

Muuttolintujen törmäysmallinnus, Tetomin tuulivoimaosayleiskaava

Ramboll Finland

Jussi Mäkinen

16.10.2019

Aineisto ja menetelmät

Tetomin tuulivoimaosayleiskaavan mahdollistamien voimaloiden muuttolinnuille aiheuttamaa törmäyskuolleisuutta arvioitiin alueen kautta muuttavien keskeisimpien lajien osalta. Keskeisinä lajeina pidettiin suurikokoisia lajeja, joiden maakunnallisesti tai valtakunnallisesti tärkeät muuttoreitit sijoittuvat suunnittelualueelle tai sen läheisyyteen lähtötietojen perusteella tai lajeja, joita on havaittu runsaasti Loviisan seuduilla tehdyissä lintujen muutonseurannoissa.

Läpimuuttavan lintumäärän törmäysriskiä arvioitiin ns. Bandin tasomallilla (Band ym. 2007, Scottish Natural Heritage 2010) ja arviota korjattiin lajikohtaisilla väistökertoimilla. Arviointimenetelmä on kolmivaiheinen: Ensimmäisessä vaiheessa arvioidaan maastohavaintoihin perustuvan muuttovuon avulla todennäköisyys, jolla suunnittelualueen kautta lentävä lintulaji kohtaisi tuulivoimalan roottorin. Laskelma ottaa huomioon riskikorkeudella lentävien lintujen lukumäärän ja tuulivoimaloiden roottorien muodostaman yhteispinta-alan. Toisessa vaiheessa arvioidaan todennäköisyys, jolla roottorin läpi lentävä lintu osuu lapaan. Osumistodennäköisyyteen vaikuttaa linnun lentonopeus ja lentotapa, linnun koko ja tuulivoimaloiden tekniset ominaisuudet (roottorin pyörimisnopeus, lavan mitat, lapakulma). Törmäämistodennäköisyys laskettiin verkosta ladattavissa olevalla Excel-työkalulla (Scottish Natural Heritage 2014).

Koska lintujen on havaittu herkästi kiertävän tuulivoimapuistoja ja niiden läpi lentäessäänkin väistävän yksittäisiä tuulivoimaloita, mallin antamaa tulosta korjattiin lajikohtaisilla väistökertoimilla. Väistökertoimina käytettiin uusimpiin tutkimuksiin perustuvia tietoja lintujen todellisista väistöistä, joita on saatu mm. vertaamalla voimaloihin törmääviä lintumääriä Bandin mallin mukaisiin ennusteisiin ja tutkimalla lintujen käyttäytymistä ennen ja jälkeen tuulivoimapuiston rakentamisen.

Mallinnus tehtiin kahdella eri roottorityypillä. Ensimmäisessä skenaariossa roottorityyppinä on yksi tämän hetken kookkaimmista maatuulipuistoihin saatavilla olevista malleista, Vestaksen valmistama v162 ja mallinnuksessa on käytetty valmistajan ilmoittamia teknisiä ominaisuuksia. Toisessa skenaariossa roottorina on kaavan mahdollistama, halkaisijaltaan 200 metrin roottori. Tällaista roottoria ei ole vielä tuotannossa, joten sen osalta tekniset arvot ovat osin spekulatiivisia.

Molempien skenaarioiden osalta roottorin pyörimisnopeutena mallinnuksessa on käytetty maksiminopeutta alennettuna 10 prosentilla. Tämä on hyvin lähellä huippunopeutta oleva nopeus, ja suurempi kuin valittujen roottorimallien toteutuva keskimääräinen pyörimisnopeus. Esimerkiksi mallin v162 roottorin nopeus vaihtelee välillä 4,3 – 12,1 kierrosta minuutissa. Törmäysmallinnus tehtiin siis huippunopeudesta 10 % alemmalla nopeudella, 10,9 kierrosta minuutissa, eli yhteen kierrokseen kuluu aikaa 5,5 sekuntia. Käytetty arvo tuottaa huomattavasti pyörimisnopeuden keskiarvoa suuremman laskennallisen lintujen kuolleisuuden, sillä voimaloiden roottorit pyörivät huippunopeudella arviolta vain 40 % ajasta. Molemmissa skenaarioissa voimaloiden keskimääräiseksi toiminta-asteeksi oletettiin 98 % ajasta (eli 2 % ajasta voimaloiden oletetaan olevan pysähdyksissä) (Taulukko 1).

