahkhiirtel olid ainult sisemised vigastused, mis ei viita tuulegeneraatoriga kokkupõrkele, vaid õhurõhu languse tekitatud barotraumale. Nii sisemiste kui ka välimiste vigastuste olemasolul (1/3 hukkunud isenditest) võib arvata, et nahkhiir sai enne barotrauma ning selle tõttu vigastas end ka väliselt (maha kukkudes, tuulikuga (selle osadega) põrkudes vm põhjusel). Ehk siis kokkuvõttes oli 90% surmajuhtudest tingitud õhurõhu kiirest alanemisest. Ainult väliste vigastustega surnukehade väike osakaal tõestab jällegi nahkhiirte kajalokatsiooni tõhusust liikuvate objektide märkamisel. (Baerwald *et al.*, 2008)

Tabel 5. Kanadas, Edela-Albertas uuritud tuugenite tõttu hukkunud nahkhiirte vigastused (Baerwald *et al.*, 2008)

Uurimisviis	Uuritud nahkhiirte arv	Ainult sisemised vigastused	Ainult välised vigastused	Sisemised ja välised vigastused
Surnud nahkhiirte väline vaatlus	188	87 (46%)	-	-
Nahkhiirte lahkamine sündmuspaigas	75	43 (53%)	6 (8%)	26 (34%)
Kudede uurimine	17	17 (100%)	-	-

Ehkki õhurõhu muutuse mõju nahkhiirtele on vähe uuritud, siis on teada, et rändrottidele (*Rattus norvegicus*) mõjub 4,4 kPa suurune rõhumuutus surmavalt. Kõige suurem rõhu erinevus ilmneb tuulikutel labade tippudes, kus nende liikumise tippkiirus on vahemikus 55-80 m/s. Selline kiirus põhjustab rõhu langust vahemikus 5-10 kPa, mis on piisav tekitamiseks tõsiseid vigastusi paljudele imetajatele. (Baerwald *et al.*, 2008)

Cryan ja Brown (2007) tõid oma töös välja, et kõige enam hukkub tuulegeneraatorite turbiinides nahkhiiri augustikuus, sest siis on neil paaritumishooaeg, mil isased nahkhiired võitlevad emaste pärast ning lendavad tähelepanematult ringi, mistõttu ei märka nad tuulikute labasid õigeaegselt. Nahkhiirte surmasid kõrgete antropogeensete ehitiste juures võib seletada ka sellega, et nahkhiirte paaritumine toimub lennufaasis, mil nad keskenduvad rohkem paaritumisele, kui ümbruse jälgimisele. (Cryan ja Brown, 2007)

Euroopas tehtud uuringus leiti, et Saksamaa tuuleparkides hukkunud nahkhiired ei ole ainult kohalikku päritolu, vaid on sinna lennanud ka Skandinaaviast, Balti riikidest, Poolast, Venemaalt ja Valgevenest. See tähendab, et nahkhiirte populatsioone võivad ohustada ka populatsiooni asukohariigi naabermaades asuvad tuulepargid. (Voigt *et al.*, 2012)

4.5. Mõju mereelustikule

Suured meretuulepargid võivad oma õhumasside liikumist takistava mõjuga muuta kohalike hoovuste suunda ja tugevust ning võivad esile kutsuda tõusuhoovuseid, mis on toitainerikkad, kuid planktonivaesed. Tõusuhoovused toovad merepõhja ladestunud toitained pinnale ning sealtkaudu lähevad need toitained toiduahelasse, olles rikkalikuks

toiduallikaks planktonile, mis omakorda on põhitoiduseks paljudele kaladele. Kirjeldatud tõusuhoovuse kiirus võib olla vaikse tuule korral üks meeter päevas, tugeva tuule korral (kaheksa meetrit sekundis) isegi viis meetrit päevas. (Broström, 2008)

Meretuuleparkide tegevus võib mereloomastiku toitumisele mõjuda nii negatiivselt kui ka positiivselt. Tuulikute tekitatud heli ja vibratsioon võib saakloomi eemale peletada, liigne müra võib mereloomade kuuldeelundeid kahjustada. Tuuleparkide ehituse käigus võib helitugevus meres olla kuni 261 dB, mis võib kurdistada (nii ajutiselt kui ka püsivalt) tundliku kuulmisega kalu ja loivalisi. Kuulmise kahjustumine või kadumine muudab nende liikide populatsioonide toidu hankimise väga raskeks, mistõttu nad hukkuvad. Surnud kalad ja loivalised on lühiajaliselt külluslik toidulaud raipesööjatele, kuid surnukehade kadumisel kahanevad ka raipesööjate populatsioonid ning mereloomastiku arvukus stabiliseerub ehituseelsest tasemest madalamal tasemel. (Perrow *et al.*, 2011; Skeate *et al.*, 2012)

Skeate *et al.* on välja toonud, et hülged, kes tuulepargi ehitamise ajal on 90-130 dB tsoonis, lahkuvad sellest tsoonist. Hüljestel, kelle kõrvu ulatub 130 detsibellist kõrgem heli, on risk saada püsivaid või ajutisi kuulmiskahjustusi. (Skeate *et al.*, 2012)

On täheldatud, et tuulepargi ehitamise ajal väheneb tuulepargist kümne kilomeetri raadiuses asuvates lesilates hüljeste arv 31-60%. Paari aasta möödudes hüljeste populatsioonid taastuvad, kuid pole teada, kas see toimub tänu endiste isendite naasmisele või uute isendite ümberasumisele. Ehitustandrilähedaste populatsioonide arvukus väheneb enamikel mereimetajate liikidel. (Attrill, 2012; Skeate *et al.*, 2012)

Randalite (*Phoca vitulina*) puhul on märgatud, et tuulepargi ehitamisega seotud intensiivistuv laevaliiklus häirib neid, erinevalt hallhüljestest (*Halichoerus grypus*). See võib olla üks põhjuseid, miks randalite populatsioonid tuulikute ehitamise ajal nii tugevasti vähenevad. (Skeate *et al.*, 2012)

Tuuleparkide positiivne mõju mereelustikule väljendub elupaikade tekitamises. Tuulikute vundamendid moodustavad tehislikke karisid, mis on arvestatavad elupaigad erinevatele vetikaliikidele ja kividele kinnituvatele loomadele. Uute elupaikade teke suurendab mereelustiku mitmekesisust. Tuulikute vundamendid muudavad kindlasti mere põhjasetete liikumisrežiimi, kuid selle mõju võib olla nii negatiivne kui ka positiivne. Selle kohta on veel vähe andmeid. (Attrill, 2012; Perrow *et al.*, 2011; Skeate *et al.*, 2012)

Tuulikute vundamendid on sobivaks elupaigaks kõvadele objektidele kinnituvale söödavale

rannakarbile (*Mytilus edulis*), kes muidu massiliselt sügavas vees toidupuuduse tõttu ei elutse, kuid tuulikute olemasolul saab ka sügavama mereala pinnakihtides elada. Kiire kasvuga rannakarbi kolooniad tekitavad tuulikute ümber mereelustiku bioloogilise aktiivsuse kuumad punktid, tarbides ise planktonit, rikastades oma väljaheidetega põhjaseteid ja olles toiduks meritähtedele, rannakrabidele ja lindudele. Läbi viidud uuringu põhjal ammendus fütoplankton vundamentidel elavate rannakarpide toitumise tõttu aastas keskmiselt 78% ulatuses ümber vundamendi. See viis merepõhjas elavate rannakarpide populatsioonide vähenemiseni 20 meetri raadiuses tuuliku ümber. (Maar *et al.*, 2009)

