

Kädva tuulepargi linnustiku hukkumisriski arvutused KSH aruande juurde

Sissejuhatus

Arvutus põhineb NatureScoti uuendatud maismaatuuleparkide kokkupõrkeriski mudeli juhendil ja Band (2024) Research Report 909 metoodikal. Mudel eristab lennuaktiivsuse määramist (etapp A), potentsiaalsete rootoriläbimiste arvu (etapp B), ühe rootoriläbimise kokkupõrketõenäosust (etapp C), tuuliku töötavust (etapp D) ja vältimiskäitumist (etapp E). Kõik modelleeritud kokkupõrked käsitletakse hukkumisena.

Käesolevas arvutuses kasutati hiireviu, sookure, väike-konnakotka ja kiivitaja puhul NatureScoti soovitatud tuulikupõhist lähiümbruse arvutusala meetodit. Hukkumisriski arvutuse aluseks olev lennuaktiivsus tuletati iga kavandatava tuuliku vahetust lähiõhuruumist, mitte kogu vaatluspunkti vaateala keskmisest. Tuuliku lähiümbruse arvutusala raadius tuuliku keskpunktist on rootori raadius + 500 m. Haneliste puhul kasutati eraldi rändelindude arvutusmeetodit.

Hukkumisriski arvutuse lähtekohad

Lähteandmetena kasutati Kädva tuulepargi 2024. aasta linnustiku-uuringu ¹ punktvaatluste kaardikihti, punktvaatluste vaatluspunktide vaatealade kaardikihti ja kavandatavate tuulikute asukohti august 2026 planeeringulahendusest lähtuvalt. Arvulisse hinnangusse kaasati liigid või liigirühmad, mille kohta oli vähemalt 10 punktvaatluse kirjet. Väiksema arv vaatlusi iseloomustab juba iseenesest madalat hukkumisriski ja ei võimalda hukkumisriski mudeli usaldusväärset kvantitatiivset arvutust. Väljaspool punktvaatluste aega tehtud juhuvaatlusi kvantitatiivsesse arvutusse ei kaasatud.

Liik/rühm	Punktvaatluste kirjeid	Tuuliku lähiümbruse arvutusala ulatunud eri lennutrajektoore
Hiireviu	112	10
Hanelised	72	Kasutati rändemudelit, lähiümbruse lennutrajektoore arv ei ole oluline
Sookurg	27	1
Väike-konnakotkas	11	1
Kiivitaja	12	0

Põhipunkti (7,38 km²), alapunkti 1a (9,02 km²) ja tugipunkti (4,71 km²) vaatealasid kasutati tuulikute lähiümbruse arvutusala tegelikult nähtava osa määramiseks. Lennutihedus arvutati iga tuuliku, kuu ja vaatluspunkti kohta eraldi kujul $D_a = b/(t \times A)$, kus b on vastava vaatluspunkti vaatealas ja tuuliku lähiümbruse arvutusala registreeritud linnusekandidid, t vaatlustöö kestus ja A vastav nähtav pindala. Kui tuuliku lähiümbruse arvutusala oli nähtav mitmest vaatluspunktist, ühendati vaatluspunktide lennutihedused NatureScot Research Report 909 lisa 6 põhimõtte kohaselt $v(t \times A)$ -kaalutud keskmisena. Kui lennutrajektoor läbis arvutusala vaid osaliselt, arvestati lennu kestust arvutusala jäänud trajektooria pikkuse proportsioonis. Riskikõrgusel lendamise osakaal Q_2R arvutati samade arvutusala jäänud lennuloikude põhjal konkreetse tuuliku tegeliku rootorikõrguse suhtes. Tugipunkti andmeid

¹ Midge OÜ. 2024. Linnustiku inventuuri lõpparuanne Kädva tuulepargi arendusalal.

kasutati tuulikupõhises arvutuses juhul, kui vastava tuuliku arvutusala kattus tugipunkti vaatealaga; haneliste rändemudelis tugipunkti ei kasutatud.

Arvutusala vaatluskatvus näitab, kui suur osa vastava tuuliku lähiümbruse arvutusalast jäi vähemalt ühe vaatluspunkti vaatealasse. Katvuse määramisel kasutati vaatealade ühendpindala, mistõttu omavahel kattuvat vaateala ei arvestatud topelt. Lennutihedus arvutati ainult tegelikult nähtava pindala alusel; seetõttu ei vähenda osaline katvus tulemust, kuid väiksema katvusega positsioonide hinnangu määramatus on suurem.