Taulukko 1. Törmäysmallinnuksessa käytetyt voimaloiden tekniset arvot. Erot skenaarioiden välillä on korostettu harmaalla pohjavärillä

	Skenaario 1	Skenaario 2
Roottorin halkaisija (m)	162	200
Napakorkeus (m)	180	180
Riskikorkeuden yläraja (metriä maanpinnasta)	261	280
Riskikorkeuden alaraja (metriä maanpinnasta)	99	80
Voimaloiden lukumäärä	8	8
Voimalan käyttöaste	0,98	0,98
Lapojen lukumäärä	3	3
Lavan maksimileveys (m)	4,2	4,2
Lapakulma (astetta)	0	0
Roottorin pyörimisnopeus (sekuntia/kierros)	5,5	6

Suunnittelualue sijaitsee lähellä Suomenlahden rannikkoa, joka ohjaa monen lintulajin kevät- ja syysmuuttoa. Suunnittelualueen lähiympäristön kautta muuttavien lintujen määrät ovat hyvin tiedossa, sillä etelärannikon lintumuuttoa on seurattu useissa havaintopisteissä vuosikymmenten ajan ja läpimuuttavien lintujen määriä on arvioitu mm. Uudenmaan 4. vaihemaakuntakaavan yhteydessä. Rambollin v. 2016 laatimassa Uudenmaan 4. vaihemaakuntakaavan taustaselvityksessä arvioitiin Röjsjön selvitysalueen kautta muuttavien tuulivoimalle herkkien lintulajien yksilömäärät. Läpimuuttomäärät on esitetty alla olevassa taulukossa, samoin Tetomin suunniteltujen tuulivoimaloiden muodostaman vyöhykkeen kautta muuttavaksi arvioitu osuus (noin neljäsosa Röjsjön selvitysalueen kautta muuttavasta määrästä).

Taulukko 2. Uudenmaan liiton 4. vaihemaakuntakaavan mukaiset muuttolintujen läpimuuttomäärät Röjsjön selvitysalueella (Ramboll 2016). Tetomin suunnittelualue sijoittuu Röjsjön selvitysalueelle ja on lintujen muuttosuuntaan nähden noin neljäsoosan kokonaisleveydestä.

Laji	Röjsjön selvitysalueen kautta muuttava määrä, minimi-maksimi	Tetomin suunnittelualueen kautta muuttava osuus, minimi-maksimi
metsähanhi	996-2545	249-636
tundrahanhi	911-2390	228-598
valkoposkihanhi	32984-77825	8246-19456
kurki	166-202	42-51
maakotka	10-13	3
mehiläishaukka	303-406	76-102
merikotka, syksy	14-23	4-6
hiirihaukka	406-1007	102-252
piekana	86-150	22-38
varpushaukka, syksy	350-700	88-175

Merikotkan osalta laskettiin lisäksi arvio, jossa tuulivoimapuiston läpi lentäisi merikotka useammin kuin joka toinen vuorokausi, 200 kertaa vuodessa. Tällä arviolla on pyritty mallintamaan vaikutuksia myös laajalti etelärannikolla kierteleviin, pesimättömiin lintuihin, talvehtiviin lintuihin ja muihin paikallisiin yksilöihin läpimuuttavan kannan lisäksi.

Törmäysmallinnuksen skenaariossa 1 arvioitiin, että 50 % mallinnettujen lintujen muutosta tapahtuu roottorin muodostamalla riskikorkeudella. Skenaarion 2 osalta arvioitiin, että 60 % muutosta tapahtuu roottorin muodostaman riskitason korkeudella, sillä siinä roottori on halkaisijaltaan suurempi.