Söödavate rannakarpide populatsioonid algavad umbes ühe meetri sügavuselt, sest nad on tundlikud pinnalekerkimise, lainete, äärmuslike temperatuuride ja röövlindude rünnete suhtes. Rannakarpidest pinnapoolse osa vundamendist hõivavad nuivähid, kes on söödavatest rannakarpidest vastupidavamad äärmuslikele tingimustele. (Maar *et al.*, 2009)

Vundamendid pakuvad rannakarpidele suuremat planktonikontsentratsiooni pindmistes veekihtides ja kaitset röövloomade eest, võrreldes rannakarpide populatsioonidega mere põhjas. Võrreldes sildade sammastega, on tuulikute vundamentide alusmaterjal söödavatele rannakarpidele meelepärasem, kuna tuulikute vundamentidel on rannakarpide biomass 10 korda suurem, kui sildade sammastel. Samas nuivähkide biomass on sildade ja tuulikute puhul samas suurusjärgus. (Maar *et al.*, 2009)

Söödavate rannakarpide kehaeritiste tõttu suureneb merevee ammooniumisisaldus, mis kasvatab fütoplanktoni kontsentratsiooni vees ja mis on toiduks vetikatele. Väljaheidete tõttu on settimise kiirus suurenenud 40 meetri raadiuses tuulikust. (Maar *et al.*, 2009)

Suurenenud bioloogilise aktiivsuse tõttu kasvab meretuuleparkide ümber ka kalade arvukus, mis omakorda kasvatab mereimetajate toidulauda. Horns Revi meretuulepargis, Taanis on mereelustiku jälgimise käigus välja arvatud, et kalade toiduse biomass kasvas pärast tuulepargi valmimist 60 korda. (Attrill, 2012)

Meretuulikuid maismaal asuva alajaamaga ühendavad kaablid tekitavad elektromagnetilise välja. Välja tugevus sõltub kaabli konstruktsioonist, hoovuse tugevusest ja kaabli sügavusest põhjasetetes. Elektromagnetilisele väljale tundlikel liikidel (mereimetajad, kõhrkalad ja osad luukalad) võib see häirida toiduotsinguid või navigeerimist. Kuna merepõhjas on olnud juba väga pikka aega erinevaid elektrikaableid, siis arvatakse, et elektromagnetiline väli mereelustikule märkimisväärset ohtu ei kujuta. (Attrill, 2012)

Meretuulepargid funktsioneerivad *de facto* kui mereelustiku kaitsealad, kus säilib merealade mitmekesisus juhul, kui seal ei toimu kalade ülepüüki. Ujuvad meretuulikud toimivad kui kalakogumisvahendid. Taolisi vahendeid on kasutatud sajandeid, et kontsentreerida avamere kalad kokku kiiremaks ja lihtsamaks püügiks. Kalakogumisvahendite kasutamisel suureneb erinevate avamere kalaliikide väljapüük (nt osade tuunikala liikide puhul 10-100 korda). Osade liikide puhul on märgatud, et tuuleparkide (jm kalakogumisvahendite) juures eelistavad elada noored kalad – püüdes neid, suureneb ülepüügi risk märkimisväärselt. (Fayram ja de Risi, 2007; Attrill, 2012)

5. Tuuleenergeetika keskkonnamõju võrdlemine teiste elektritootmisviisidega

Tuuleenergia on üks puhtamaid energiaallikaid juhul, kui elektri tootmiseks kasutatakse tänapäevaseid tuulikuid. Sel on väiksemad mõjud inimesele, keskkonnale ja elusloodusele kui teistel taastuvenergia elektrijaamadel ning traditsioonilistel elektrijaamadel (soojus- või tuumaelektrijaamad) (vaata Tabel 6). (Katsaparakakis, 2012)

Tabel 6. Enimlevinud elektri tootmise tehnoloogiate keskkonnamõjude võrdlus (Katsaparakakis, 2012; Saidur et al., 2011)

Energia- allikas	Kivisüsi	Maa- gaas	Kütte- õli	Tuum- kütus	Hüdro- energia	Tuule- energia	Päikese- kiirgus	Bio- mass
Elektri tootmise tehnoloogia	Soojus- elektri- jaam	Soojus- elektri- jaam	Soojus- elektri- jaam	Tuum- reaktor	Hüdro- elektri- jaam	Tuule- elektri- jaam	Foto- galvaa- nilised päikese- paneelid	Soojus- elektri- jaam
Õhu- ja vee- reostus	x	x	x					x
Globaalne soojenemine	x	x	x					
Vee soojus- reostus				x				
Maa üle- ujutamine					x			
Jäätmete teke	x			x				x
Kaevan- damine või puurimine	x	x	x	x				
Ehitus- tegevus ja maakasutus	x	x	x	x	x	x	x	x

Erinevate energiatootmisviiside maakasutust saab võrrelda selle alusel, kui kiiresti muudetud keskkond saavutab oma esialgse kuju (taastumisperiood), mida mõõdetakse maa pindala (m^2) ja aja (aasta) korrutisega ($m^2 \times$ aastad). Võrdluseks vaadatakse erinevate energiatootmisviiside maakasutust toodetud GWh kohta ($m^2/GWh \times$ taastumisaastad) (vaata Tabel 7). (Katsaparakakis, 2012)

Nagu tabelis 7 välja toodud, kasutab kõige rohkem maad biomassist elektri tootmine, mille

puhul enamasti maast kulub biomassi (enamasti paju) kasvatamiseks. Sellele järgneb tuumkütuse kasutamine elektri tootmiseks, millel tuleb suur maakasutus sellest, et tuumajäätmed kahjutustuvad 10 000 aastaga, kuid võtavad vaid 30 m² ühe GWh kohta. Järgnevad hüdroenergia, kus võetakse maad veehoidla paisutamiseks, ja söe kasutamine elektri tootmiseks, kus on suured kaevandused ja tuha ladustamine. Mõlemal on maavajadus kuni ~25 000 m²/GWh×aasta. Neile järgnevad väikese maavajadusega ressursid, nagu päikesenergia, kus maad kulub ainult päikesepaneelide all, väikeste keskkonnamõjudega maagaas ning tuuleenergia, mille puhul vajatakse samuti maad ainult tuulikute ümber. (Katsaparakakis, 2012)

Võrreldes teiste elektritootmistehnoloogiatega, kulutavad tuulikud ühe toodetud energiaühiku kohta ka väga vähe vett (4 m³/GWh) (vaata Tabel 7). Veekasutus on suur fossiilsete kütuste ja tuumkütuse kasutamisel (950-2300 m³/GWh), sest nende kasutamise tehnoloogiad nõuavad erinevates etappides jahutamist, milleks kasutatakse vett, sest seda on lihtne saada ja loodusesse tagasi suunata. (Saidur *et al.*, 2011)

Tabel 7. Erinevate elektritootmistehnoloogiate maa- ja veekasutus (Katsaparakakis, 2012; Saidur *et al.*, 2011)

Energaallikas	Maakasutus (m ² /GWh × taastumisaastad)	Veekasutus (m ³ /GWh)
Kivisüsi	1290-25 500	1900
Maagaas	4200	950
Tuumkütus	300 000	2300
Hüdroenergia	2350-25 000	-
Tuuleenergia	2040	4
Päikeseenergia	9900	110
Biomass	380 000	-

