



Pikaajalised muutused käo (*Cuculus canorus*) rändefenoloogias harrastusteaduse andmete alusel

Riho Marja^{1,2,*}, Tiiu Tali¹, Jaanus Elts¹

¹ Eesti Ornitoloogiaühing, Veski 4, 51005, Tartu

² HUN-REN Centre for Ecological Research, Institute of Ecology and Botany, „Lendület“ Landscape and Conservation Ecology, Alkotmány u. 2-4, 2163, Vácrátót, Hungary

Kokkuvõte

Artiklis antakse ülevaade käo (*Cuculus canorus*) saabumisaja muutumisest Eestis viimase 157 aasta (1865–2022) jooksul. Analüüsiks kasutasime struktuurvõrrandite mudelit, mis võttis arvesse nii aasta kui ka kliimamuutuste mõju. Saadud tulemuste alusel leidsime, et käo kevadine saabumine Eestisse sõltus statistiliselt usaldusväärselt nii aastast kui ka maakera globaalsest keskmisest temperatuurist, mis on uurimisperioodil statistiliselt usaldusväärselt tõusnud. Meie uuringu andmetel on käo saabumine Eestisse tänapäeval ligikaudu kaks nädalat varasem võrreldes uuritava perioodi algusajaga. Uutes uuringutes tasuks käo saabumist käsitleda koos peamiste sulasliikide saabumisega, et selgitada veelgi täpsemini liigi saabumisfenoloogiat.

Sissejuhatus

Kägu (*Cuculus canorus*) on Eestis laialt levinud harilik haudelind, kes puudub pesitsejana vaid väikestel merelaidudel (Kuus 2018). Käo arvukus on Eestis püsinud üldiselt stabiilne perioodil 1984–2021, ehkki viimasel kümnel aastal on täheldatav kerge langustrend (Keskkonnaagentuur 2023). Liigi levik kahe lindude levikuatlaseperioodi vahel 1976–1982 ja 2003–2009 muutunud ei

ole (Kuus 2018). Eestis elab ligikaudu 30 000–40 000 tinglikku käopaari (laulvate isaslindude arv, Elts *et al.* 2019). Kägu on kaugrändur, kes talvitub troopilises Sahara-taguses Aafrikas (Erritzøe *et al.* 2012). Eestisse saabub liik harilikult aprilli lõpus või mai alguses ja lahkub tavaliselt augustis-septembris.

Kägu on suhteliselt väike putuktoiduline lind, kelle kehamass on 100–147g (Kumari 1954). Nii väikesele linnule sobivad raadiosaatjaid hakati tootma alles viimastel aastatel, mispärast oli selle liigi

rändefenoloogia uurimine piirdunud kuni käesoleva sajandini vaatluste ja rõngastusandmetega. Vaatlusandmed võivad sisaldada vigu, sest linnud ei pruugi alustada laulmist ("kukkumist") kohe pärast saabumist ning mittehäälitsevaid isendeid võib olla vaatelejal raskem tähele panna. Alles viimaste aastate jooksul on teadlaste kasutusse jõudnud piisavalt väikesed GPS-GSM raadiosaatjad, mis võimaldavad täpselt jälgida isendite liikumisi (Hewson *et al.* 2016, Davies *et al.* 2023).

Møller kolleegidega (Møller *et al.* 2008) näitas, et populatsioonide arvukust mõjutavad tegurid võivad aja jooksul muutuda ja praegu aset leidvad kliimamuutused mõjuvad ohustatud rändlindudele järjest negatiivsemalt. Kliimamuutus on aga vaid üks paljudest teguritest, mis mõjutab lindude arvukust. Näiteks kasutavad Suurbritannia käod sügisrändel kahte selgelt eristuvat rändeteed, mis omakorda erinevad ohtlikkusest, st isendite hukkumiste poolest (Hewson *et al.* 2016). Sellised mitme rändeteede kasutamised ühe populatsiooni poolt võivad olla sagedasemad kui varem arvatud, sest vaid rõngastusandmetele tuginedes võivad paljud kasutatavad rändeteed jääda märkamata. Hewson jt (2016) rõhutavad, et varasemad rõngastusandmed näitasid vaid idapoolse rändeteede olemasolu – alles kaasaegsete GPS jälgimisseadmetega tõestati läänepoolne rändeteede. Tulemustest selgus, et nendel isenditel, kes kasutavad lühemat rändeteede Sahara kõrbe ületamisel, on oluliselt suurem suremus. Lühemat rändeteede kasutavate isendite suurem suremus aga põhjustas kogu vastava

piirkondliku populatsiooni arvukuse kahanemise.

Arvatakse, et osade linnuliikide kevadise saabumisaja varasemaks nihkumine on seotud keskkonnatingimuste muutumisega nende talvitus- ja peatusaladel (Gordo & Sanz 2005) ja kliimamuutustest tingitud rände evolutsiooniline muutus (ingl. *climate-driven evolutionary change*) nihkus varasemaks (Jonzén *et al.* 2006). Seega on põhjust arvata, et rändefenoloogia muutuste põhjuste otsimisel ei tohi piirduda vaid temperatuurimuutuste uurimisega pesitsusaladel (Crick 2004; Lehikoinen *et al.* 2004) ning olulist rolli osade kaugrändurite fenoloogias võivad mängida ka sademete hulga muutused Lääne-Aafrikas (Gordo & Sanz 2008). Näiteks kuni 1980ndateni kannatas Saheli piirkond erakordsete põudade all ja alles nüüd on märgata nende mõjude taandumist (Hulme *et al.* 2001; Nicholson 2001). Viimasel ajal selles piirkonnas suurenenud sajuhulgad kajastuvad ka taimkatte indeksi (*normalized difference vegetation index*, NDVI) väärtuste tõusus (Eklundh & Olsson 2003; Herrmann *et al.* 2005).