Lintujen pituutena ja siipivälin mittana käytettiin kirjallisuudesta (Beaman & Madge 1998) poimittujen mittojen keskiarvoa. Lintujen lentonopeuksina käytettiin Alerstamin ym. (2007) ilmoittamia tutkimustuloksiin perustuvia tietoja. Mikäli joltain lajilta oli ilmoitettu useamman eri tutkimuksen tulokset, käytettiin näiden keskiarvoa.

Lajikohtaisina väistökertoimina käytettiin seuraavia arvoja:

- Hanhet 99,8 % (Scottish Natural Heritage 2017)
- Kurki 98 % (Scottish Natural Heritage 2017, Granér ym. 2011)
- Maakotka 99 % (Whitfield 2009)
- Mehiläishaukka 98 % (Scottish Natural Heritage 2017)
- Merikotka 95 % (Bevanger ym. 2010)
- Hiirihaukka 98 % (Scottish Natural Heritage 2017)
- Piekana 98 % (Scottish Natural Heritage 2010)
- Varpushaukka 98 % (Scottish Natural Heritage 2017)

Hanhien osalta väistökertoimena on käytetty uusimpien tutkimusten mukaista arvoa 99,8 % (Scottish Natural Heritage 2017), mikä on kertaluokkaa isompi kuin useissa aiemmin laadituissa törmäysmallinnuksissa. Pendlebury (2006) totesi, että havaintojen perusteella todellinen väistökertoimen saattaa olla isompi kuin hänen esittämä 99 %, mutta pienempi kuin Fernleyn ym. (2006) esittämä 99,93 %. Uudemmissa tutkimuksissa on todettu, että talvehtivien harmaahanhien osalta väistökertoimena tulisi käyttää arvoa 99,8 % (Scottish Natural Heritage 2013 & 2017).

Kurjen, mehiläishaukan, hiirihaukan, piekanan ja varpushaukan osalta käytettiin väistökertoimena arvoa 98 %, mikä on suositusarvo kaikille lajeille siinä tilanteessa, että tarkempaa tutkimusta ei ole käytettävissä (Scottish Natural Heritage 2017). Pohjois-Ruotsissa Umeån lähellä on tutkittu kurkien muuton sijoittumista ennen ja jälkeen tuulivoimapuiston rakentamista, ja kurjella kaikkien yksilöiden todettiin kiertävän rakennettu tuulivoimapuisto kokonaisuudessaan (Granér ym 2011). Tämän perusteella kurjelle ei ole perusteltua käyttää oletusarvoa alhaisempaa väistökerrointa, joskin todellinen väistävien määrää saattaa olla vieläkin isompi.

Merikotkan osalta tässä mallinnuksessa on käytetty melko alhaista väistökerrointa 95 % (Bevanger ym. 2010). Satelliittiseurantaan perustuen myös merikotkan osalta voisi olla perusteltua väistökerrointa, arvoa 97,5 % (May ym. 2011).

Törmäysmallinnuksen tuloksena saatu törmäysten vaihteluväli perustuu riskikorkeudella läpimuuttavan lintumäärän arvioituun vaihteluväliin (min-max). Muiden tekijöiden osalta mallinnus perustuu edellä kuvattuihin arvoihin. Törmäysmallinnus perustuu usean arvon osalta keskiarvoihin, joten jokaisen muuttujan esittäminen pienimpänä tai suurimpana vaihtoehtona antaisi suuremman vaihteluvälin törmäävien lintujen arvioituun määrään. Kaikkien mahdollisten muuttajien toteutuminen yhtä aikaa törmäämistodennäköisyyden kannalta joko minimi- tai maksimiarvolla ei ole kuitenkaan todennäköistä tai edes mahdollista, sillä esimerkiksi tuulen nopeuden kasvaessa roottorin kierrosnopeus kasvaa (lisää törmäyksen todennäköisyyttä), mutta vastaavasti myötätuuleen lentävällä linnulla lentonopeus kasvaa (vähentää törmäystodennäköisyyttä). Tässä esitetty arvioitu törmäysten vaihteluväli perustuu uusimpaan käytettävissä olevaan tutkimustietoon lintujen törmäystodennäköisyyksistä ja Loviisan kautta muuttavien lintujen läpimuuttavien yksilöiden uusimpiin arvioihin, joten tuloksia voi pitää hyvin suuntaa antavina.

