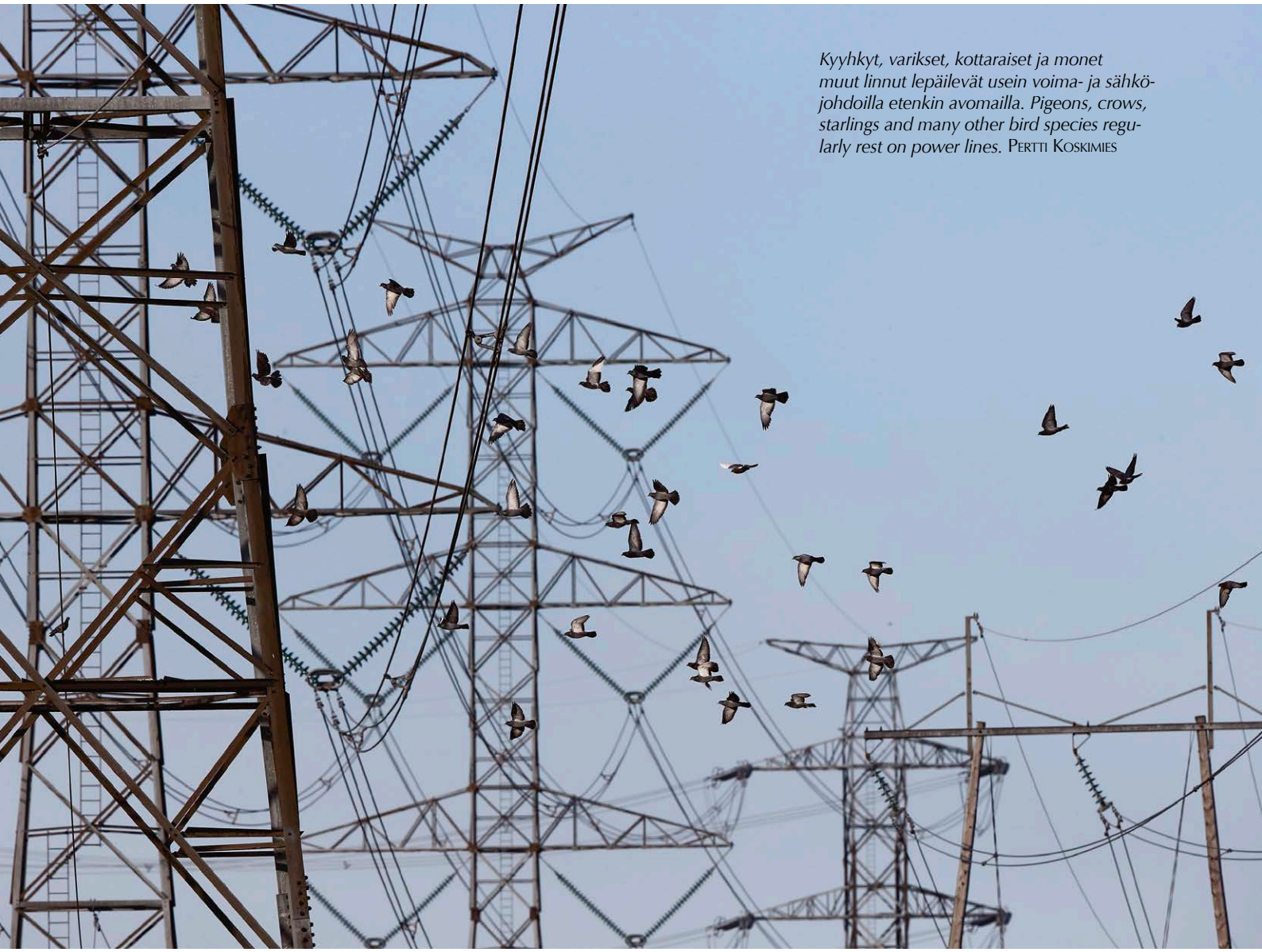
Linnut

vuosikirja 2023

BirdLife SUOMI • FINLAND

LUOMUS LUONNONTIETEELLINEN KESKUSMUSEO

Syke



Kyyhkyt, varikset, kottaraiset ja monet muut linnut lepäilevät usein voima- ja sähköjohdoilla etenkin avomailla. Pigeons, crows, starlings and many other bird species regularly rest on power lines. Pertti Koskimies

Linnut voima- ja sähköjohdoilla

– Kirjallisuuskatsaus törmäys- ja sähköiskuriskistä

Pertti Koskimies

■ *Katsaus perustuu etenkin eurooppalaisiin ja pohjoisamerikkalaisiin tutkimuksiin lintujen törmäyksistä ja sähköiskuista johdoilla.*

Johdanto

Sähkönsiirtojohdoista koituu monia vaikutuksia linnuille elinympäristöjen muutosten ja pirstoutumisen sekä törmäysten ja sähköiskujen vuoksi (esim. Bevanger 1994, 1998, Ferrer & Janss 1999, Hunting 2002a, 2002b, Haas ym. 2006, APLIC 2006, 2012, Lehman ym. 2007, Barrientos ym. 2011, Loss ym. 2014, D´Amico ym. 2018, Bernardino ym. 2018, 2019, Eccleston & Harness 2018, Cigre 2022). Suomessa johtojen vaikutusta linnustoon on tutkittu niukasti (esim. Koskimies 2007, 2011, 2017, 2024, Koskimies ym. 2008), mutta esimerkiksi ruotsalaisia tuloksia voidaan soveltaa täälläkin (esim. Ottvall & Green 2020, Nilsson 2022).

Törmäykselle altistavia linnun ominaisuuksia

Tärkeimpiä linnun törmäykselle altistavia ominaisuuksia ovat näkökyky, koko, massa suhteessa siipien pinta-alaan, lentotapa ja parveutuminen. Törmäyksille alttiimmista lintuheimoista ainakin trapeilla, kurjilla, kattohaikaroilla ja petolinnuilla binokulaarinen näkökenttä on kapea, mikä vaikeuttaa etäisyyksien arviointia (Martin & Shaw 2010). Esimerkiksi kurjella ja käär-

mekotkalla binokulaarinen näkökenttä on noin 20 astetta leveä ja 75–80 astetta korkea. Niillä ja trapeilla pään kallistaminen 25–35 astetta ja kattohaikaroilla 55 astetta alaspäin johtaa siihen, että lintu ei näe eteensä yhtaikaa molemmilla silmillään.

Vaikka petolinnut ovat ketteriä ja nopeita lentäjiä ja vaikka niiden näöntarkkuus on tyypillisesti 2,5–3-kertainen ihmiseen verrattuna, saaliseläintä maasta tähyävä tai ilmassa jahtaava lintu ei aina huomaa johdinta edessään (Bevanger 1994, Martin & Shaw 2010). Monilla vesi- ja rantalinnuilla, rantakanoilla, rastailla ja muilla yöaktiivisilla lajeilla on korkea riski törmätä johtimiin (esim. Janss & Ferrer 2001).

Mitä nopeammin ja suoraviivaisemmin laji lentää ja mitä painavampi se on suhteessa siipien pinta-alaan, sitä kömpelömmin se kykenee väistämään johtimia (esim. Haas 2006, Luzenski ym. 2016, Bernardino ym. 2018). Etenkin sorsa-, kuikka-, uikku-, kurki-, ranta- ja trappilinnuilla on iso massa suhteessa siipien pinta-alaan. Myös parvikoon kasvu ja lentely ruokailupaikkojen välillä nostaa törmäysriskiä. Toisten lintujen takana lentävät yksilöt eivät huomaa johtimia yhtä todennäköisesti kuin yksin tai parven edessä lentävät.

Esimerkiksi sorsilla, haikaroilla ja kurjilla törmäysuhreista yli 90 prosenttia on tyypillisesti nuoria (esim. Bernardino ym. 2018). Ne eivät ole yhtä kokeneita lentäjiä kuin aikuiset, eivätkä elinpaikat ole niille vielä tuttuja. Lisäksi nuorilla on aikuisten perässä lentäessään huonompi näkyvyys esteisiin. Petolinnuillakin nuorten yksilöiden riski törmätä johtimiin ja kuolla sähköiskuun arvioidaan jopa moninkertaiseksi verrattuna aikuisiin, esimerkiksi maakotkalla kaksinkertaiseksi (Mojica ym. 2018).