Kui üldiselt arvatakse, et tuulikud on kõige suuremad „linnutapjad“, siis läbi viidud uuringute põhjal saab väita vastupidist. Ühe toodetud gigavatt-tunni elektrienergia kohta hukub tuuleenergeetika tõttu 0,269 lindu, tuumaenergeetika tõttu 0,416 lindu ning fossiilkütustel põhineva soojusenergeetika tõttu 5,18 lindu. Absoluutarvudes võis 2009. aastal hukkuda tuulikute tõttu 20 000, tuumajaamade tõttu 330 000 ja fossiilkütustel põhinevate soojuselektrijaamade tõttu 14 miljonit lindu. (Sovacool, 2009, 2012)

5.1. Erinevate elektritootmisviiside kasvuhoonegaaside heitmete võrdlus

Võrreldes teiste elektritootmisviisidega on tuulikute kasutamine suhteliselt keskkonnasõbralik elektritootmisviis, konkureerides tuuma- ja hüdroelektrijaamadega (vaata Tabel 8). Tuulikute olelusringi hindamisel põhinevate uuringute tulemusi on kirjeldatud käesoleva töö peatüki „Tuulegeneraatorite keskkonnamõju“ alamjaotuses „Mõju keskkonnale“. (Raadal *et al.*, 2011)

Tabel 8. Erinevate elektritootmistehnoloogiate kogu olelusringi CO₂ emissioonide võrdlus. SEJ – lühend, soojuselektrijaam. (Raadal *et al.*, 2011; Varun *et al.*, 2012; Weisser, 2007)

Energiaallikas	Kogu olelusringi CO ₂ emissioon
Kivisüsi (SEJ)	800-1250 g/kWh
Kütteõli (SEJ)	700-800 g/kWh
Maagaas (SEJ)	440-780 g/kWh
Biomass (SEJ)	35-178 g/kWh
Fotogalvaanilised päikesepaneelid	9,4-300 g/kWh
Tuuleenergia	5,6-55,4 g/kWh
Tuumkütus	2,8-24,2 g/kWh
Hüdroenergia	0,2-152 g/kWh

Hüdroenergia puhul tekib CO₂ ja CH₄ emissioon tammide, paisude ja elektrijaamade ehitamise ning üleujutatud alade biomassi lagunemise tagajärjel. Kui üleujutatud alade biomassi lagunemise mõjud välja jätta, siis langeb veereservuaaridega hüdroelektrijaamade CO₂ emissioon 0,2-11,2 grammini kWh kohta, millest 55,0-99,6% moodustavad infrastruktuuri ja ehitusega seotud emissioonid. (Raadal *et al.*, 2011)

50-80% päikeseenergeetika kasvuhoonegaaside heitmetest tekib päikesepaneelide tootmisel. Ülejäänud CO₂ tekib elektrijaama ehitusel ja inverterite valmistamisel. Jaama käitamine, utiliseerimine ja elektrijaamaga seotud transport ei oma märkimisväärset mõju. (Weisser, 2007)

Valdav enamus biomassist elektri tootmise CO₂ heitmetest tuleb biomassi põletamisest, muudel antud tehnoloogia protsessi osadel märkimisväärset süsihappegaasi heidet pole. Küll aga eritub väetatud pinnasest N₂O, mis on süsihappegaasist ohtlikum kasvuhoonegaas, mistõttu ei pruugi biomassi kasutamine alati olla keskkonnasõbralikum kui fossiilkütuste kasutamine. (de Mira ja Kroeze, 2006)

Kui erinevatel fossiilsetel kütustel põhinevate soojuselektrijaamade puhul on elektrijaama

ehitamisele, lammutamisele ja elektriijaama jäätmete utiliseerimisele kuluv CO₂ hulk kaduvväike, siis söe puhul moodustavad kaevandamine ja söe transport kuni 20% kogu olelusringi kasvuhoonegaaside heitmetest. Enamus ülejäänud heitmetest tulevad söe põletamisest. Kütteõli puhul moodustavad 12% kogu olelusringi heitmetest nafta transport, töötlemine, uuringud ja ekstraheerimine. Enamus ülejäänud heitmetest tulevad kütteõli põletamisest. Maagaasil põhinevate soojuselektriijaamade CO₂ heitmest enamuse tekib maagaasi põletamisel. Vähemal määral tekib heitmeid ka gaasi töötlemisel, šahtide ventileerimisel, torustranspordil (põhiliselt kompressorite töötamisel) ja süsteemi lekkimisel. (Weisser, 2007)

Tuumakütuse suhteliselt väiksest CO₂ emissioonist enamuse tekitavad uraanimaagi rikastamine, tuumaelektriijaama ehitamine ja lammutamine ning jäätmekäitlus. Vähemal määral tekib õhuheiteid ka kaevandamisel ja maagi ning töödeldud uraani transpordil. (Beerten *et al.*, 2009; Weisser, 2007)

6. Tuuleparkide keskkonnamõju vähendamine

6.1. Visuaalse mõju vähendamine

Tuulikute visuaalset mõju saab vähendada tuulegeneraatoritele õige võimsuse valimisega. Valides võimsamad tuulikud, mis on tihti ka kõrgemad, peab neid sama summaarse võimsuse saamiseks vähem installeerima, kui valides väiksema võimsusega tuulikud. Vähem tuulikuid tähendab paremat maakasutust ning väheneb ka visuaalne mõju, sest inimesed näevad vähemat arvu tuulikuid. (Magoha, 2003)

Tuulikute tekitatud negatiivset suhtumist saab vähendada ka õige planeerimistegevusega. On välja toodud, et kuue või enama tuuliku nägemine päeva jooksul mõjutab inimeste suhtumist neisse negatiivselt. Niisiis on väidetud, et vähendada vastuseisu tuulikute suhtes, peab paigutama tuulikud suhteliselt hõredalt, et need hajuks maastikus ning inimesed ei näeks päevas rohkem kui viite tuulikut. (Ladenburg ja Dahlgaard, 2012)

6.2. Müra mõju vähendamine

Tuuliku tekitatud mehaanilist müra saab vähendada tuuliku projekteerimise ja disainimise faasis või kasutades müraisolatsioonimaterjale tuuliku sees. Aerodünaamilist müra saab vähendada tuuliku labade täpse disainimise või labade otste kiiruse vähendamisega. (Saidur *et al.*, 2011)

Tuulikute tekitatav müra peab jääma sotsiaalministri määruses „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“ toodud piirmäärade sisse. Nii ei häiri see ka inimeste elutegevust. (Sotsiaalministri määrus, 2002)

Aerodünaamilist müra aitab vähendada piisav vahemaa (vähemalt kaks kilomeetrit) tuulikute ja inimasustuse vahel. Müra saab märkimisväärselt vähendada igasuguste takistuste seadmisega heli teele, kus müra saab sumbuda. Sama efekti annab ka müraisolatsioon hoones. (Leung ja Yang, 2012)

Peale müra enda saab takistustega vähendada ka mürast tekitatud häiritust, sest need ei lase kuuljal müratekitajat näha. Sel juhul on häiritus märkimisväärselt madalam, kui juhul, mil kuulja ka müratekitajat näeb. (Pedersen ja Larsman, 2008)