Tulokset

Törmäysmallinnuksen perusteella arvioiduista läpimuuttavista lajeista eniten törmäyksiä aiheutuisi **valkoposkihanhelle** (Taulukko 3). Valkoposkihanhen osalta törmäyksiä arvioitiin tapahtuvan skenaariossa 2 enintään 0,4 kertaa vuodessa, eli käytännössä enintään joka toinen vuosi. Tämä törmäysarvio perustuu suunnittelualueen kautta muuttavaan noin 20.000 yksilön vuosittaiseen määrään. Yksittäisinä muuttokausina, etenkin voimakkaiden syysmuuttojen seurauksena, suuremmatkin läpimuuttavat määrät ovat mahdollisia sillä suunnittelualue sijoittuu arktisten hanhien valtakunnalliselle päämuuttoreitille. Valkoposkihanhen läpimuuttava kanta on kasvussa, ja EU:n alueella talvehtiva kanta on arviolta 633.000-804.000 yksilöä (BirdLife International 2017), joten Tetomin suunnitellulla tuulivoimapuistolla ei arvioida olevan populaatiotason vaikutuksia lajiin.

Muiden hanhien osalta törmäysten määräksi arvioidaan enintään yksi törmäys vuosisadassa. **Kurkien** osalta törmäysten määräksi arvioidaan 1-2 törmäystä vuosisadassa, johtuen lajin hanhia heikommasta väistökertoimesta.

Läpimuuttavien petolintujen osalta eniten törmäyksiä arvioidaan tapahtuvan **hiirihaukalle**, **mehiläishaukalle** ja **varpushaukalle**. Näille törmäysten määräksi arvioidaan lajista ja skenaariosta riippuen 2-6 kertaa vuosisadassa lajia kohden.

Läpimuuttavan **maakotkakannan** osalta törmäykset voidaan arvioida merkityksettömiksi. Läpimuuttavien **merikotkien** osalta törmäysten todennäköisyys on myös vähemmän kuin yksi törmäys vuosisadassa kohden. Kun otetaan huomioon myös suunnittelualueen kautta liikkuvat paikalliset ja kiertävät merikotkat, törmäysten määräksi arvioidaan enimmillään yksi törmäys 7-8 vuoden välein. Tämän skenaarion taustalla on oletus 200 yksilön vuosittaisesta tuulivoimapuiston läpilennosta, mikä on enemmän kuin alueella tehdyissä tähän mennessä tehdyissä seurannoissa on havaittu. Merikotkan osalta tämä arvio on suuruusluokaltaan linjassa Perämeren alueella vuosina 2014-2018 tehtyjen seurantojen kanssa: Simon, Iin, Kalajoen, Pyhäjoen ja Raahen alueella on seurannassa olleiden 182 voimalan alueelta löydetty viisi tuulivoimaloihin törmännyttä merikotkaa (Suorsa 2019).

Taulukko 3. Muuttolinnuston mallinnettu törmäyskuolleisuus (yksilöä/vuosi). Skenaario 1 perustuu Vestas v162 roottorin ominaisuuksiin ja skenaario 2 kaavan mahdollistamaan maksimikokoiseen roottoriin.

Laji	Suunnittelualan kautta muuttava yksilömäärä /v.	Skenaario 1, törmäyksiä/v.	Skenaario 2, törmäyksiä/v.	Yleistetty arvio törmäyksistä
metsähanhi	249-636	0,006-0,015	0,006-0,016	enintään kerran vuosisadassa
tundrahanhi	228-598	0,005-0,014	0,006-0,014	enintään kerran vuosisadassa
valkoposkihanhi	8246-19456	0,180-0,425	0,188-0,444	enintään joka 2. vuosi
kurki	42-51	0,013-0,015	0,014-0,017	1-2 kertaa vuosisadassa
maakotka	3	<0,001	<0,001	harvemmin kuin kerran vuosituuhannessa
mehiläishaukka	76-102	0,018-0,024	0,019-0,025	2-3 kertaa vuosisadassa
merikotka (vain syysmuutto)	4-6	0,003-0,004	0,003-0,004	Harvemmin kuin kerran vuosisadassa
<i>merikotka, 200 läpilentoa</i>	200	0,13	0,14	törmäys 7-8 vuoden välein
hiirihaukka	102-252	0,022-0,056	0,024-0,059	2-6 törmäystä vuosisadassa
piekana	22-38	0,005-0,009	0,006-0,01	Harvemmin kuin kerran vuosisadassa
varpushaukka (vain syysmuutto)	88-175	0,017-0,034	0,018-0,036	2-4 kertaa vuosisadassa