Vaatluskoormus

Kuu	Põhipunkt, h	Alapunkt 1a, h	Tugipunkt, h
märts	5,92	6,10	0
aprill	12,08	6,00	0
mai	11,92	6,00	0
juuni	6,00	0	3,00
juuli	3,00	1,00	1,08
august	1,52	0	1,00
september	6,52	8,75	0
oktoober	16,83	4,50	0
november	0	2,00	0

Tuulikute tehnilised ja ruumilised sisendid

Pos	Tipukõrgus, m	Roor, m	Rumm, m	Riskikõrgus, m	Lähiümbruse arvutusala raadius, m	Katvus
1	250	175	162,5	75-250	587,5	100,0%
2	237	175	149,5	62-237	587,5	83,1%
3	206	175	118,5	31-206	587,5	51,4%
5	250	175	162,5	75-250	587,5	80,4%
6	175	130	110,0	45-175	565,0	48,8%
7	250	175	162,5	75-250	587,5	100,0%
8	250	175	162,5	75-250	587,5	77,0%
9	250	175	162,5	75-250	587,5	67,5%

Pos	Tipukõrgus, m	Rooror, m	Rumm, m	Riskikõrgus, m	Lähiümbruse arvutusala raadius, m	Katvus
12	250	175	162,5	75-250	587,5	90,5%

Positsioonidel 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9 ja 12 kasutati Nordex N175 175 m rootorit. Positsioonil 6 arvestati 130 m rootoriga ja 175 m tipukõrgusega madalamat tuulikut. Pos 6 täpne tuulikumudel ei ole määratud; etapi C tehniliste parameetrite osas kasutati konservatiivse lähendina sama pöörlemiskiiruse, laba laiuse ja laba seadenurga sisendeid nagu N175 puhul.

Üldised arvutusparameetrid

Arvutusparameeter	Kasutatud väärtus
Labade arv	3
Roorori pöörlemiskiirus	10,85 rpm (konservatiivne maksimum)
Maksimaalne laba laius	4,53 m
Keskmine laba seadenurk	15°
Laba kitsenemise profiil	NatureScoti vaikimisi 5 MW profiil
Tuuliku töötavus Qop	85%
Vastu-/allatuult lendude osakaal	50% / 50%
Suure tuulikupargi korrigeerimine	Ei

Liigipõhised sisendid

Liik/rühm	Pikkus, m	Tiivaulatus, m	Lennukiirus, m/s	Lennustiil	Vältimismäär
Hiireviu	0,54	1,20	11,6	liuglend	98%
Sookurg	1,15	2,15	13,6	tiivalöökidega lend	98%
Väike-konnakotkas	0,61	1,57	9,16	liuglend	98%
Kiivitaja	0,30	0,84	12,8	tiivalöökidega lend	98%
Hanelised*	0,72	1,48	16,1	tiivalöökidega lend	99,8%

* Haneliste etapi C arvutuses kasutati suur-laukhane biomeetria.

Hiireviu

Hiireviu kohta oli arvutusse kaasatud punktvaatluste kaardikihil 112 lennukirjet. Neist kümme arvutuseks vajalike kestuse ja lennukõrguse andmetega eri lennutrajektoori ulatus vähemalt ühe kavandatava tuuliku lähiümbruse arvutusalas. Riskikõrgusel panustasid hukkumiskirje arvutusse kuus trajektoori. Suur vaatluste arv on ootuspärane, kuna uuringualal tuvastati mitu hiireviu territooriumi. Riskikõrgusel lennuaktiivsus koondus valdavalt juulisse ning eeskätt positsioonide 12 ja 7 lähiõhuruumi

Tuuliku positsioon	Hinnanguline hukkumissagedus, is/a
12	0,668
7	0,425

Tuuliku positsioon	Hinnanguline hukkmisagedus, is/a
1	0,115
9	0,032
8	0,019
3	0,019
2	0,015
6	0,014
5	0,000

Hinnang. Kogu tuulepargi tuulikupõhise lähiümbruse arvutuse järgi on hiireviu hinnanguline hukkmisagedus ligikaudu 1,31 isendit aastas. Ligikaudu 84% modelleeritud riskist seondub positsioonidega 12 ja 7.

Sookurg

Sookure kohta oli punktvaatluste kaardikihil 27 kirjet, millest 22 olid positiivse lennukestusega. Üks arvutuseks vajalike kestuse ja lennukõrguse andmetega lennutrajektor ulatus vähemalt ühe kavandatava tuuliku lähiümbruse arvutusalasasse. Riskikõrgusel lennuaktiivsus registreeriti aprillis üksnes positsiooni 1 lähiõhuruumis.

Tuuliku positsioon	Hinnanguline hukkmisagedus, is/a
1	0,002

Hinnang. Kogu tuulepargi tuulikupõhise lähiümbruse arvutuse järgi on sookure hinnanguline hukkmisagedus ligikaudu 0,002 isendit aastas (arvutuslik väärtus 0,002 is/a).