6.3. Varju väreluse mõju leevendamine

Kuna päikese liikumine taevasfääril on iga ajamomendi kohta kas teada või väga kergesti arvutatav, siis varjude väreluse mõju inimesele saab vähendada õige planeerimistegevusega. Tuulikud peavad asetsema eluhoonetest nii kaugel, et need ei tekitaks varjude värelust eluhoonete ümbruses. Kui seda pole võimalik vältida, siis peab kindlasti jälgima, et ühes asukohapunktis võib tuuliku laba päikese eest läbi käia kuni kolm korda sekundis ehk kolmelabaline generaator võib teha 60 pööret minutis. Sellest suurem sagedus muutub inimese tervisele ohtlikuks. Ka ei tohi tuuliku labad valgust peegeldada. (Katsaprakakis, 2012)

Tuulikutele võib paigaldada ka seadeldise, millesse on programmeeritud nn varjukalender. See annab tuulikule töötamise ajal teate, kui labade tekitatavad varjud jõuavad inimasustuse piiresse, ning peatab tuuliku töö. Kirjeldatud seadeldisel peavad olema ka valgussensid, mis pilvise ilma korral tuuliku tööd ei seiskaks, sest säärase ilma korral varjusid ei teki. Tuuliku töö võib olla seisatud ainult lühikesel ajaperioodil, mil see on tingimata vajalik. (Saidur *et al.*, 2011)

6.4. Õhureostuse vähendamine

Tuulikute olulusea pikendamine võib märgatavalt vähendada tuulikute olulusea jooksul toodetud CO₂ heitmete hulka ühe toodetud kilovatt-tunni elektrienergia kohta. (Weisser, 2007)

6.5. Lindude kaitse

Tuuleparkide asukoha valik on üks olulisemaid mõju vähendamise tegureid lindudele, eriti kaitsealustele liikidele. Tuulikuid on soovitatav rajada piirkondadesse, kus lindude aktiivsus on väike. Tuuleparkide rajamisel aitab asukoha probleemi lahendada lindude tundlikkuse kaart, mille koostamisel on analüüsitud lindude arvukust, pesitsuspaiku, toitumisala, ohustatud liikide olemasolu ja erinevate liikide eripärasid (Bright *et al.*, 2008). Hispaanias, Andalusias läbi viidud uuring näitas, et uuringuala 799 tuulikust 214 (~27%) tõttu hukkus vähemalt üks lind. Rohkem kui 50% surmajuhtumitest leidis aset kahes tuulepargis, mis näitab, et asukoha valik määrab suuresti selle, kui suur on tuulepargi mõju lindudele. (Carrete *et al.*, 2009; Carrete *et al.*, 2012)

Üks võimalus tuulikutele õige asukoha leidmiseks ja seeläbi nende keskkonnamõju vähendamiseks on lindude seire, kus kogutakse andmeid lennukõrguse, -suuna ja -käitumise

kohta. Nende andmete põhjal tehakse mudel, mille järgi saab tuulikud paigutada kohtadesse, mida linnud harilikult ei kasuta. On ka võimalik kasutada süsteemi, mis suure linnuparve lähenedes hindab selle lennukoridori ja seiskab asjaomased turbiinid. (Foote, 2010; Leung ja Yang, 2012; Saidur *et al.*, 2011)

Tuuleparkide mõju lindudele saab lihtsalt vähendada, kui seisata ohtlikud turbiinid kindlatel perioodidel aastas, mil töötavatel tuuleparkidel on täheldatud kõrget kokkupõrgete määra. (Carrete *et al.*, 2009)

Rajama peab tänapäevaseid tuuleparke, kus pole sõrestiktornidega tuulikuid ning peab jälgima, et tuulikud ei paikneks tihedalt üksteise kõrval reas (see tekitab tuuleseinu). Tuulikute vahel peab olema suurtel ja kohmakatel lindudel ruumi lennata ja ka õhus pöördeid sooritada ilma, et tekiks oht tuulikuga kokkupõrkeks. Tuulikutega seotud infrastruktuuri peab planeerima nii, et lindudel oleks seadmete peal võimalikult vähe pesitsus- ja puhkepaiku (nt ehitada silinderja torniga tuulikuid ja kasutada maa-aluseid kaableid õhuliinide asemel), et linnud ei hakkaks neid kasutama osana oma elupaigast. (Bright *et al.*, 2008; Magoha, 2003)

Nullilabaline tuulegeneraator, mis on inspireeritud purjest ja meenutab pigem satelliiti, kui tuulikut, on lindudele kaugelt nähtav ning linnud suudavad oma lennutrajektoori varakult muuta. Praegusel ajal on nullilabaline tuulik veel arendusjärgus, kuid sellel on suur potentsiaal turul läbi lüüa, sest selle tuulest energia kättesaamise kasutegur ületab Betzi koefitsenti (59,3%). (Saphon Energy, 2012)

Kuna ettevaatusprintsii on laialdaselt ja aina enam tunnustatud keskkonnapoliitika, -õiguse ja -juhtimise üldpõhimõtte, siis soovitatakse seda kasutada tuuleparkide planeerimisel minimeerimaks tuuleparkide mõju pikaajaliste linnuliikide populatsioonidele. (Carrete *et al.*, 2012)

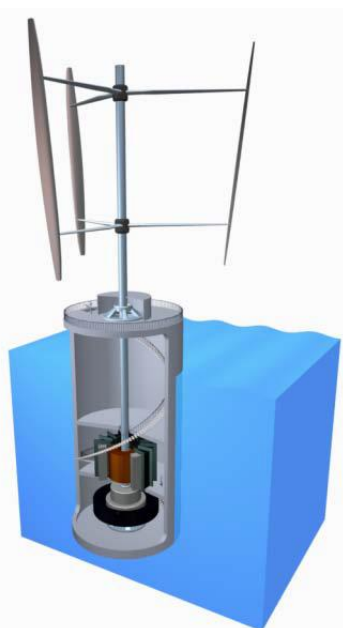
Kuid tuulepargi planeerimisel ei saa jälgida mõju ainult lindudele, vaid peab läbi viima kompleksed uuringud (nagu on keskkonnamõju hindamine), kus tuuakse välja tuulikute mõju kõigile eluslooduse osapooltele (sh inimesele). Selliste uuringute eesmärgiks on leida parim viis maksimeerimaks tuuleparkidest saadavat tulu. (Punt *et al.*, 2009)

6.6. Nahkhiirte kaitse

Nahkhiirte uuringute tulemused toovad välja pakilise vajaduse riikidel ühineda Euroopa nahkhiirte asurkondade kaitse kokkuleppega (EUROBATS), mille eesmärk on kaitsta nahkhiiri kogu nende rändepiirkonnas, ning välja arendada Euroopa Liidu sisese nahkhiirte kaitse- ja seiresüsteemi, mis arvestab ka loomade riigipiiriülest rännet. Tuugenitega opereerivatel ettevõtetele võiks soovitada erinevaid võtteid nahkhiirte suremuse vähendamiseks tuuleparkides. Näiteks tõstes veidi tuulikute käivitumiseks vajalikku tuulekiirust, väheneb nahkhiirte hukkumise tõenäosus väga palju ja ettevõtjate tulu väheneb samas minimaalselt. (Voigt *et al.*, 2012)