Ympäristön ja johtorakenteen vaikutus törmäysalttiuteen

Johdot ovat vaarallisimpia suuria parvia houkuttelevien kosteikkojen, vesistöjen, rantojen, viljelymaiden ja muiden lintujen erityisesti suosimien lepäily-, ruokailu- ja yöpymispaikkojen sekä pesimäyhdyskuntien likellä, koska lintuja nousee ja laskeutuu niiden liepeillä tiiviissä tahdissa. Törmäysriskiin vaikuttaa paikallisesti ja hyvin olennaisesti myös puuston korkeus johdinten vieressä, sillä pääosa törmäyksille alttiista linnuista lentää ja törmää johtimiin latvojen yläpuolella (esim. Mojica ym. 2009). Puiden korkeus on Bevangerin & Brøsethin (2004) mukaan ainoa ympäristötekijä, joka vaikuttaa merkittävästi riekkojen törmäysriskiin Norjassa. Riekot törmäävät johtimiin erityisesti siellä, missä johdot ovat latvojen yläpuolella.

Myös päämuuttosuuntaan suunnilleen poikittain olevat johtimet ovat tavallista suurempi uhka esimerkiksi rannikolla ja saaristossa, joki- ja muissa laaksoissa, vuorenrinteillä ja selänteillä tai ylipäänsä topografialtaan pitkänomaisilla muuttoreiteillä, joilla osa muuttajista lentää johdinten korkeudella ainakin epäedullisissa sääoloissa (esim. Bevanger 1994, Hunting 2002a, Shobrak 2013, Bernardino ym. 2018). Pääosa muuttoparvista lentää matkalennossa kuitenkin johtimia ylempänä (esim. Newton 2007).

Lintuja törmää johtoihin yleensä suhteellisesti enemmän muutto- kuin pesimä- ja talviaikaan, jolloin yksilö oleskelee tutummassa ympäristössä. Paikkalinnuista esimerkiksi riekkoja törmää johtoihin etenkin talvella ja keväällä, jolloin ne lentelevät aktiivisimmin, päivänvaloa on niukasti ja lumisade voi heikentää näkyvyyttä (Bevanger & Brøseth 2004). Muulloinkin sumu ja rankkasade nostavat törmäysriskiä jopa yli satakertaiseksi (esim. Ferrer & Janss 1999, Hunting 2002a, Haas ym. 2006). Vastatuuli voi pakottaa muuttoparvia lentämään matalalla, ja kovat puuskat saattavat haitata lentoa.

Lintuja törmää niin kantaverkon voimajohtoihin kuin jakeluverkon sähköjohtoihin. Lintujen on luultavasti vaikeinta huomata sähköjohdon ohuita johtimia puunlatvoja tai muuta tummaa taustaa vasten (esim. Jenkins ym. 2010). Törmäysriskiin vaikuttaa merkittävästi se, miten korkealla johtimet ovat suhteessa suurten lintujoukkojen paikalliseen lentokorkeuteen, joka riippuu lajista ja lähiympäristön elinympäristöistä (esim. Bevanger 1994). Lintuja lentää pääsääntöisesti enemmän ylempänä olevien voimajohtojen korkeudella, mutta niiden paksut virtajohtimet lintu huomaa todennäköisemmin ajoissa kuin sähköjohdon ohuet johtimet. Toisaalta voimajohdolla ylinnä oleva ukkosenjohdin on suunnilleen puolet ohuempi kuin virtajohtimet.

Neljän tutkimuksen mukaan voimajohtoon törmänneistä yhteensä 208 linnusta 84 prosenttia törmäsi ukkosenjohtimeen ja vain 16 prosenttia virtajohtimiin (Scott ym. 1972, Meyer 1978, Faanes 1987, Murphy ym. 2009). Kahdessa muussa tutkimuksessa lintutörmäykset vähenivät 78 prosenttia ja 48 prosenttia ukkosenjohtimen poistamisen jälkeen (Beaulaurier 1981, Brown ym. 1987). Kaiken kaikkiaan esimerkiksi Ottvall & Green (2020) ja Nilsson (2022) pitävät sähköjohtoja ja voimajohtojen ukkosenjohtimia Ruotsissa ja Loss ym. (2014) Yhdysvalloissa suurin piirtein yhtä vaarallisina.

Myös päällekkäisten johtimien määrä näyttää vaikuttavan törmänneiden yksilöiden määriin (esim. Bevanger 1994, Jenkins ym. 2010, APLIC 2012, Bernardino ym. 2018). Esimerkiksi Bevanger & Brøseth (2004) totesivat törmänneiden riekkojen ja kiirunoiden määrän pudonneen 51 prosenttia, kun sähköjohdolta poistettiin kahden vierekkäisen virtajohtimen yläpuolella ollut yhtä paksu ukkosenjohdin, jonka jälkeen johtimia oli yhdellä korkeudella kahden sijaan. Sen sijaan Infante ym. (2005) eivät havainneet Portugalissa merkittäviä eroja lintujen törmäysmäärissä johdoilla, joista osalla oli johtimia vain yhdellä ja osalla useammalla korkeudella.

Törmäyksille ja sähköiskuille erityisen alttiit lajit

Lajiominaisuuksien perusteella törmäyksille alttiimpiin lajiryhmiin kuuluvat isot, nopeasti ja suoraviivaisesti lentävät linnut, lahkoista etenkin kanalinnut, kurkilinnut, pelikaanilinnut, flamingolinnut, sorsalinnut, trappilinnut, kahlaajalinnut, haikaralinnut ja petolinnut (esim. Bevanger 1998, Ferrer & Janss 1999, Janss & Ferrer 2000, Hunting 2002a, 2002b, Haas ym. 2006, Jenkins ym. 2010, Koskimies 2017). Ne eivät pysty muuttamaan lentosuuntaansa äkisti johtimien likellä, ja monilla niistä on kapea binokulaarinen näkökenttä. Haikaroilla, kurjilla ja joutsenilla törmäysriskiä kasvattavat myös pitkä kaula ja jalat. Haasin ym. (2006) ja Koskimiehen (2009, 2017) arvion mukaan meikäläisistä lintulahkoista riski törmätä johtimiin on suhteellisesti korkein sorsa- ja kanalinnuilla, kuikka-, uikku-, haikara- ja petolinnuilla sekä kohtalainen kahlaajilla, pöllöillä ja kehrääjillä (taulukko 1).

Sähköiskuille sähköjohdoilla ovat alttiimpia osittain samat lajiryhmät kuin törmäyksille (esim. Bevanger 1998, Hunting 2002b, Haas ym. 2006). Niihin kuuluvat etenkin pitkäkaulaiset ja -jalkaiset haikarat, kurjet ja joutsenet sekä suurimmat petolinnut, pöllöt ja varikset, jotka hyvin usein tähystävät saalista, lepäilevät ja monilla alueilla myös pesivät sähköpylväillä. Lossin ym. (2014) läpikäymissä tutkimuksissa peräti 92 prosenttia sähköiskuun kuolleista yksilöistä oli petolintuja ja etenkin maakotkia.