Mallinnuksen epävarmuustekijät

Bandin mallin mukaisessa törmäysmallinnuksessa lintujen oletetaan kohtaavan roottori aina kohtisuoraan, eli linnut lentäisivät suoraan myötätuuleen tai vastatuuleen. Malli ottaa huomioon eri roottorin kohtaamisnopeudet myötä- tai vastatuulesta johtuen ja laskee näiden mukaisen keskiarvon. Koska todellisuudessa linnut muuttavat tuuleen suuntaan nähden usein hieman viistottain, roottorin muodostama riskiala pienenee roottorin sijoituessa enemmän vinoon kohtaamissuuntaan nähden. Toisaalta niissä tapauksissa, joissa lentorata johtaa kuitenkin roottorin läpilentoon, viistossa kulmassa läpilentoon on riskialttiimpaa, sillä riskivähytyksen läpäisyyn kuluu enemmän aikaa.

Bandin malli ei huomioi lavan paksuutta, ja lavan leveyden vaikutus ei ole mallinnuksessa merkittävä käytettäessä hyvin alhaista lapakulmaa (tilanne suurilla kierrosnopeuksilla). Fernley ym. (2006) osoittivat, että Bandin malli tuottaa läpilentojen törmäyksiin 10-30 % aliarvion, koska malli ei huomioi lavan paksuutta. Tämän virhelähteen merkitys pienenee käytettäessä Bandin mallin kanssa suositeltuja lajikohtaisia väistökertoimia, jotka on perustuvat havaintoihin lintujen törmäyksistä verrattaessa ennen tuulivoimahanketta alueen läpi muuttaneiden lintujen määriin. Väistökerroin ottaa siis tosiasiaa huomioon myös Bandin mallissa olevat matemaattiset rajoitteet, sillä väistökerroin on tarkoitettu korjaamaan Bandin mallin antamaa törmäysten määrää vastaamaan havaittua.

Käytettävä väistökerroin vaikuttaa mallinnuksen lopputulokseen huomattavasti voimakkaammin kuin varsinaisen matemaattisen törmäyslaskennan erot. Esimerkiksi $\pm 20\%$ ero törmäyslaskennan tuloksessa vastaa samaa kuin väistökertoimissa ero 99,80 ja 99,76 % välillä. (Fernley ym. 2006).

Mallinnuksessa petolinnut ja kurki on mallinnettu kohtaamaan turbiini liidossa, muut lajiryhmät on mallinnettu kohtaamaan turbiini aktiivisessa lennossa. Ero on lopputuloksen kannalta vähäinen. Yhden linnun on mallinnettu ohittavan yksi turbiini vain kerran muuttokautta kohden. Malli ei siis huomioi alueelle mahdollisesti levähtämään jäävien yksilöiden useita lentokertoja

tuulivoimapuiston lävitse, eikä se ota huomioon tilannetta, jossa esimerkiksi petolinnut voivat jäädä kaartelevaan paikoilleen. Malli kuvastaa siis alueen läpi pysähtymättä muuttavaan linnustoon kohdistuvaa riskiä.

Tässä kuvattu törmäysmallinnuksen skenaario 2 kuvaa kaavan mahdollistaman suurimman mahdollisen tuulivoimalamallin vaikutusta kaikkien turbiinien ollessa 98 % ajasta toiminnassa lähes täydellä nopeudella (90 % maksiminopeudesta). Kyseessä on siten hyvin lähellä ns. pahinta mahdollista tilannetta oleva arvio, joka todennäköisesti yliarvio vuoden aikana toteutuvista törmäyksistä.