6.7. Mereelustiku kaitse

Meretuuleparkide rajamisel saab mereloomastiku kuulmiselundite kahjustumise ennetamiseks peletada tundliku kuulmisega kalad ja loivalised turvalisse kaugusesse pehmete löökidega vastu merepõhja. Need löögid häirivad tundlikke liike, kuid ei kahjusta nende kuulmiselundeid. On uuritud ka spetsiaalsete akustikaseadmete kasutamise võimalust. Võib kasutada ka alternatiivseid vundamendi ehitamise võtteid (nt gravitatsioonipõhised vundamendid, vees ujuvad tuulikud), mis nii tugevat müra ei tekita, või arendada efektiivsemaid viise müra nõrgendamiseks (nt mulli-kardinad). On olemas ka vertikaalteljelisi avameretuuliku (vaata Joonis 11), mis sobivad horisontaalteljelistest paremini mereolustikku ja vees ujuvatele platvormidele. (Atrill, 2012; Skeate *et al.*, 2012)



Joonis 11. Merevees ujuv vertikaalteljeline tuulik. (Prekubator, 2012)

Vältimaks meretuuleparkide ümbrusesse tekkivate külluslike kalapopulatsioonide üleüüki harrastus- ja elukutseliste kalurite poolt, on soovitatav riigil/kogukonnal moodustada tuuleparkide alale mereelustiku kaitsealad või tuuleparkide omanikel kehtestada laevaliiklusele keelutsoonid, mis kaitsevad kalalaevadega kaasnevate ohtude eest tuulikuid ja kaableid ning kaitsevad samas ka kalapopulatsioone üleüügi eest. (Fayram ja de Risi, 2007)

6.8. Tuulikute keskkonnasõbralik utiliseerimine

Tuulikute oluluse lõppedes tehakse neile kas kapitaalremont või demonteeritakse ning seejärel utiliseeritakse. Utiliseerimiseks on mitu võimalust. Keskkonnakahjulik valik oleks kõik tuuliku osad ladestada prügilasse, kuid praeguses üha enam jätkusuutlikus maailmas suunatakse kõik tuuliku osad ümbertöötlemisse (vaata Tabel 9). Betoonest vundamendist saab toota killustikku, terasdetailid saab üles sulatada ja sulamist uut terast toota, klaaskiust labadest saab pürolüüsi käigus toota sünteetilist gaasi ja klaasistunud räbu (ehitusmaterjalina kasutatav), vask- ning alumiiniumosad saab ümber töötleda ja kasutada uutes toodetes ning määrdeõldest saab rafineerimise käigus toota määrdeainete algõlisid. (Magoha, 2003)

Tabel 9. Keskkonnasõbralikud tuuliku materjalide utiliseerimise meetodid (Magoha, 2003)

Materjal	Käitlusmeetod	Toode, uus otstarve
Betoon	Töötlemine ehitusmaterjaliks (killustikuks)	Müratõke, pinnase täitematerjal
Teras	Terase ümbertöötlemine	Mitmesugused terastooted
Klaaskiud	Pürolüüs pöördahjus täiendava gaasistamisega	Sünteetiline gaas, klaasistunud räbu (ehitusmaterjalide aseaine)
Vask	Vase ümbertöötlemine redutseerimise ja puhastamise teel	Mitmesugused vasktooted
Alumiinium	Alumiiniumi ümbertöötlemine trummelpõletusahjus	Mitmesugused alumiiniumtooted vastavalt ümbertööteldud alumiiniumi puhtuse astmest
Määrdeõlid	Ümbertöötlemine nafta rafineerimistehases	Määrdeainete algõlid

7. Arutelu

Eesti saaks katta oma elektrienergia tootmisvõimsuse vajaduse tuuleenergiaga ning võimsust jääks ekspordiks. Kuna tuuleenergia keskkonnamõjud on võrreldavad päikese-, hüdro-, biomassi- ja tuumaenergia keskkonnamõjudega (viimased kaks jäävad keskkonnamõju poolest õige pisut tuule-, hüdro- ja päikeseenergeetikast tahapoole) ning fossiilsetest energiaallikatest elektri tootmise keskkonnamõjud on neist märgatavalt suuremad, siis uute võimsuste lisamisel elektrivõrku peaks Eestis eelistama mitmekesise energiaportfelli saavutamiseks tuule-, päikese-, hüdro- (sh hüdroakumulatsioonijaam), biomassi ja tuumaenergeetikat vastavalt eelmainitud järjekorrale. Mitmekesine energiaportfell oleks abiks tuuleenergia ebahühtlase toodangu vastu ning hajutatud tootmine tagaks Eestile energiajulgeoleku. Eksportimiseks peaks rajama uusi elektriühendusi Soome, Rootsi, Läti ja Venemaaga.

Tuuleenergia maksimaalseks kasutamiseks peab rajama tuuleparke aladele, kus aastane keskmine tuulekiirus kümne meetri kõrgusel ületab nelja meetrit sekundis, kui seda ei välista allpool kirjeldatud asjaolud/piirangud. Nendes piirkondades tuulikud ka enamasti töötavad, mistõttu tekitavad nad inimestes arvamuse, et tuulikud on kasulikud. See teadmine ei tekita inimestes tuulikuid nähes ärritust. Sellegipoolest võiks tuulikuid ja tuuleparke planeerida nii, et keskmine inimene näeb päevas vähem kui kuute tuulikut, sest kuue või enama tuuliku nägemine suurendab häirituse riski.

Kuna suurema võimsusega tuulikute keskkonnamõju ühe toodetud energiaühiku kohta on väiksemad kui väiksema võimsusega tuulikutel, siis on keskkonnamõju vähendamise aspektist võimsamate tuulikute püstitamine mõttekam kui väiksema võimsusega tuulikute püstitamine.

Tööstuslike tuulikute ning kasutatavate elamute, avalike hoonete ja tööruumide/-kohtade vaheliseks kauguseks võiks olla kaks kilomeetrit. See vahemaa väldib müra ja varjude jõudmist inimeste igapäevategevustega seotud kohtadesse ning ennetab müra (nii kuuldavast, kui ka madalsageduslikust müra) ja varjudest tingitud vaevusi. Et seda vahekaugust uute tuuleparkide jaoks kohustuslikuks muuta, peaks Vabariigi Valitsus või keskkonnaminister välja andma asjakohase määruse.

Kohalike kogukondade meelehärmi vähendamiseks peaks sisse viima kohustusliku tuuleparkide taluvuse kompensatsioonisüsteemi tuuleparke haldavatele ettevõtetele. Praegu on see vabatahtlik (Karjus, 2011). Süsteemi peaks rakendama rajatavatele tuuleparkidele, sest olemasolevate tuuleparkide omanikud ei ole sellist kulu enda äriplaanis ette näinud, kui

kohalik omavalitsus seda enne tuulepargi rajamist just nõudnud ei ole.

Kuna sellised alad, kus on kõrge keskmine tuulekiirus ja kus inimesed ei näe tuulikuid tihti, ei asu enamasti maismaal (va endised kaevandusalad), siis on soovitatav rajada uued tuulepargid pigem merre, vältides müra- ja visuaalse probleemi kerkimist kohalikus kogukonnas. Kuna neil aladel on keskmisest suurem keskmine tuulekiirus, siis nende tuuleparkide keskkonnamõju ühe toodetud kilovatt-tunni kohta tuleb minimaalne.