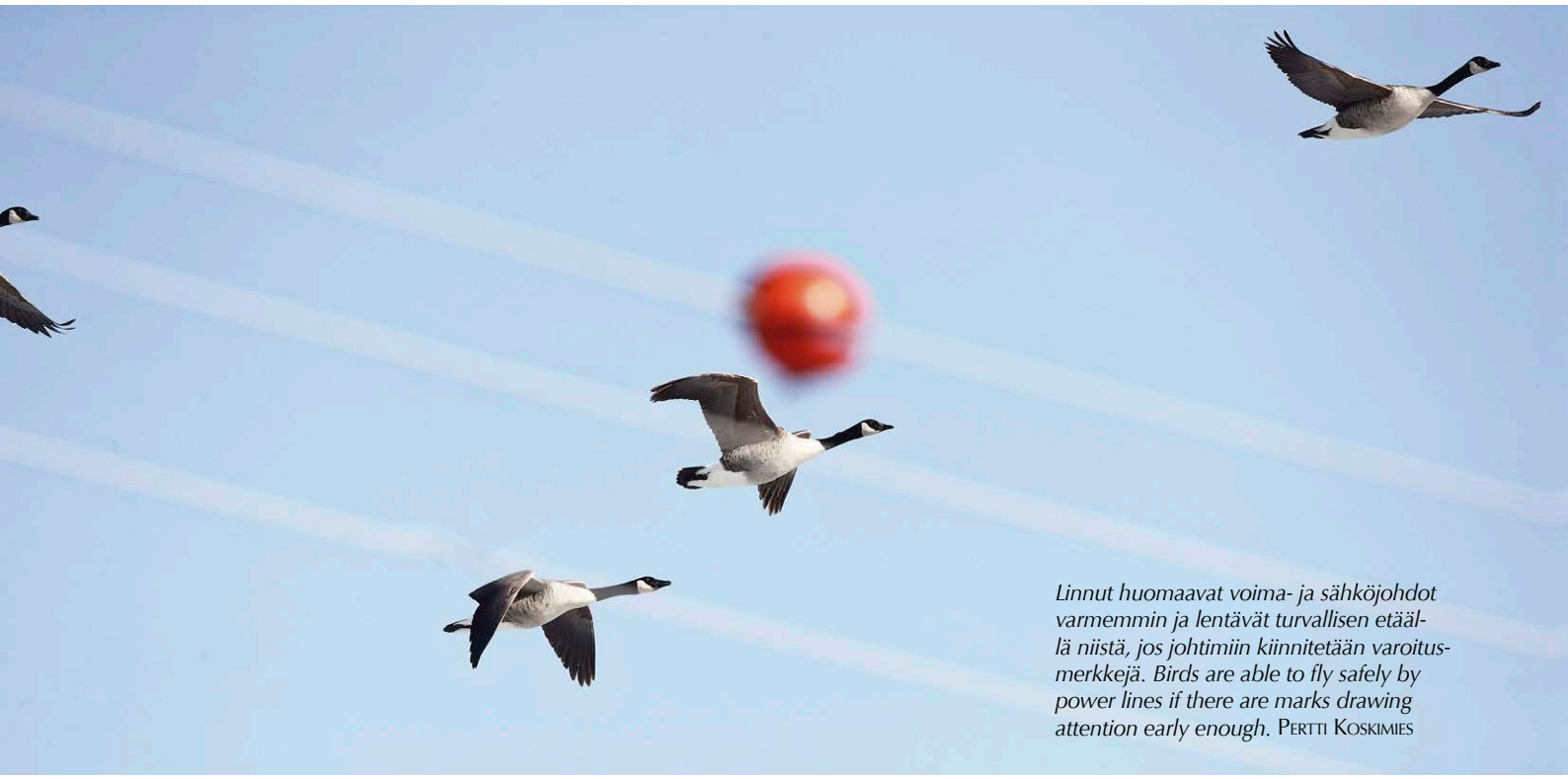
Törmäyksiin ja sähköiskuihin kuolleiden lintujen yksilömääriä

Koko maailmassa ainakin 350 lintulajin eli noin kolmen prosentin maailman lintulajeista oli todettu törmänneen johtoihin tai saaneen niistä sähköiskun jo 2000-luvun alkuun mennessä, ja yksilöitä voi menehtyä vuodessa jopa miljardi (Hunting 2002a, 2002b, Manville 2005). Ne kuuluvat ainakin 35 heimoon ja 15 lahkoon eli reiluun kolmasosaan maailman lintulahkoista.

Taulukko 1. *Suomessa esiintyvien lintulahkojen ja joidenkin -heimojen arvioitu törmäysriski voima- ja sähköjohtoihin asteikolla 1–3 Haasin ym. (2006, = H) ja Koskimiehen (2017, = K) mukaan (K-saraketta osittain päivitetty): 1 = matala, 2 = melko korkea, 3 = korkea. Plussalla (+) on merkitty lajien ominaisuuksia ja käyttäytymispiirteitä, jotka kasvattavat törmäysriskiä, miinuksella (–) tekijöitä, jotka pienentävät sitä.*

Table 1*. The estimated relative risk of collision with power lines of the bird orders and some families breeding in Finland according to Haas et al. (2006, = H) and Koskimies (2017, = K, partly modified): 1= low, 2 = medium, 3 = high. Bird properties and behaviour increasing the risk are marked with plus (+), and those decreasing it with minus (–).*

Lajiryhmä ***Species group***	**H**	**K**	**+ Riskiä kasvattavat / – Riskiä pienentävät lajiominaisuudet** ***+ / – Reason for increasing / diminishing relative risk***
Kuikat, uikut *Divers, grebes*	2	2	+ Raskas ja suoraviivainen lento; eivät kykene äkkiväistöihin. / – Lentävät melko harvoin. *+ Heavy and rectilinear flight; not able to turn rapidly. / – Fly relatively seldom.*
Merimetso *Cormorant*	2	1,5	+ Raskas ja suoraviivainen lento, kookas. / – Harvoin isoina parvina; yleensä avomerellä. *+ Heavy and rectilinear flight; large size. / – Seldom in big flocks; mostly on open sea.*
Haikarat, kurki *Herons, Crane*	2	2,5	+ Kookkaita; eivät kykene äkkiväistöihin; usein parvissa. / – Hidas lento. *+ Large size; not able to turn rapidly; often in flocks. / – Slow flight.*
Sorsat *Ducks*	2	2,5	+ Nopea ja suoraviivainen lento; lentelevät aktiivisesti; isoja; isot parvet. *+ Rapid and rectilinear flight; fly often; large size; big flocks.*
Joutsenet, hanhet *Swans, geese*	2	3	+ Nopea ja suoraviivainen lento; hyvin kookkaita; isot parvet. *+ Rapid and rectilinear flight; very large size; big flocks.*
Petolinnut *Birds of prey*	1–2	2,5	+ Isoja; matkalento nopeaa ja suoraviivaista; huomiokyky saaliin seuraamisessa. / – Tarkka näköaisti. *+ Large size; rapid and rectilinear flight; concentrate on chasing prey. /* *– Good sense of sight.*
Kanalinnut *Gallinaceous birds*	2–3	2,5	+ Nopea ja suoraviivainen lento, eivät kykene äkkiväistöihin; isoja; parvissa. / – Lentävät usein johtojen ali. *+ Rapid and rectilinear flight, not able to turn rapidly; large size; in flocks. /* *– Fly usually at low altitude.*
Rantakanat *Rallids*	2–3	1,5	+ Aktiivisia hämärässä ja yöllä; ei väistökykyä. / – Lentävät harvoin ja matalalla. *+ Active from dusk to dawn; not able to rapid turns. / – Fly seldom and at low altitude.*
Kahlaajat *Waders*	2–3	2	+ Nopea ja suoraviivainen lento; parvissa; osa lajeista melko isokokoisia. / – Kykenevät äkkiväistöihin. *+ Rapid and rectilinear flight; in flocks; part of species relatively large. /* *– Able to turn rapidly.*
Lokkilinnut *Larids*	2	1,5	+ Lentävät ruoanhaussa vilkkaasti; parvissa; isokokoisia. / – Kykenevät äkkiväistöihin. *+ Fly actively when looking for food; in flocks; large size. / – Able to turn rapidly.*
Ruokit *Alcids*	1	1	+ Nopea ja suoraviivainen lento; parvissa. / – Lentävät matalalla meren yllä. *+ Rapid and rectilinear flight; in flocks. / – Fly at low altitude above sea.*
Kyyhkyt *Pigeons*	2	1,5	+ Nopea ja suoraviivainen lento; isokokoisia; parvissa. / – Kykenevät väistämään; laskeutuvat johtimille. *+ Rapid and rectilinear flight; large size; in flocks. / – Able to turn; land on power lines.*
Käki *Cuckoo*	2	1	+ Melko iso. / – Melko hidas lento, yleensä matalalla; ei parvissa. *+ Fairly large. / – Flies relatively slowly, usually at low altitude; lives alone.*
Pöllöt *Owls*	2–3	2,5	+ Aktiivisia hämärässä ja yöllä; saalistaessa huomiokyky saaliissa; osa isokokoisia. / – Hidas lento. *+ Active from dusk to dawn; when hunting concentrate on prey; many large species. / – Slow flight.*
Kehrääjä *Nightjar*	2	2	+ Aktiivinen hämärässä; saalistaessa huomiokyky saaliissa; isokokoinen. / – Melko hidas lento. *+ Active from dusk to dawn; when hunting concentrates on prey; large size. / – Slow flight.*
Tikat *Woodpeckers*	2	1,5	+ Suoraviivainen lento, eivät kykene äkkiväistöihin. / – Lentävät harvoin korkealla; ei parvissa. *+ Rectilinear flight, not able to turn rapidly / – Fly seldom at higher altitude; live alone.*
Varikset *Crows*	1–2	1	+ Isokokoisia; parvissa. / – Melko hidas lento, kykenevät äkkiväistöihin; lepäilevät johtimilla. *+ Large size; in flocks. / – Fairly slow flight, able to turn rapidly; land on power lines.*
Varpuslinnut *Passerines*	2	1	+ Isoissakin parvissa. / – Pienikokoisia; melko hidas lento, kykenevät äkkiväistöihin. *+ Often in big flocks. / – Small size; fairly slow flight; able to turn rapidly.*



Linnut huomaavat voima- ja sähköjohdot varmemmin ja lentävät turvallisen etäällä niistä, jos johtimiin kiinnitetään varoitusmerkkejä. Birds are able to fly safely by power lines if there are marks drawing attention early enough. Pertti Koskimies

Todellinen lajimäärä lienee huomattavasti korkeampi, varsinkin kun uusia sähkönsiirtolinjoja on rakennettu viime vuosikymmenillä kiihtyvää vauhtia myös mm. tropiikkiin.