LÄHTEET

Alerstam T., Rosén M., Bäckman J., Ericson, P. G. P. & Hellgren, O. 2007: Flight Speeds among Bird Species: Allometric and Phylogenetic Effects. *PLoS Biol* 5(8): e197. doi:10.1371/journal.pbio.0050197

Band, W, Madders, M. & Whitfield, D. 2007: Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. Teoksessa: Lucas, M., Janss, G. & Ferrer, M. 2007 (toim.): Birds and wind farms. Risk Assessment and mitigation: 259-275.

Beaman, M. & Madge, S. 1998: The Handbook of Bird Identification for Europe and the Western Palearctic. Christopher Helm Ltd., Lontoo. 868 s.

Bevanger K., Berntsen F., Clausen S., Dahl E.L., Flagstad Ø, Follestad A., Halley D., Hanssen F., Johnsen L., Kvaløy P., Lund-Hoel P., May R., Nygård T., Pedersen H.C., Reitan O., Røskoft E., Steinheim Y., Stokke B. & Vang R. 2010: Pre- and post-construction studies of conflicts between birds and wind turbines in coastal Norway (BirdWind). Report on findings 2007-2010. NINA report 505. 70 s.

BirdLife International 2017: European birds of conservation concern: populations, trends and national responsibilities Cambridge, UK: BirdLife International.

Fernley, J., Lowther, S. and Whitfield, P. 2006: A review of goose collisions at operating wind farms and estimation of the goose avoidance rate. A report by Natural Research Ltd, West Coast Energy and Hyder Consulting. [Http://www.westcoastenergy.co.uk/documents/goosecollisionstudy.pdf](http://www.westcoastenergy.co.uk/documents/goosecollisionstudy.pdf)

Granér A., Lindberg N. & Bernhold A. 2011: Migrating birds and the effect of an onshore wind farm. Posterisitys konferenssissa "Conference on wind energy and wildlife impacts, 2-5 May 2011". Norwegian Institute for Nature Research (NINA).

May, R., Nygård, T., Dahl, E.L., Reitan, O. & Bevanger, K. 2011: Collision risk in white-tailed eagles. Modelling kernel-based collision risk using satellite telemetry data in Smøla wind power plant. - NINA Report 692. 22 pp.

Pendlebury, C. 2006: An appraisal of "A review of goose collisions at operating wind farms and estimation of the goose avoidance rate" by Fernley, J., Lowther, S. and Whitfield, P. A report by British Trust for Ornithology under contract to Scottish Natural Heritage. BTO Research Report No. 455. 31 s.

Ramboll 2016: Tuulivoima-alueiden yhteisvaikutukset muuttolinnustoon, Natura-alueisiin sekä suuriin petolintuihin. Uudenmaan 4. vaihemaakuntakaava. Uudenmaan liitto.

Scottish Natural Heritage 2000: Calculating a theoretical collision risk assuming no avoiding action. Guidance Note Series. 10 s.

Scottish Natural Heritage 2010: Use of Avoidance Rates in the SNH Wind Farm Collision Risk Model. SNH Avoidance Rate Information & Guidance Note. 10 s.

Scottish Natural Heritage 2013: Avoidance rates for wintering species of geese in Scotland at onshore wind farms.

Scottish Natural Heritage 2014: Bird collision risks guidance. <http://www.snh.gov.uk/planning-and-development/renewable-energy/onshore-wind/bird-collision-risks-guidance/>
Scottish Natural Heritage 2017: Avoidance Rates for the onshore SNH Wind Farm Collision Risk Model. July 2017.

Suorsa, V. 2019: Linnustovaikutusten seuranta suomalaisissa tuulivoimapuistoissa. – Linnutvuosikirja 2018: 148-155.

Whitfield, D. P. 2009: Collision Avoidance of Golden Eagles at Wind Farms under the 'Band' Collision Risk Model. Report to Scottish Natural Heritage. Natural Research Ltd, Banchory, UK.