Tuuleparke ei tohiks rajada olulistele linnu- ja nahkhiirealadele lähemale kui viis kilomeetrit. Samuti peaks välja selgitama kõigi ohustatud territoriaalse linnu- ja nahkhiireliigi populatsioonide toitumis- ja pesitsusalad ja rändlindude kasutatavamad rändeteed ning ka nendes kohtades keelama tuulikuid püstitada. Tuuleparkide rajamisel paremini lindudega arvestamiseks peavad energeetikud koos ornitoloogidega koostama Eesti lindude tundlikkuse kaardi.

Imetajate juures on täheldatud valvsuse tõusu tuulikute lähedal. Kuna inimene on ka imetaja ja inimese unehäired (seotud valvsustundega) on tingitud madalsageduslikust müra, mida inimene ei kuule, siis teiste imetajate kõrgendatud valvsus võib samuti olla tingitud tuulikute tekitatavast madalsageduslikust müra. Ka lindudele võib see mõjuda sarnaselt, sundides neid elukohta vahetama (madalsageduslikku müra vältima) häiritusest ja vaevustest lahtisaamiseks. Selle kindlamaks tõestamiseks peab tegema edaspidi teaduslikke uurimusi. Samuti peab uurima tuulikute, eriti madalsagedusliku müra ja vibratsiooni, mõju mullaelustikule, mida senimaani pole tehtud.

Kuna tuuleenergeetika keskkonnamõju mereelustikule on pigem positiivne, siis võiks enamus uutest tuuleparkidest rajada merre. Et mereimetajate ja kalade populatsioonide arvukus tuuleparkide ehitustegevuse käigus nii palju ei väheneks, on uute meretuuleparkide rajamisel soovitatav kasutada ujuvaid tuulikuid.

Keelates kalapüügi meretuuleparkide alal moodustavad meretuulepargid kalade paljunemiseks soodsaid alasid. See aitab kalade ülepüügi mõjusid leevendada ning suurendab kalurite saaki tuulepargi alalt väljarännanud kalade tõttu.

Aegamööda põhjasetetesse mattuvad ülekandekaablid võivad mõjutada vaid põhjasetetes elutsevaid elektromagnetilisele väljale tundlikke liike.

Kokkuvõte

Läänemeremaadest on edukamad tuuleenergeetika kasutuselevõtjad Saksamaa, Taani, Rootsi ja Poola, kuid tuuleparke on kavandatud ka Eestisse väga palju, mistõttu võib ka Eesti lähitulevikus suurte tuuleenergiariikide sekka tõusta. Praegu asuvad tuulepargid enamasti Eesti lääne- ja põhjarannikul ning suurematel saartel. Tulevikus võib neid kerkida lisaks rannikualadele ka Eesti rannikumerre ja endistele kaevandusaladele.

Suuremates tuuleenergiariikides on palju uuritud tuulikute keskkonnamõju, millest kõige tähtsamad on nii kuuldava, kui ka madalsagedusliku müra teke, visuaalne reostus, lindude kokkupõrked tuulikutega, nahkhiirte hingamiselundite kahjustused ning soodsa elukeskkonna teke mereelustikule.

Võrreldes teiste elektritootmisviisidega (kivisöe, maagaasi ja kütteõli soojuselektrijaamad, tuumaelektrijaamad, hüdroelektrijaamad, fotogalvaanilised päikesepaneelid ja biomassi soojuselektrijaamad) on tuulikute keskkonnamõju ühe toodetud kilovatt-tunni kohta võrreldav teiste taastuvenergialiikide ja tuumaenergeetikaga, seega peaks Eesti jätkusuutliku ja mitmekesise energiaportfelli loomiseks eelistama uute elektrijaamade planeerimisel tuule- ja hüdroelektrijaamu, fotogalvaanilisi päikesepaneele, biomassi soojuselektrijaamu ning tuumaelektrijaamu fossiilkütuseid tarbivatele soojuselektrijaamadele.

Mürareostust, visuaalset reostust ning mõju lindudele ja nahkhiirtele saab vähendada planeerides tuulepargid inimasustusest vähemalt kahe kilomeetri ning olulistest nahkhiire- ja linnualadest ning nende rändeteedest vähemalt viie kilomeetri kaugusele. Maismaal on sellistele kriteeriumitele vastavaid kohti küllaltki vähe, mistõttu jäävad potentsiaalsete arendusalade hulka rannikumeri ning endised kaevandusalad, kus on ka tasase avatud keskkonna tõttu keskmine tuulekiirus piisavalt suur, et tuuleparkide keskkonnamõju ühe toodetud kilovatt-tunni kohta tuleb minimaalne. Ka on meretuuleparkide mõju mereelustikule pigem positiivne, kui negatiivne.

Püstitatud hüpotees ei osutunud täielikult tõseks. Fossiilkütustel põhinevatest elektritootmistehnoloogiatest on tuuleenergeetika kindlalt väiksema keskkonnamõjuga. Osade näitajate kohaselt (vee- ja maakasutus, hukkunud lindude arv ühe kilovatt-tunni kohta) on tuuleenergeetika parem ka tuuma- ja muust taastuvenergeetikast, kuid töö järeldustes on välja toodud, et tuuleenergeetika keskkonnamõju on hüdro- ja päikeseenergeetika keskkonnamõjudega samas suurusjärgus ning biomassi soojusenergeetika ja tuumaenergeetika jäävad ainult pisut tuuleenergeetikast tahapoole.

Summary

In the Bachelor thesis „Environmental impacts of wind energy“, there is pointed out that the most resulting countries adapting wind energy near the Baltic Sea are Germany, Denmark, Sweden and Poland. However there are a lot of wind farms planned in Estonia, thanks to this Estonia might be one of the successful wind energy states. At the moment, most of Estonian wind farms are located on the coastline and isles. In the future the wind farms might be built parallel to the coastline, also into the coastal sea and onto the former mining areas.

In the important wind power states, there has been made a great number of studies about the environmental impacts of wind energy. The most important impacts are both audible and low frequency noise, visual pollution, bird collisions, respiratory injuries of bats and formation of a benign environment for marine biota.

In comparison with other power generation technologies, such as thermal power stations of fossil fuels, nuclear power stations, hydroelectric power stations, photovoltaic solar panels and thermal power stations of biomass, wind farms have comparable environmental impacts per generated kilowatt-hour of electricity with other renewable energy types and nuclear energy, which is why Estonia should prefer wind farms, hydroelectric power stations, photovoltaic solar panels, thermal power stations of biomass and nuclear power stations instead of fossil-fuelled thermal power stations.

Noise pollution, visual impact and impacts on bird and bat species can be reduced by planning wind farms at least two kilometres from settlements and five kilometres from important bird and bat habitats and migration routes. Although the density of population in Estonia is considerably low, the population is quite scattered, that is why there are very few places on the mainland which meet the above-mentioned criteria. Still these criteria are met on the coastal sea and in former mining areas, where average wind speed is sufficient to minimize wind farms' environmental impacts per kilowatt-hour of generated electricity. Offshore wind farms have more positive than negative effects on marine biota as well.

The working hypothesis for the study was formulated as follows: “Wind generators are more environmentally friendly than other power generators”. The study did not confirm the hypothesis completely. Although fossil-fuelled power generation technologies have definitely larger environmental impacts than wind energy, environmental impacts of wind energy are comparable with the impacts of hydro and solar energy and the scale of the impacts of nuclear and biomass energy are not far behind impacts of wind energy.

Tänuõnad

Autor tänab juhendajat Tiit Lepasaart, kes andis lõputöö tegemise käigus head nõu ning Priit Karu ja Maria Uuetoad keeleliste nõuannete ja inglise keele tõlke kontrollimise eest.