Lintuja on törmännyt johtimiin tutkimusyhteenvetojen mukaan eri puolilla maailmaa 4–625 yksilöä hehtaaria ja vuotta kohti, kun etsintöjen kattama maapintaala johtimien alapuolelta otetaan huomioon. Johtoaukean pituuteen suhteutettuna määrät ovat vaihdelleet välillä 2–1 011 lintua kilometriä ja vuotta kohti. Pääosa tutkimuksista on tehty linnuille vaarallisiksi tiedetyillä paikoilla, joten törmänneiden yksilöiden määrät lienevät keskimäärin pienempiä, esimerkiksi Yhdysvalloissa 0,02–7,1 yksilöä kilometriä ja vuotta kohti (Loss ym. 2014).

Toisaalta törmänneistä linnuista löydetään vain osa, koska niitä on etsitty monessa tutkimuksessa harvakseltaan ja usein ilman koiraa, ja eläimet ovat varmasti vieneet osan raadoista. Esimerkiksi Murphy ym. (2016) löysivät 400 metrin matkalla sähkölinjaa 17 johtimiin yöpymispaikan lähellä törmännyttä hietakurkea, mutta elektroninen seurantalaitteisto paljasti alueella 321 törmäystä erityisesti yöaikaan.

Jo 1980-luvulla Koops (1987) arvioi Hollannissa kuolevan vuosittain 0,75–1 miljoonaa lintua törmäyksissä johtoihin. Loss ym. (2014) arvioivat 14 alueellisen tutkimuksen perusteella, että Yhdysvalloissa kuolee 8–57 miljoonaa lintua vuosittain törmäyksiin ja 0,9–11,6 miljoonaa sähköiskuihin. Kanadassa törmäyksiin kuolee arviolta 10–41 miljoonaa yksilöä vuodessa (Rioux ym. 2013).

Petolintujen törmäys- ja sähköiskuriski

Petolintuja törmää johtoihin suhteessa kantojen kokoon paljon, mutta vielä merkittävämpi kuolinsyy ovat sähköiskut jakeluverkon johdoilla (Ferrer & Janss 1999, Janss & Ferrer 2001, Mañosa & Real 2001, APLIC 2006, Lehman ym. 2007). Huntingin (2002b) mukaan ainakin 70 lajin yksilöitä on kuollut sähköiskuihin maailmassa ja 30 lajin Yhdysvalloissa, mutta todelliset lajimäärät ovat varmasti isommat. Lehman (2001) ja Manville (2005) arvioivat jopa satojen tuhansien petolintuyksilöiden kuolevan sähköiskuun Yhdysvalloissa joka vuosi. Norjassa johdoilta löytyi vuosina 1987–1994 yhdeksän kuollutta petolintu- ja kahdeksan pöllölajia ja 2 360 yksilöä (Bevanger & Overskaug 1995).

Mojican ym. (2018) tilastot 3 801 maakotkasta Yhdysvalloissa osoittavat, että sähköiskuriskiin vaikutti eniten pylvään tyyppi (virtajohtimet alle 102 cm toisistaan). Nuoria ja isokokoisia yksilöitä kuoli suhteessa enemmän kuin vanhempia ja pieniä yksilöitä. Vaarallisimpia paikkoja olivat avomaat ja rinteet, joilla eli runsaasti saaliseläimiä. Kotkia kuoli sähköiskuun eniten talvella.

Esimerkiksi vuorikotkien todennäköisyys törmätä johtimiin on Ranskassa viljelymaiden, rantaniittyjen, laidunten, muiden avomaiden ja pensaikkojen päällä 1,5-kertainen metsäalueisiin verrattuna (Rollan ym. 2010). Valkopäämerikotkista pääosa kuolee Yhdysvalloissa törmäyksiin yleensä alle kilometri rantaviivasta ja muuallakin avoympäristöissä sekä sähköiskuun pylväillä, joiden lähellä ei ole tähystyspaikoiksi puita. Tuolloin kotkat myös lentävät alempana, mikä kasvattaa törmäysriskiä (Mojica ym. 2009).

Petolinnuilla lentoaktiivisuus jakaantuu epätasaisesti pesimäreviirin ja saalistusalueen eri osien välillä (esim. Ferrer & Janss 1999, Whitfield ym. 2008, Hedfors 2014, Moss ym. 2014, Singh ym. 2016, Tikkanen ym. 2018, Koskimies & Nieminen 2024). Varsinkin kotkat suosivat lentoreiteillään rinteitä ja harjanteita, joiden ylle kehittyy lämpimiä nousuvirtauksia, sekä avoimia saalistusympäristöjä. Johdon riskiä arvioitaessa on olennaisempaa tarkastella kotkia houkuttelevien elinympäristöjen sijaintia kuin pitäytyä tietyssä vakioetäisyydessä pesältä.

Johtojen merkitys lintujen kuolinsyynä

Törmäykset ja sähköiskut johdoilla kuuluvat merkittävimpiin ihmisen aiheuttamiin lintujen kuolinsyihin (esim. Erickson ym. 2005). Loss ym. (2015) arvioivat, että Yhdysvalloissa kissat tappavat vuosittain 2,4 miljardia lintua (Kanadassa 204 miljoonaa), törmäykset rakennuksiin ja ikkunoihin 559 miljoonaa (25 miljoonaa), autot 200 miljoonaa (14 miljoonaa), törmäykset johtoihin 23 miljoonaa (26 miljoonaa) ja törmäykset mastoihin 6,6 miljoonaa

(220 000), sähköiskut sähköjohdoilla 5,6 miljoonaa (481 000) ja törmäykset tuulivoimaloihin 234 000 yksilöä (Kanadassa 17 000). Luvut ovat toki karkeita arvioita.

Esimerkiksi Fransson ym. (2019) tilastoivat yli 10 000 rengastetun linnun kuolinsyitä Ruotsissa vuosina 1990–2017. Yksilöistä 8,6 prosenttia kuoli törmäykseen tai sähköiskuun johdoilla. Bevanger (1995) arvioi eri kanalintulajeja törmäävän johtoihin Norjassa 9–90 prosenttia metsästäjien ampumasta yksilömäärästä. Yhdysvalloissa törmäysten osuus tunnetuista kuolinsyistä on hietakurjella 36 %, trumpettikurjella 40 % ja trumpettijoutsenella 44 % sekä kosteikkojen lähellä kaikilla vesilinnuilla 26 %, kahlaajilla 8 % ja varpuslinnuilla 5 % (Manville 2005). Toisaalta Espanjassa neljä talvea seuratuista 350–1 300 kurjesta vain 0,6–2,0 prosenttia yksilöistä törmäsi eri talvina neljän kilometrin pituiseen voimajohtoon (Janss & Ferrer 2000).

Petolinnuilla, kurjilla, trapeilla ja joillakin muilla harvinaisilla ja hitaasti lisääntyvillä lajeilla törmäysten ja sähköiskujen on arvioitu pienentävän populaatioita pysyvästi, joskin tätä on harvoin todistettu (esim. Bayle 1999, Hunting ym. 2002a, Sergio ym. 2004, APLIC 2006, Haas ym. 2006, Schaub ym. 2010, Lehman ym. 2010, Jenkins ym. 2010, Loss ym. 2015, Ottvall & Green 2020, Nilsson 2022). Esimerkiksi Norjassa Bevanger ym. (2016) laskivat tutkimusalueensa teerikannan pienentyneen 4,2–11,8 prosenttia ja metsokannan 1,4–8,1 prosenttia johtotörmäysten takia. Ruotsissa törmäykset pienentävät kyhmyjoutsenen (Mathiasson 1999) ja todennäköisesti monien muiden lajien populaatioita ainakin paikallisesti (Ottvall & Green 2020, Nilsson 2022).

Johdot petolintujen kuolinsyynä

Lehman ym. (2010) tilastoivat sähkölinjoilla kuolleiden petolintujen määriä Yhdysvaltain länsiosissa. Sähköiskuun kuolleina löydettiin 5 215 ja törmäyksiin vain 21 yksilöä. Raatoja etsittiin sattumanvaraisesti kolmen kuukauden välein. Enemmistö linnuista jäi varmasti löytymättä raadonsyöjien vuoksi, ja havaittu 0,0036–0,0112 kuollutta yksilöä pylvästä ja vuotta kohti on roima aliarvio. Kuukauden välein lintuja löytyikin lähes kolminkertainen määrä, mutta suuri osa lienee jäänyt edelleen huomaamatta. Löydetyistä petolinnuista 63 prosenttia oli kotkia, joista raadonsyöjät veivät pois erillisen kokeen perusteella 7–56 prosenttia verrattuna pienempiin haukka- ja pöllölajeihin.