Väike-konnakotkas

Väike-konnakotka kohta oli punktvaatluste kaardikihil 12 lennuvaatlust. Neist 11 olid arvutusse kaasatud punktvaatluste kirjed ning üks 25. juunil registreeritud juhuvaatlus, mida arvutusse ei kaasatud. Arvutusse kaasatud vaatlustest ulatus ainult üks lennutrajektor kavandatavate tuulikute lähiümbruse arvutusalasadesse. Tegemist oli 4. oktoobril registreeritud kahe linna 1600 sekundi pikkuse lennuga kõrgusel 200 m, mis läbis positsioonide 7 ja 12 lähiõhuruumi. Kõik ülejäänud arvutusse kaasatud väike-konnakotka lennud jäid tuulikute lähiümbruse arvutusalasdest välja.

Tuuliku positsioon	Hinnanguline hukkmisagedus, is/a
7	0,064
12	0,033

Hinnang. Kogu tuulepargi tuulikupõhise lähiümbruse arvutuse järgi on väike-konnakotka hukkmisagedus 0,097 isendit aastas. Arvutus põhineb sisuliselt ühel tuulikute lähiümbruse arvutusalasasse sisenenud väljaspool pesitsusperioodi toimunud lennul ning on seetõttu suure määramatusega.

Kiivitaja

Kiivitaja kohta oli punktvaatluste kaardikihil 12 kirjet, millest 10 olid lennukestusega. Ükski registreeritud kiivitaja lennutrajektor ei ulatunud ühegi kavandatava tuuliku lähiümbruse arvutusalasasse. Seetõttu on olemasolevate punktvaatluste põhjal tuulikupõhise lähiümbruse arvutuse hukkmisagedus 0,00 isendit aastas.

Hanelised

Haneliste puhul kasutati tavapärase pindalalise lennutiheduse asemel NatureScoti rändelindude meetodit, sest vaatlused kajastasid valdavalt kevad- ja sügisrännet. Haneliste rändemudelil kasutatakse rändeperioodi kogurändevoogu ja rändefrondi laiust, mistõttu ei arvutata lennuaktiivsust samal viisil üksikute tuulikute lähiümbruse arvutusala põhjal. Arvutuses käsitleti kõiki 72 haneliste lennukirjet eraldi vaatlustena. Haneliste rühma arvati määramata haned (*Anser* sp.), suur-laukhaned, rabahaned ja valgepõsk-lagled. Etapi C arvutuses kasutati suur-laukhane biomeetriat ja 99,8% vältimismäära.

Põhipunkti rändemudelil kasutati kevadel 902 ja sügisel 1243 vaadeldud hanelist ning alapunktis 1a kevadel 1347 ja sügisel 675 vaadeldud hanelist. Rändemudeli ruumilisel rakendamisel kasutati positsiooni 6 puhul põhipunkti ning ülejäänud positsioonide puhul alapunkti 1a rändevoo intensiivsust. Riskikõrgusel lendamise osakaalud kohandati tuulikute tegelike rootorikõrguste järgi.

Hinnang. Kogu tuulepargi arvutuslik haneliste hukkumissagedus on ligikaudu 3,13 isendit aastas.

Koondhinnang

Olulisuse lävendi käsitlus

Arvutuslike hukkumissageduste olulisuse indikaativseks võrdluskriteeriumiks kasutati põhimõtet: tuuleparkide põhjustatud lisasuremus ei tohiks ületada ligikaudu 1% täiskasvanud isendite looduslikust aastasest suremusest. Kumulatiivse mõju arvestamiseks jagati Eesti tasandi lubatav lisasuremus konservatiivselt 300 võimaliku lisanduva maismaatuuliku vahel ning Kädva 9-tuulikulise pargi lävend saadi valemiga $2 \times \text{pesitsuspaaride arvu alumine hinnang} \times \text{aastane suremus} \times 0,01 / 300 \times 9$.

Liik	Eesti arvukus / suremus	9 tuuliku lävend, is/a	Arvutuslik hukkumissagedus, is/a	Läveni täitmine
Hiireviu	7 500-9 000 paari / 24%	1,08	1,294	üle lävendi, valdav osa riskist tuleneb piiratud kestusega suviste vaatluste põhjal kogu kuule ekstrapoleeritud lennuaktiivsusest.
Sookurg	7 000-8 000 paari / 11%	0,46	0,002	alla lävendi
Väike-konnakotkas	600-700 paari / 12%	0,043	0,097	arvutuslikult üle lävendi, kuid arvutus põhineb ühel sügisesel vaatlusel. Planeeringus on tuulikute asukohtade valikul oluliselt sobilikku ala vähendatud, tagades väike-konnakotka pesade suhtes üle 2 km suuruse vahemaa ja vältides kõiki pesitsusaegsete vaatluste asukohti.
Kiivitaja	30 000-45 000 paari / 20%	3,60	0,00	alla lävendi

Määramatus ja järeldused

Tuulikupõhine lähiümbruse arvutus arvestab registreeritud lennutrajektooride paiknemist konkreetsete tuulikute suhtes ega kanna kogu vaateala keskmist lennutihedust automaatselt üle kõigile tuulikutele. Selline lähenemine vastab planeeringulahendusele, kus tuulikutele sobivat ala on linnustikuandmetest lähtudes oluliselt vähendatud.