Kirjanduse nimestik

- **Attrill, M.** 2012. Marine Renewable Energy: necessary for safeguarding the marine environment.
http://www.foe.co.uk/resource/briefing_notes/marine_renewable_energy.pdf (05.05.2013)
- **Baerwald, E.F., D'Amours, G.H., Klug, B.J., Barclay, R.M.R.** 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology*. Vol 18 No 16. p. 695-696.
- **Beerten, J., Laes, E., Meskens, G., D'haeseleer, W.** 2009. Greenhouse gas emissions in the nuclear life cycle: A balanced appraisal. *Energy Policy*. Elsevier. 37. p. 5056-5068.
- **van den Berg, G.P.** 2004. Effects of the wind profile at night on wind turbine sound. *Journal of Sound and Vibration*. Elsevier. 277. p. 955-970.
- **Bright, J., Langston, R., Bullman, R., Evans, R., Gardner, S., Pearce-Higgins, J.** 2008. Map of bird sensitivities to wind farms in Scotland: A tool to aid planning and conservation. *Biological Conservation*. Elsevier. 141. p. 2342-2356.
- **Broström, G.** 2008. On the influence of large wind farms on the upper ocean circulation. *Journal of Marine Systems*. Elsevier. 74. p. 585-591.
- **Bundesverband WindEnergie.** 2013. Statistiken. <http://www.wind-energie.de/infocenter/statistiken> (14.03.2013)
- **Carrete, M., Sánchez-Zapata, J.A., Benítez, J.R., Lobón, M., Donázar J.A.** 2009. Large scale risk-assessment of wind-farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. *Biological Conservation*. Elsevier. 142. p. 2954-2961.
- **Carrete, M., Sánchez-Zapata, J.A., Benítez, J.R., Lobón, M., Montoya, F., Donázar J.A.** 2012. Mortality at wind-farms is positively related to large-scale distribution and aggregation in griffon vultures. *Biological Conservation*. Elsevier. 145. p. 102-108.
- **Chourpouliadis, C., Ioannou, E., Koras, A., Kalfas, A.I.** 2012. Comparative study of the power production and noise emissions impact from two wind farms. *Energy Conservation and Management*. Elsevier. 60. p 233-242.
- **Crawford, R.H.** 2009. Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. 13. p. 2653-2660.
- **Cryan, P.M., Brown, A.C.** 2007. Migration of bats past a remote island offers clues toward the problem of bat fatalities at wind turbines. *Biological Conservation*. Elsevier. I-39, I-II.
- **Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon.** 2013a. Kuidas elekrituulik töötab.

<http://www.tuuleenergia.ee/wp-content/uploads/elektrituulik21.pdf> (03.02.2013)

- **Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon.** 2013b. Tuuleenergiast. <http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/> (03.02.2013)
- **Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon.** 2013c. Tuuleatlas. <http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/tuuleatlas/> (14.05.2013)
- **Ek, K.** 2012. Public and private attitudes towards „green“ electricity: the case of Swedish wind power. Energy Policy. Elsevier. 33. p. 1677-1689.
- **Elering.** 2012. Eesti elektrisüsteemi tarbimishõudluse rahuldamiseks vajaliku tootmisvaru hinnang. http://elering.ee/public/Infokeskus/Aruanded/Elering_tootmispisavuse_aruanne_2012.pdf (13.02.2013)
- **Euroopa Komisjon.** 2013. Flash Eurobarometer 360: Attitudes of Europeans towards air quality. Lk 102. http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_360_en.pdf (06.05.2013)
- **European Environment Agency.** 2013. Consumers buying more efficient cars in Europe. <http://www.eea.europa.eu/highlights/consumers-buying-more-efficient-cars> (02.05.2013)
- **Fayram, A.H., de Risi, A.** 2007. The potential compatibility of offshore wind power and fisheries: An example using bluefin tuna in the Adriatic Sea. Ocean & Coastal Management. Elsevier. 50. p. 597-605.
- **Foote, R.** 2010. The wind is blowing the right way for birds. Renewable Energy Focus. Elsevier. Vol 11 Iss 2. p. 40-42.
- **Ilves, L.** 2009. Tuulepark häirib elanikke. Lääne elu. <http://www.le.ee/vana/?a=uudised&b=6888> (13.05.2013)
- **Karjus, M.** 2011. Tuuleparkide taluvuse kompensatsioon kohalikele kogukondadele. <http://www.riigikogu.ee/50448> (25.05.2013)
- **Katsaprakakis, D.A.** 2012. A review of the environmental and human impacts from wind parks. A case study for the Prefecture of Lasithi, Crete. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. 16. p. 2850-2863.
- **Kikuchi, R.** 2008. Adverse impacts of wind power generation on collision behaviour of birds and anti-predator behaviour of squirrels. Journal for Nature Conservation. Elsevier. 16. p. 44-55.
- **Ladenburg, J., Dahlgaard, J-O.** 2012. Attitude, threshold levels and cumulative effects of the daily wind-turbine encounters. Applied Energy. Elsevier. 98. p. 40-46.
- **Leung, D.Y.C., Yang, Y.** 2012. Wind energy development and its environmental impact:

A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. 16. p. 1031-1039.

- **Maar, M., Bolding, K., Petersen, J.K., Hansen, J.L.S., Timmermann, K.** 2009. Local effects of blue mussels around turbine foundations in an ecosystem model of Nysted off-shore wind farm, Denmark. *Journal of Sea Research*. Elsevier. 62. p. 159-174.
- **Magoha, P.** 2003. Footprints in the wind? Environmental impact of wind power development. *Fuel and Energy Abstract*. Elsevier. Vol. 44, Iss. 3, p. 161.
- **Mell, J. Rušai, S.** 2009. Müra mõõtmise protokoll nr 6/4-6-1/091 http://4maakonnatuuleenergia.hendrikson.ee/upload/public/4_protseess/4/3_lisad/Lisa_5_Aulepa_tuulepargi_myra_mõõtmise_protokoll_18.11.09.pdf (13.05.2013)
- **Metsvahi, T.** 2012. Autopargi läbisõit Eestis 2011. aastal. lk 76 http://www.mnt.ee/public/lo_uuringud/Leping_2011Labisoit_VAHE_1...3_ptk.pdf (02.05.2013)
- **de Mira, R.R., Kroeze, C.** 2006, greenhouse gas emissions from willow-based electricity: a scenario analysis for Portugal and The Netherlands. *Energy Policy*. Elsevier. 34. p. 1367-1377.
- **Pedersen, E., Larsman, P.** 2008. The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines. *Journal of Environmental Psychology*. Elsevier. 28. p. 379-389.
- **Perrow, M.R., Gilroy, J.J., Skeate, E.R., Tomlinson, M.L.** 2011. Effects of the construction of Scroby Sands offshore wind farm on the prey base of Little tern *Sternula albifrons* at its most important UK colony. *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier. 62. p. 1661-1670.
- **Pierpont, N.** 2009. Tuulegeneraatori sündroom: Vaatluse aruanne. <http://www.windturbinesyndrome.com/img/WTS-estonian.pdf> (13.05.2013)
- **Prekubator.** 2012. Floating VAWT With Gyro Stabilization. <http://prekubator.no/prosjekt/237/> (05.05.2013)
- **Polish Wind Energy Association.** 2012. Wind energy in Poland. <http://www.psew.pl/en/wind-energy/wind-energy-in-poland> (17.03.2013)
- **Punt, M.J., Groeneveld, R.A., van Ierland, E.C., Stel, J.H.** 2009. Spatial planning of offshore wind farms: A windfall to marine environmental protection? *Ecological Economics*. Elsevier. 69. p. 93-103.
- **Raadal, H.L., Gagnon, L., Modahl, I.S., Hanssen, O.J.** 2011. Life cycle greenhouse gas (GHG) emissions from the generation of wind and hydro power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. 15. p. 3417-3422.