Mojican ym. (2018) mukaan tavallisesti 0,004–0,007 maakotkaa kuolee Yhdysvalloissa sähköiskuun johdoilla pylvästä ja vuotta kohti (124–1 494 ja keskimäärin 504 yksilöä), mutta Lossin ym. (2014) mukaan luku voisi olla jopa 0,03 yksilöä. Maakotkia löydetään sähköjohtojen alta 2,3 kertaa niin usein kuin valkopäämerikotkia (Manville 2005). Tutkituista 4 300 kotkasta sähköiskut olivat toiseksi yleisin kuolinsyy maakotkalla (25 prosenttia yksilöistä) ja kolmanneksi yleisin valkopäämerikotkalla (12 prosenttia).

Käpytikka kiinnittää usein käpyjä puisiin sähköpylväisiin siementen syömistä varten, mutta valkoselkätikkakin voi joskus kiipeillä pylväissä, mikä altistaa linnun törmäykselle. White-backed Woodpecker Dendrocopos leucotos *and other woodpeckers, except the Great Spotted Woodpecker* Dendrocopos major*, seldom stay near power lines.* Pertti Koskimies

Janss & Ferrer (2001) arvioivat, että Espanjassa Coto Doñanan suojelualueella kaikilla lintulajeilla keskimäärin 37 prosenttia tilastoiduista kuolemantapauksista johtui sähköiskuista, joihin kuolleiden lintujen määrä vaihteli 3,0–6,0 yksilöön sataa pylvästä kohti. Uhreista 54 prosenttia oli petolintuja. Vain Espanjassa esiintyvällä iberiankeisarikotkalla 1,3 prosenttia aikuisista ja 30 prosenttia poikasista kuoli sähköiskuihin vuotta kohti. Jos vaarallisimmat pylväät, joita oli 19 prosenttia kaikista, olisi suojattu, kotkien kuolleisuus olisi vähentynyt 48 prosenttia.

Rollandin ym. (2010) mukaan 55 prosenttia vuorikotkien kuolemista Ranskassa johtuu sähköiskuista ja 3 prosenttia törmäyksistä, joskin sähköiskun uhrit löytyvät todennäköisemmin. Espanjassa Hernández-Matíasin ym. (2015) mukaan kuolleina löydetyistä vuorikotkista 62 prosenttia kuoli sähköiskuun, 17 prosenttia ammuttiin ja 5 prosenttia törmäsi johtimiin. Baylen (1999) mukaan sähköiskut ja törmäykset kasvattavat kokonaiskuolleisuutta iberiankeisarikotkalla ja vuorikotkalla Espanjassa ja Etelä-Ranskassa ja Fransonin ym. (1995) mukaan maa- ja valkopäämerikotkalla Pohjois-Amerikassa.

Suomalaisista rengastetuista ja kuolleina löytyneistä 166 maakotkasta 20 prosenttia kuoli törmättyään johtimiin (Saurola ym. 2013). Merikotkalla (99 yksilöä) 33 prosenttia rengaslinnusta törmäsi johtimiin ja 21 prosenttia kuoli sähköiskuun. Tosin johdoilla kuolleet kotkat löytyvät todennäköisemmin kuin moneen muuhun syyhyn menehtyneet yksilöt. Kalasääskellä tunnetuista kuolinsyistä (1 631) 14 prosenttia johtui törmäyksistä johtimiin ja sähköiskuista. Ruotsin Gotlannissa lähes puolet tunnetuista maakotkan kuolemista johtuu törmäyksistä ja sähköiskuista, mikä luultavasti pienentää populaatiota (Ottvall & Green 2020). Poikkeuksellisen vaarallinen johto voi vaikuttaa laajan alueen populaatioon. Arokotkia talvehtii Saudi-Arabian keskiosissa maailman suurin kerääntymä ison kaatopaikan ympäristössä, missä 14,4 km:n sähköjohto-osuudella kuolee talvea kohti 94–240 arokotkaa eli 0,3 prosenttia maailmankannasta (Shobrak ym. 2021).

Suomessa vuoteen 2007 mennessä löydetyistä 1 988 rengastetusta huuhkajasta 39 prosenttia kuoli sähköiskuun tai törmäykseen johdoilla (Valkama ym. 2014). Huuhkaja tähystää usein tienvarren sähköpylväillä. Koko Euroopassa neljäsosa löydetyistä huuhkajista on törmännyt johtoihin ja muihin rakenteisiin ja ajoneuvoihin ja toinen neljäsosa kuollut sähköiskuun

(Sergio ym. 2004). Johtojen osuus tunnetuista kuolinsyistä on kasvussa. Schaubin ym. (2010) tutkima populaatio Sveitsin Alpeilla kasvaisi 17 prosenttia vuodessa, jos huuhkajia ei kuolisi sähköiskuihin.

Johdinten merkintä törmäysten estämiseksi

Sähköjohdon virtajohdinten ja voimajohdon ukkosenjohtimen merkitseminen huomiota herättävin, värikkäin ja liikkuvin spiraalein, nauhoin ja lipuin pienentää johtoihin törmäävien lintuyksilöiden määriä tavallisesti noin 40–90 prosenttia (esim. Murphy ym. 2009, Barrientos ym. 2011, Kalz ym. 2015, Bernardino ym. 2018, 2019, Eccleston & Harness 2018, Ottvall & Green 2020, Cigre 2022, Nilsson 2022). Bernardinon ym. (2019) kokoamissa 35 vertailututkimuksessa törmäysten määrä aleni johtojen merkinnän ansiosta keskimäärin 50 prosenttia.

Ferrer ym. (2020) vertasivat erilaisten merkkien tehoa Etelä-Espanjassa voimajohdoilla, joilla lippumaiset merkit vähensivät törmäysten määrää 70 prosenttia, oranssit spiraalimerkit 44 prosenttia ja keltaiset spiraalit 40 prosenttia. Aiemmin käytetyt, alun perin lentoliikennettä varoittaneet pallot eivät ole yhtä tehokkaita. Todennäköisimmin lintujen huomiota herättävät johtimista roikkuvat, tuulessa lepattavat ja mustavalkoiset lippumaiset varoitusmerkit sekä nauhamaiset tai spiraalimaiset mustavalkoiset varoittimet, jotka pyörivät akselinsa ympäri (Haas ym. 2006, Bernardino ym. 2018). Merkinnän vaikutus vaihtelee myös elinympäristöjen, paikallisen lajiston ja yksilömäärien mukaan (Jenkins ym. 2010, D´Amico ym. 2019).

Pavón-Jordán ym. (2020) todistivat Norjassa tutkan avulla, että linnut lensivät lähimpänä johtimia yöllä, jolloin varoitusmerkit näkyvät huonoiten. Silloinkin ne väistivät todennäköisimmin spiraalimaisin merkein merkittyjä johtimia, ja väistöjä havaittiin suhteellisesti enemmän merkityillä kuin merkitsemättömillä osuuksilla. Merkittyjen johtojen yli linnut lensivät keskimäärin ylempänä kuin merkitsemättömien.

Luzenski ym. (2016) tarkkailivat yhteensä 3 692 petolinnun lentokorkeutta vuonna 2013, jolloin suositulla muuttoväylällä ei ollut voimajohtoa, ja 4 482 lentoa vuonna 2014 johdon rakentamisen jälkeen. Ennen rakentamista 72 prosenttia petolinnuista lensi ylemmällä korkeudella kuin mihin johtimet sijoittuivat, 24 prosenttia tulevien johtimien korkeudella ja 4 prosenttia niitä alempana. Rakentamisen jälkeen 92 prosenttia lensi merkittyjen johdinten yli, 5 prosenttia johdinten korkeudella ja 3 prosenttia ali. Yhtään petolintua ei törmännyt johtoihin, ja lentokorkeuden muutos viittaa lintujen väistäneen johtoja hallitusti.

Törmäysriskialueiden kartoitus ja uusien johtojen rakentaminen

Merkintääkin tehokkaampi keino törmäysten vähentämiseksi on uusien johtojen sijoittaminen lintukeskittymien ja törmäyksille alttiimpien lajien suosimien elinympäristöjen ja esiintymisalueiden ulkopuolelle. Jakeluverkon sähköjohtojen kaivaminen maahan estäisi törmäykset täysin, mutta voimajohtojen maakaapelointi on teknisesti ja taloudellisesti vaikeaa.