Tulemuste tõlgendamisel tuleb arvestada, et positsioonide 3 ja 6 lähiümbruse arvutusalaadest oli vaatealadega kaetud vastavalt ligikaudu 51% ja 49%. Hiireviu riskist 96,6% tuleneb juulist ning põhineb täielikult 26. juulil lühikese vaatlusperioodi jooksul registreeritud lendudel. Seetõttu on hiireviu hukkmisageduse 1,294 is/a hinnang suure määramatusega ja võib olla üle hinnatud. Väike-konnakotka tulemus 0,097 is/a põhineb ühel 4. oktoobril registreeritud kahe linna lennul ega iseloomusta ala regulaarset pesitsusaegset kasutust.

Automaatse linnutuvastuse ja tuulikute juhtimise süsteemi rakendamine on soovitatav eeskätt positsioonidel 7 ja 12, millega seondub ligikaudu 84% hiireviu ning kogu väike-konnakotka modelleeritud riskist. Tuulepargi kasutusaegne linnustiku seire on vajalik mudeliproгноoside kontrollimiseks ja vajaduse korral meetmete täpsustamiseks. Avaldatud uuringutes on röövlindude hukkmise vähenemist automaatse turbiinide seiskamise rakendamisel hinnatud ligikaudu 82–85% suurusjärku^{2, 3}.

Kasutatud allikad

Band, W. 2024. Using a collision risk model to assess bird collision risks for onshore wind farms. NatureScot Research Report 909.

Eesti linnudirektiivi artikli 12 aruandluse liikide andmestik 2019-2024. BDart12Species.

Giscquel, M. et al. 2026. Age-specific survival estimation of a Eurasian crane population highlights a long-term decline in juvenile survival. Ecology and Evolution.

Jonker, R. M., Chakarov, N. & Krüger, O. 2014. Climate change and habitat heterogeneity drive a population increase in Common Buzzards *Buteo buteo* through effects on survival. Ibis 156(1): 97-106.

McClure, C.J., Rolek, B.W., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L., and Katzner, T.E., 2022, Confirmation that eagle fatalities can be reduced by automated curtailment of wind turbines: Ecological Solutions and Evidence, v. 3, no. 3, e12173. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70236273>

Mercker, M. 2025. *Supplementary test sea eagle AVES-Wind Onshore – Statistical assessment of the anti-collision system “AVES-Wind Onshore” for the white-tailed eagle against the background of the LfU-AKS test framework and the KNE checklist*. Bionum GmbH / ProTecBird, 11.04.2025.

Midges OÜ. 2024. Linnustiku inventuuri lõpparuanne Kädva tuulepargi arendusalal.

NatureScot. 2024. Collision risk model for onshore wind farms spreadsheet. Version 2 (2024).

NatureScot. 2024. Guidance on using an updated collision risk model to assess bird collision risk at onshore wind farms. <https://www.nature.scot/doc/guidance-using-updated-collision-risk-model-assess-bird-collision-risk-onshore-wind-farms>

NatureScot. 2024. Research Report 909, Annex 3: Assessing collision risks for birds on migration.

NatureScot. 2024. Research Report 909, Annex 6.

² McClure, C.J., Rolek, B.W., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L., and Katzner, T.E., 2022, Confirmation that eagle fatalities can be reduced by automated curtailment of wind turbines: Ecological Solutions and Evidence, v. 3, no. 3, e12173. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70236273>

³ Mercker, M. 2025. *Supplementary test sea eagle AVES-Wind Onshore – Statistical assessment of the anti-collision system “AVES-Wind Onshore” for the white-tailed eagle against the background of the LfU-AKS test framework and the KNE checklist*. Bionum GmbH / ProTecBird, 11.04.2025.

NatureScot. 2025. Wind farm impacts on birds - Use of Avoidance Rates in the NatureScot Wind Farm Collision Risk Model.

Souchay, G. & Schaub, M. 2016. Investigating Rates of Hunting and Survival in Declining European Lapwing Populations. PLOS ONE 11(9): e0163850.

Väli, Ü. & Rohtla, F. 2025. Apparent survival and population turnover in a long-lived generalist raptor: A comparison of estimation methods. Basic and Applied Ecology 82: 28-34.