- **Rathmann, O.** 2003. The UNDP/GEF Baltic Wind Atlas. <http://www.risoe.dk/rispubl/VEA/veapdf/ris-r-1402.pdf> (14.04.2013)
- **Saidur, R., Rahim, N.A., Islam, M.R., Solangi, K.H.** 2011. Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. 15. p. 2423-2430.
- **Sammler, L.** 2009. Roheline energia ajab külarahva kõrvad vett jooksma. *Maaleht*. <http://www.maaleht.ee/news/uudised/eestiudised/roheline-energia-ajab-kularahva-korvad-vett-jooksma.d?id=24108705> (13.05.2013)
- **Saphon Energy.** 2012. Eco-Friendly Solution. <http://www.saphonenergy.com/site/en/eco-friendly-solution.58.html> (14.05.2013)
- **Skeate, E.R., Perrow, M.R., Gilroy, J.J.** 2012. Likely effects of construction of Scorby Sands offshore wind farm on a mixed population of harbour *Phoca vitula* and grey *Halichoerus grypus* seals. *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier. 64. p. 872-881.
- **Sovacool, B.K.** 2009. Contextualizing avian mortality: A preliminary appraisal of bird and bat fatalities from wind, fossil-fuel, and nuclear electricity. *Energy Policy*. Elsevier. 37. p. 2241-2248.
- **Sovacool, B.K.** 2012. The avian benefits of wind energy: A 2009 update. *Renewable Energy*. Elsevier. xxx p. 1-6.
- **Suomen Tuulivoimayhtistys ry.** 2013. Teollinen tuulivoima. <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/teollinen> (13.03.2013)
- **Svensk Vindenergi.** 2012. Vindkraftstatistik 2012 och prognos. <http://www.vindkraftsbranschen.se/wp-content/uploads/2013/02/Statistik-vindkraft-20130214.pdf> (17.03.2013)
- **Svensk Vindkraftförening.** 2012. Mål & vision. http://www.svensk-vindkraft.org/index.php?option=com_content&task=view&id=67&Itemid=65 (17.03.2013)
- **The Wind Power.** 2013. Wind energy database. <http://www.thewindpower.net/> (13.03.2013)
- **Varun, Prakash, R., Bhat, I.K.** 2012. Life cycle greenhouse gas emissions estimation for small hydropower schemes in India. *Energy*. Elsevier. 44. p. 498-508.
- **Vindmølleindustrien.** 2012. Planlægning. <http://www.windpower.org/da/planlaegning.html> (14.03.2013)
- **Vindportalen.** 2013. Norges største infoside om vindkraft. <http://www.vindportalen.no/> (13.03.2013)
- **Voigt, C.C., Popa-Lisseanu, A.G., Niermann, I., Kramer-Schadt, S.** 2012. The

catchment area of wind farms for European bats: a plea for international regulations. *Biological Conservation*. Elsevier. 153. p. 80-86.

- **Walsh-Thomas, J.M., Cervone, G., Agouris, P., Manca, G.** 2012. Further evidence of impacts of large-scale wind farms on land surface temperature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. 16. p. 6432-6437
- **Weisser, D.** 2007. A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy*. Elsevier. 32. p. 1543-1559.

Õigusaktid

- **Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid.** Sotsiaalministri määrus, 01.07.2002. RTL, 2002, 38, 511

Eesti võimaliku tootmisvõimsuse kujunemise ja tootmis- ning tarbimisvõimsuse suhte arvutuskäik

- Eesti elektrijaamade summaarne installeeritud netootmisvõimsus 2012. aasta septembris: 2652 MW
- Ehituses olevate tuuleparkide summaarne võimsus: 24,9 MW
- Planeeritavate maismaatuuleparkide summaarne võimsus: 1465,5 MW
- Planeeritavate meretuuleparkide summaarne võimsus: 3489 MW

Kõigi planeeritavate tuuleparkide realiseerumisel Eesti summaarne installeeritud netootmisvõimsus juhul, kui arendatakse ainult tuuleenergeetikat:

$$2652 + 24,9 + 1465,5 + 3489 = \mathbf{7631,4 \text{ (MW)}}$$

- Tuuleparkide summaarne installeeritud võimsus 2012. aasta lõpu seisuga: 269,4 MW

Tuuleparkide summaarne installeeritud netootmisvõimsus kõigi planeeritavate tuuleparkide realiseerumisel:

$$269,4 + 24,9 + 1465,5 + 3489 = \mathbf{5248,8 \text{ (MW)}}$$

Tuuleparkide osakaal (%) kõigi planeeritavate tuuleparkide realiseerumisel Eesti summaarsest installeeritud netootmisvõimsusest juhul, kui arendatakse ainult tuuleenergeetikat:

$$\frac{5248,8}{7631,4} \cdot 100\% \approx \mathbf{68,8\%}$$

- Eesti elektrisüsteemi tarbimise maksimaalne tipukoormus (2012. aastal): 1572 MW

Kõigi planeeritavate tuuleparkide realiseerumisel Eesti tootmis- ja tarbimisvõimsuste suhe juhul, kui arendatakse ainult tuuleenergeetikat:

$$\frac{7631,4 \text{ MW}}{1572 \text{ MW}} \approx \mathbf{4,9}$$

(Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, 2013b; Elering, 2012)

Välditud keskmine CO₂ heitmete kogus aastas võrrelduna ühe keskmise Eestis müüdü auto CO₂ emissiooniga aastas

850 kW tuuliku puhul

- Välditud CO₂ heitmed 20 aasta jooksul: 35 265 t

Tuuliku tõttu välditud keskmine CO₂ heitmete kogus aastas:

$$\frac{35\,265}{20} = 1763,25 \text{ (t/a)}$$

- Sõiduauto keskmine läbisõit aastas: 12 534 km/a
- Keskmise 2012. aastal Eestis müüdü auto CO₂ heitmed: 150 g/km

Keskmise Eestis müüdü auto CO₂ emissioon aastas:

$$\frac{150 * 12\,534}{1\,000\,000} \approx 1,88 \text{ (t/a)}$$

Välditud keskmine CO₂ heitmete kogus aastas võrrelduna ühe keskmise Eestis müüdü auto CO₂ emissiooniga aastas:

$$\frac{1763,25}{1,88} \approx 938$$

3,0 MW tuuliku puhul

- Välditud CO₂ heitmed: 122 961 t

Tuuliku tõttu välditud keskmine CO₂ heitmete kogus aastas:

$$\frac{122\,961}{20} = 6148,05 \text{ (t/a)}$$

Välditud keskmine CO₂ heitmete kogus aastas võrrelduna ühe keskmise Eestis müüdü auto CO₂ emissiooniga aastas:

$$\frac{6148,05}{1,88} \approx 3270$$

(Crawford, 2009; European Environment Agency, 2013; Metsvahi, 2012)