Paquet ym. (2022) kartoittivat lintutörmäysten riskialueita koko Belgiassa luokittelemalla ensin kaikkien lajien lähtökohtaisen alttiuden törmäyksille näkökyvyn, lento- ja muun käyttäytymisen ja aiempien törmäystutkimusten perusteella. He rajasivat levinneisyysalueiden nojalla ne alueet, joihin korkean törmäysriskin ja muistakin syistä uhanalaiset lajit keskittyivät, ja suosittelivat näillä alueilla vanhojen johtojen merkintää ja uusien jättämistä rakentamatta. Samoin D´Amico ym. (2019) luokittelivat Espanjassa (231 lajia) ja Portugalissa (183) ne paikkalintulajit, joita johdot voivat eniten uhata lajin morfologian, lentokäyttäytymisen, uhanalaisuuden ja lisääntymispotentiaalin perusteella. Lisäksi he painottivat harvalukuisia ja ympäristövaatimuksiltaan vaateliaita lajeja. Alueilla, joilla esiintyi ainakin 50 lajia, nykyiset johdot olisi merkittävä tehokkaasti. Suomessa on arvioitu kantaverkon nykyisten voimajohtojen vaikutusta lintujen törmäysriskiin ja paikalliseen suojeluarvoon arvokkailla lintualueilla (Koskimies 2009).

Törmäysriski uudella johdolla on todennäköisesti alempi, jos se rakennetaan vanhan johdon viereen ja johtimet samalle korkeudelle, ja sijoitetaan tien- tai radanvarteen, metsäalueen reunaan tai johonkin muuhun pitkänomaiseen maastoon pituussuunnassa verrattuna siihen, että johto rakennettaisiin uuteen paikkaan lintujen suosiman elinympäristön halki.

Petolintujen sähköiskujen estäminen

Peto- ja muita isoja lintuja ei kuole sähköiskuihin läheskään kaikilla pylväillä. Esimerkiksi Koillis-Espanjassa tutkituista 3 869 pylväästä 9,2 prosenttia oli sellaisia, joilla kuoli 53,2 prosenttia lintuyksilöistä (Tinto ym. 2010). Hernández-Lambraño ym. (2018) luokittelivat Espanjassa 9,7 prosenttia tutkimusalueensa lähes 189 000 pylväästä korkeaan riskiluokkaan rakenteen ja lähiympäristön perusteella, ja niille petolintujen sähköiskut keskittyivätkin. Myös Dwyer ym. (2016) ja Mojica ym. (2022) pystyivät tunnistamaan vaaralliset pylväät Yhdysvalloissa ja Framis (2001) Espanjassa.

Smølan saarella Norjassa 50 prosenttia merikotkista (142 yksilöä) kuoli sähköiskuun 2,8 prosentilla pylväistä (yhteensä tutkittiin 742 pylvästä). Suomessa merikotkilla on selvästi suurin riski kuolla sähköiskuun saaristossa niillä pylväillä, jotka ovat lähellä rantaa ja usein ilmajohdon reunimmaisia pylväitä (Stjernberg ym. 2007, 2009). Muuallakin eri kotkalajit suosivat pylväitä antoisilla saalistuspaikoilla (esim. Mojica ym. 2018). Vaarallisilla pylväillä virtajohdot ovat suojaamattomia ja lähellä toisiaan (esim. APLIC 2006, 2012, Dwyer ym. 2015, Mojica ym. 2018, Cigre 2022). Turvallisten virtajohdinten etäisyyden pitäisi olla vaakatasossa vähintään 152 cm ja pystysuunnassa 120 cm.

Isojen lintujen laskeutumista johdinten ulottuville voidaan estää kiinnittämällä pylvään yläpuolelle poikkipienoja tai muita suojarakenteita. Istumaorsien tehokkuutta on tutkittu 14 petolintulajilla ja 548 petolintuyksilöllä Portugalissa (Sánchez ym. 2020). Orsien suosimisessa ja laskeutumispaikassa pylvään eri osiin oli lajienvälisiä eroja, mutta rakenteet pienensivät sähköiskumääriä. Chevallier'n ym. (2015) tutkimassa vuorikotkapopulaatiossa Ranskassa sähköiskuun kuoli aluksi 56 prosenttia nuorista (kokonaiskuolevuus 70 prosenttia), 51 prosenttia esiaikuisista (52 prosenttia) ja 13 prosenttia aikuisista (23 prosenttia), mutta pylväiden suojauksen jälkeen sähköiskuun kuoli nuorista enää 14 prosenttia, esiaikuisista 27 prosenttia ja aikuisista ei yhtään. Populaatio alkoikin kasvaa.

Kun Espanjassa vaarallisimmat pylvästyypit vaihdettiin turvallisempiin ja johdot poistettiin iberiankeisarikotkien pesien läheltä sekä suosituilta yöpymis-, saalistus- ja levähdyspaikoilta, kotkapopulaatio alkoi kasvaa törmäysten ja sähköiskujen vähennyttyä, vaikka johtojen yhteispituus kasvoi (López-López ym. 2011). Myös Dixon ym. (2019) totesivat erilaisten suojauskeinojen vähentäneen petolintujen sähköiskujen määrää 59–91 prosenttia Keski-Aasian aroilla. Myös Lehmanin ym. (2010) tutkimusalueella Yhdysvalloissa pylväsrakenteiden muutos pienensi sähköiskuun kuolleiden petolintujen määriä puolessa vuosikymmenessä 47 prosenttia. Hernández-Matías ym. (2015) arvioivat, että vuorikotkan törmäyksiä johtimiin olisi Etelä-Euroopassa saatava pienennettyä vähintään 40 prosenttia, jotta populaatio säilyisi varmasti elinkelpoisena.

Varpushaukka ja muut petolinnut katsovat saalistaessaan joko alas tai pakenevaa saaliseläintä, mikä altistaa ne törmäyksille johtoihin. Sparrowhawks Accipiter nisus *and other birds of prey collide relatively often with power lines when chasing prey.* Pertti Koskimies

Kirjallisuus

Avian Power Line Interaction Committee (APLIC) 2006: Suggested Practices for Avian Conservation on Power Lines: The State of the Art in 2006. – Edison Electric Institute, APLIC & the California Energy Commission. 227 s.

Avian Power Line Interaction Committee (APLIC) 2012: Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012. – Edison Electric Institute, APLIC & the California Energy Commission. 184 s.

Barrientos, R., Alonso, J. C., Ponce, C. & Palacín, C. 2011: Meta-Analysis of the Effectiveness of Marked Wire in Reducing Avian Collisions with Power Lines. – Conservation Biology 25: 893–890.

Bayle, P. 1999: Preventing birds of prey problems at transmission lines in Western Europe. – Journal of Raptor Research 33: 43–48.

Beaulaurier, D. L. 1981: Mitigation of bird collisions with transmission lines: Final report. – U.S. Department of Energy, Western Interstate Commission for Higher Education, Technical Report DOE/BP/02010-T1.

Bernardino, J., Bevanger, K., Barrientos, R., Dwyer, J. F., Marques, A. T., Martins, R. C., Shawg, J. M., Silva, J. P. & Moreira, F. 2018: Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. – Biological Conservation 222: 1–13.

Bernardino, J., Martins, R. C., Bispo, R. & Moreira, F. 2019: Re-assessing the effectiveness of wire-marking to mitigate bird collisions with power lines: A meta-analysis and guidelines for field studies. – Journal of Environmental Management 252, 109651, *https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109651*.

Bevanger, K. 1994: Bird Interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigating measures. – Ibis 136: 412–425.

Bevanger, K. 1995: Tetraonid mortality caused by collisions with power lines in boreal forest habitats in central Norway. – Fauna norvegica Ser. C., Cinclus 18: 41–51.

Bevanger, K. 1998: Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. – Biological Conservation 86: 67–76.

Bevanger, K. & Brøseth, H. 2004: Impact of power lines on bird mortality in a subalpine area. – Animal Biodiversity and Conservation 27: 67–77.

Bevanger, K. & Overskaug, K. 1995: Utility structures as a mortality factor for raptors and owls in Norway. – Teoksessa: Chancellor, R. D., Meyburg, B. U. & Ferrero, J. (toim.), Holarctic birds of prey. Proceedings of an international conference, Badajoz, Spain, 17–22 April 1995: 381–392. WWGBP, Berlin.

Bevanger, K., May, R. & Stokke, B. 2016: Dyreliv och kraftledningar. Miljø- og forsyningsmessige utfordringer. – NINA Temahefte 67: 120.

Brown, W. M., Drewien, R. C. & Bizeau, E. G. 1987: Mortality of cranes and waterfowl from power line collisions in the San Luis Valley. – Teoksessa: Lewis, J. C. (toim.), Proceedings 1985 Crane Workshop: 128–136. Platte River Whooping Crane Maintenance Trust, Grand Island, Nebraska.

Chevallier, C., Hernández-Matías, A., Real, J., Vincent-Martin, N., Ravayrol, A. & Aurélien, B. 2015: Retrofitting of power lines effectively reduces mortality by electrocution in large birds: an example with the endangered Bonelli's eagle. – Journal of Applied Ecology 52: 1465–1473.

Cigre 2022: Power system environmental performance. Interactions between Electrical Infrastructure and Wildlife. – Technical Brochure 876, 361 s.

D'Amico, M., Catry, I., Martins, R. C., Ascensão, F., Barrientos, R. & Francisco Moreira, F. 2018: Bird on the wire: Landscape planning considering costs and benefits for bird populations coexisting with power lines. – Ambio 47: 650–656.

D´Amico, M., Martins, R. C., Álvarez-Martínez, J. M., Porto, M., Barrientos, R. & Moreira, F. 2019: Bird collisions with power lines: Prioritizing species and areas by estimating potential population-level impacts. – Diversity and Distributions 25: 975–982.

Dixon, A., Rahman, L., Bold, B., Davaasuren, B., Batbayar, N. & Sugarsaikhan, B. 2019: Mitigation Techniques to Reduce Avian Electrocution Rates. – Wildlife Society Bulletin 43: 476–483.

Dwyer, J. F., Kratz, G. E., Harness, R. E. & Little, S. S. 2015: Critical dimensions of raptors on electric utility poles. – Journal of Raptor Research 49: 210–216.

Dwyer, J. F., Harness, R. E., Gerber, B. D., Landon, M. A., Petersen, P., Austin, D. D., Woodbridge, B., Williams, G. E. & Eccleston, D. 2016: Power pole density informs spatial prioritization for mitigating avian electrocution. – Journal of Wildlife Management 80: 634–642.

Eccleston, D. T. & Harness, R. E. 2018: Raptor electrocutions and power line collisions. – Teoksessa: Sarasola, H. J., Grande, J. M. & Negro, J. J. (toim.), Birds of prey: 273–302. Springer.

Erickson, W. P., Johnson, G. D. & Young, D. P. Jr. 2005: A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. – USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191: 1029–1042.

Faanes, C. A. 1987: Bird behavior and mortality in relation to power lines in prairie habitats. – Fish and Wildlife Technical Report 7. Washington, DC.

Ferrer, M. & Janss, G. (toim.) 1999: Birds and power lines. Collision, electrocution and breeding. – Querqus. 238 s.

Ferrer, M., Morandini, V., Baumbusch, R., Muriel, R., De Lucas, M. & Calabuig, C. 2020: Efficacy of different types of "bird flight diverter" in reducing bird mortality due to collision with transmission power lines. – Global Ecology and Conservation 23. *https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01130*.

Framis, H. 2001: Potential risk of raptor electrocution on power lines in Garraf Natural Park in Barcelona, Spain. – Teoksessa: Raptor Research Foundation (toim.), Abstracts of the 4th Eurasian Congress on Raptors, Seville, Spain 25–29 September 2001: 68.

Franson, J. C., Siloe, L. & Thomas, J. J. 1995: Causes of eagle deaths. – Teoksessa: LaRoe, E. T., Farris, G. S., Puckett, C. E., Doran, P. D. & Mac, M. J. (toim.): Our living resources: a report to the nation on the distribution, abundance, and health of U.S. plants, animals, and ecosystems: 68. U.S. Dept. of Interior.

Fransson, T., Jansson, L., Kolehmainen, T. & Wenninger, T. 2019: Collisions with power lines and electrocutions in birds – an analysis based on Swedish ringing recoveries 1990–2017. – Ornis Svecica 29: 37–52.

Haas, D., Nipkow, M., Fiedler, G., Handschuh, M., Schneider-Jacoby, M. & Schneider, R. 2006: Suggested Practices for Bird Protection on Power Lines. 2. p. – NABU. 21 s.

Hedfors, R. 2014: Movement ecology of Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) and risks associated with wind farm development. – Examensarbete I ämnet biologi, Department of Wildlife, Fish, and Environmental studies. 36 s.

Hernández-Lambraño, R. E., Sánchez-Agudo, J. Á. & Carbonell, R. 2018: Where to start? Development of a spatial tool to prioritise retrofitting of power line poles that are dangerous to raptors. – Journal of Applied Ecology 55: 2685–2697.

Hernández-Matías, J. R., Parés, F. & Pradel, R. 2015: Electrocution threatens the viability of populations of the endangered Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) in Southern Europe. – Biological Conservation 191: 110–116.

Hunting, K. 2002a: A Roadmap for PIER Research on Avian Collisions with Power Lines in California. – California Energy Commission Staff Report P500-02-071F.

Hunting, K. 2002b. A Roadmap for PIER Research on Avian Power Line Electrocution in California. – California Energy Commission Staff Report P500-02-072F.

Infante, S., Neves, J., Ministro, J. & Brandão, R. 2005: Impact of Distribution and Transmission Power Lines on Birds in Portugal. – Castelo Branco.

Janss, G. F. E. & Ferrer, M. 2000: Common crane and great bustard collision with power lines: collision rate and risk exposure. – Wildlife Society Bulletin 28: 675–680.

Janss, G. F. E. & Ferrer, M. 2001: Avian electrocution mortality in relation to pole design and adjacent habitat in Spain. – Bird Conservation International 11: 3–12.

Jenkins, A. R., Smallie, J. J. & Diamond, M. 2010: Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. – Bird Conservation International 20: 263–278.

Kalz, B., Knerr, R., Brennenstuhl, E., Kraatz, U., Dürr, T. & Stein, A. 2015: Wirksamkeit von Vogelschutzmarkierungen an einer 380-kV Freileitung im Nationalpark Unteres Odertal. – Naturschutz und Landschaftsplanung 47: 109–116.

Koops, F. B. J. 1987: Collision victims of high-tension lines in the Netherlands and effects of marking. – KRMA Report 01282-MOB 86-3048.
Koskimies, P. 2007: Voimajohtoaukeiden pesimälinnusto Etelä-Suomessa. – Linnut-vuosikirja 2006: 122–128.
Koskimies, P. 2009: Voimajohtoaukeiden arvokkaat lintualueet: suojeluarvon ja törmäysriskin arviointi. – Tutkimusraportti Fingrid Oyj:lle. Helsinki. 121 s.
Koskimies, P. 2011: Pomarkun Isonevan linnusto ja lintujen törmäysriski voimajohtoon. – Satakunnan Linnut 43: 6–29.
Koskimies, P. 2017: Lintujen törmäysriski voimajohtoihin. – Linnut-vuosikirja 2016: 108–111.
Koskimies, P. 2024: Linnut voima- ja sähköjohdoilla. Kirjallisuuskatsaus lintujen ja erityisesti petolintujen törmäys- ja sähköiskuriskistä voima- ja sähköjohdoilla. – Raportti Fingrid Oyj:lle 26.3.2024. 67 s.
Koskimies, P., Kuntsi, V., Metsänen, T., Niiranen, S. & Toiminen, P. 2008: Hyvinkään Ritassaarensuon voimajohtojen vaikutus linnustoon. – Tutkimusraportti Fingrid Oyj:lle. Helsinki. 52 s.
Koskimies, P. & Nieminen, M. 2024: Natura-arviointi Siikaisten Santakankaan tuuli- ja aurinkovoimahankkeen vaikutuksista Haapakeitaan Natura-alueeseen. – Faunatican raportteja 9/2024. 69 s.
Lehman, R. N. 2001: Raptor Electrocution on Power Lines: Current Issues and Outlook. – Wildlife Society Bulletin 29: 804–813.
Lehman, R. N., Kennedy, P. L. & Savidge, J. A. 2007: The state of the art in raptor electrocution research: A global review. – Biological Conservation 136: 159–174.
Lehman, R. N., Savidge, J. A., Kennedy, P. L. & Harness, R. E. 2010: Raptor Electrocution Rates for a Utility in the Intermountain Western United States. – Journal of Wildlife Management 74: 459–470.
López-López, P., Ferrer, M., Madero, A., Casado, E. & McGrady, M. 2011: Solving Man-Induced Large-Scale Conservation Problems: The Spanish Imperial Eagle and Power Lines. – PLoS ONE 6(3): e17196. *https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017196*.
Loss, S. R., Will, T. & Marra, P. P. 2014: Refining Estimates of Bird Collision and Electrocution Mortality at Power Lines in the United States. – PLoS ONE 9 (7): e101565. *https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101565*.
Loss, S. R., Will, T. & Marra, P. P. 2015: Direct mortality of birds from anthropogenic causes. – Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 46: 99–120.
Luzenski, J., Rocca, C. E., Harness, R. E, Cummings, J. L., Austin, D. D., Landon, M. A. & Dwyer, J. F. 2016: Collision avoidance by migrating raptors encountering a new electric power transmission line. – The Condor 118: 402–410.
Mañosa, S. & Real, J. 2001: Potential negative effects of collisions with transmission lines on a Bonelli's Eagle population. – Journal of Raptor Research 35: 247–252.
Manville, A. M. 2005: Bird Strikes and Electrocutions at Power Lines, Communication Towers, and Wind Turbines: State of the Art and State of the Science – Next Steps Toward Mitigation. – USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191: 1051–1064.
Martin, G. R. & Shaw, J. M. 2010: Bird collisions with power lines: Failing to see the way ahead? – Biological Conservation 143: 2695–2702.
Mathiasson, S. 1999: Swans and electrical wires, mainly in Sweden. – Teoksessa: Ferrer, M. & Fanss, G. F. E., Birds and Power Lines. Collisions, Electrocution, and Breeding: 83–111. Quercus, Madrid.
Meyer, J. R. 1978: Effects of Transmission Lines on Bird Flight Behavior and Collision Mortality. – Bonneville Power Administration. 200 s.
Mojica, E. K., Eccleston, D. T. & Harness, R. E. 2022: Importance of Power Pole Selection When Retrofitting for Eagle Compensatory Mitigation. – Journal of Fish and Wildlife Management 13: 286–294.
Mojica, E. K, Watts, B. D., Paul, J. T., Voss, S. T. & Pottie, J. 2009: Factors contributing to Bald Eagle electrocutions and line collisions on Aberdeen Proving Ground, Maryland. – Journal of Raptor Research 43: 57–61.
Mojica, E. K., Dwyer, J. F., Harness, R. E. Williams, G. E. & Woodbridge, B. 2018: Review and synthesis of research investigating golden eagle electrocutions. – The Journal of Wildlife Management 82: 495–506.
Moss, E. H. R., Hipkiss, T., Ecke, F., Dettki, H., Sandström, P., Bloom, P. H., Kidd, J. W., Thomas, S. E. & Hörnfeldt, B. 2014: Home range size and examples of non-breeding movements for adult Golden Eagles during the breeding season in boreal Sweden. – Journal of Raptor Research 48: 93–105.
Murphy, R. K., McPherron, S. M., Wright, G. D. & Serbousek, K. L. 2009: Effectiveness of avian collision averters in preventing migratory bird mortality from powerline strikes in the central Platte River, Nebraska. 2008–2009 Final report. – Department of Biology, University of Nebraska. 34 s.
Murphy, R. K., Mojica, E. K., Dwyer, J. F., McPherron, M. M., Wright, G. D., Harness, R. E., Pandey, A. K. & Serbousek, K. L. 2016: Crippling and nocturnal biases in a study of Sandhill crane (*Grus canadensis*) collisions with a transmission line. – Waterbirds 39: 312–317.
Newton, I. 2007: The migration ecology of birds. – Elsevier. 984 s.
Paquet, J.-Y., Swinnen, K., Derouaux, A., Devos, K. & Verbelen, D. 2022: Sensitivity mapping informs mitigation of bird mortality by collision with high-voltage power lines. – Teoksessa: Santos, S., Grilo, C., Shilling, F., Bhardwaj, M. & Papp, C. R. (toim.), Linear Infrastructure Networks with Ecological Solutions. Nature Conservation 47: 215–233.
Pavón-Jordán, D., Stokke, B. G., Åström, J., Bevanger, K., Hamre, Ø., Torsæter, E. & May, R. 2020: Do birds respond to spiral markers on overhead wires of a high-voltage power line? Insights from a dedicated avian radar. – Global Ecology and Conservation 24, e01363. *https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01363*.
Rioux, S., Savard, J.-P. L. & Gerick, A. A. 2013: Avian mortalities due to transmission line collisions: a review of current estimates and field methods with an emphasis on applications to the Canadian electric network. – Avian Conservation & Ecology 8: 7. *http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00614-080207*.
Rollan, A., Real, J., Bosch, R., Tinto, A. & Hernández-Matiás, A. 2010: Modelling the risk of collision with power lines in Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* and its conservation implications. – Bird Conservation International 20: 1–16.
Sánchez, R., Sánchez, J., Oria, J. & Guil, F. 2020: Do supplemental perches influence electrocution risk for diurnal raptors? – Avian Research 11: 20. *https://doi.org/10.1186/s40657-020-00206-9*.
Saurola, P., Valkama, J. & Velmala, W. 2013: Suomen rengastusatlas I. – Luonnontieteellinen keskusmuseo & ympäristöministeriö. 551 s.
Schaub, M., Aebischer, A., Gimenez, O., Berger, S. & Arletta, R. 2010: Massive immigration balances high anthropogenic mortality in a stable eagle owl population: Lessons for conservation. – Biological Conservation 143: 1911–1918.
Scott, R. E., Roberts, L. J. & Cadbury, C. J. 1972: Bird deaths from power lines at Dungeness. – British Birds 65: 273–286.
Sergio, F., Marchesi, L., Pedrini, P., Ferrer, M. & Penteriani, V. 2004: Electrocution alters the distribution and density of a top predator, the eagle owl *Bubo bubo*. – Journal of Applied Ecology 41: 836–845.
Shobrak, M. 2013: Electrocution and collision of birds with power lines in Saudi Arabia. – Zoology in the Middle East 57: 45–52.
Shobrak, M., Alasmari, S., Alqthami, A., Alqthami, F., Al-Otaibi, A., Al Zoubi, M., El Moghrabi, L., Jbour, S., Asswad, N. G., Oppel, S., Arkumarev, V. & Nikolov, S. 2021: Electric infrastructure poses a significant threat at congregation sites of the globally threatened Steppe Eagle *Aquila nipalensis* in Saudi Arabia. – Bird Conservation International 31: 1–9.
Singh, N. J., Moss, E., Hipkiss, T., Ecke, F., Dettki, H., Sandström, P., Bloom, P., Kidd, J., Thomas, S. & Hörnfeldt, B. 2016: Habitat selection by adult Golden Eagles *Aquila chrysaetos* during the breeding season and implications for wind farm establishment. – Bird Study 63: 233–240.
Stjernberg, T., Koivusaari, J., Högmander, J., Ollila, T., Keränen, S., Munsterhjelm, G. & Ekblom, H. 2007: Suomen merikotkat 2005–2006. – Linnut-vuosikirja 2006: 14–20.
Stjernberg, T., Koivusaari, J., Högmander, J., Ollila, T., Keränen, S., Munsterhjelm, G. & Ekblom, H. 2009: Suomen merikotkat 2007–2008. – Linnut-vuosikirja 2008: 14–21.
Tikkanen, H., Rytkönen, S., Karlin, O.-P., Ollila, T., Pakanen, V.-M., Tuohimaa, H. & Orell, M. 2018: Modelling Golden Eagle habitat selection and flight activity in their home ranges for safer wind farm planning. – Environment Impact Assessment Review 71: 120–131.
Tintó, A., Real, J. & Mañosa, S. 2010: Predicting and Correcting Electrocution of Birds in Mediterranean Areas. – The Journal of Wildlife Management 74: 1852–1862.
Valkama, J., Saurola, P., Lehikoinen, A., Lehikoinen, E., Piha, M., Sola, P. & Velmala, W. 2014: Suomen rengastusatlas II. – Luonnontieteellinen keskusmuseo & ympäristöministeriö. 784 s.
Whitfield, D. P., Fielding, A. H., McLeod, D. R. A. & Haworth, P. F. 2008: A conservation framework for golden eagles: implications for their conservation and management in Scotland. – Scottish Natural Heritage Commissioned Report No.193 (ROAME No. F05AC306).

Summary: Birds and power lines – A review of collision and electrocution risks

■ Bird collision and electrocution risks with power lines are reviewed mainly from European and North American literature. The main topics include properties and behaviour of bird species increasing these risks, the effect of habitat and structure of a power line, the number of dead or injured individuals, and mitigation of collisions and electrocutions. Birds of prey are discussed in more detail. Table 1 shows the estimated relative risk of collision with power lines of the bird orders and some families breeding in Finland.

Viittaamisohje *To be cited*

Koskimies, P. 2024: Linnut voima- ja sähköjohdoilla – Kirjallisuuskatsaus törmäys- ja sähköiskuriskistä. – Linnut-vuosikirja 2023: 156–163.

Koskimies, P. 2024: Birds and power lines – A review of collision and electrocution risks. – Linnut-vuosikirja 2023: 156–163.