Seni pole üheselt selge, kas ka käo puhul on rändeaja varasemaks nihkumine viinud vastuoludeni pesitsusaegsete ressursside saadavuses ja sulasliikide pesitsusfenoloogias (Saino *et al.* 2009, Douglas *et al.* 2010). Käo puhul on näidatud, et lühimaaränduritest sulasliigid, kuid mitte pikamaarändurid, hakkasid varem pesitsema ja see mõjus negatiivselt käo arvukusele (Saino *et al.* 2009). Samas ei pruugi fenoloogiline ebakõla avalduda kõigis populatsioonides samamoodi,

sest kevade areng põhjapoolkeral on muutunud eri laiuskraadidel erinevalt. Teiseks oluliseks ressursiks on toit. Täiskasvanud kägude meelisteduks on suurliblikate röövikud. Suurbritannias tehtud uuring näitas, et just suurliblikate arvukuse langus oli piirkonniti üheks käo arvukuse languse põhjuseks. Nimelt eelistasid käod selliseid alasid, kus kevadel oli suurliblikate lendlus aktiivsem ning seega oli oodata ka nende röövikute kõrgemat arvukust suvel (Denerley *et al.* 2018). Sama allika järgi on seepärast oluline lisada põllumajanduse keskkonnatoetustesse meetmeid, mis tõstaksid suurliblikate arvukust.

Eestis on kägu seni tagasihoidlikult uuritud. Peamiselt on tähelepanu pööratud käo fenoloogiale (Sepp *et al.* 2011, Palm *et al.* 2017). Käo arvukuse hindamist on uurinud Asko Lõhmus (Lõhmus 2022). Lemming Rootsmäe selgitas välja ja tegi 1986. aastal ülevaate käo sulasliikidest Eestis (Rootsmäe 1986). Käesoleva artikli eesmärk on uurida käo kevadise saabumisaja võimalikku muutust Eestis maksimaalselt pika aegrea – 157 aasta – vältel (vahemikus 1865–2022).

Materjal ja meetodika

Uuringu algmaterjaliks on Eestisse saabuvate kägude (varaseim saabumiskuupäev antud aastal) fenoandmestik aastatest 1865–2008 (Meitern *et al.* 1991 ja Eesti Ornitoloogiaühingu fenoaatluste andmebaas) ja juhuvaatlused aastatest 2009–2022 andmebaasi PlutoF alusel (PlutoF 2024). Tegemist on unikaalse andmestikuga, sest nii pikki aegridu lindude saabumise kohta on äärmiselt

vähe (näiteks Sparks 1999; Jenny & Kéry 2003; Gordo & Sanz 2005; Marra *et al.* 2005, Marja & Elts 2022).

Pärast esmaseid analüüsitulemusi tekkis 11 vaatluse puhul kahtlus - eriti 1950ndate erakordselt varajaste vaatlustega seoses -, et võib-olla on fenoandmetes eksitud liigimääranguga ja kägu on aetud segi kaelustuviga (*Columba palumbus*). Sellised andmed võivad mõjutada analüüsi lõpptulemust. Nende vaatluste puhul kontrolliti Rahvusarhiivist fenovaatluste vaatluskaustade algandmeid (fond: Fond EAA.5309.3-I). Kontrollimiseks kirjutati välja esimesed viis saabumisteadet vastaval aastal fenovaatluste originaalkaustadest ning joonise alusel hinnati, mil määral erines kõige esimene vaatlus järgnevatest vastava aasta vaatlustest. Selline andmete kontroll võimaldas meil veenduda, et analüüsi kaasatud esimesed liigi kohtamisjuhud olid tõesed. Selgus, et tegemist polnud vale liigimääranguga, sest samal ajal või veidi hilisemalt kohati ka teisi isendeid vastaval aastal või oli võimalik valemäärang avaldatud andmetest juba eelnevalt eemaldatud. Seega pärast algandmete kontrollimist neid enam korrigeerida polnud vajalik.

Kuna kägu on Sahara-tagune kaugrändur, siis tema saabumine Eestisse võib sõltuda globaalsetest temperatuuridest, mis mõjutavad nii lõuna- kui ka põhjapoolkera vastava aasta ilmastikku kevadrände ajal. Seetõttu kasutasime struktuurivõrrandite mudelit (*structural equation model*), et uurida samaaegselt nii aasta kui ka vastava aasta

globaalse temperatuuri mõju käo saabumisele ning globaalsete temperatuuride muutumist uurimisperiodil. Vastavad andmed pärinevad Met Office Hadley Centre vaatluste andmebaasist, mille algus ulatub aastasse 1850 (Met Office Hadley Centre observations datasets 2023) ja põhineb nii maa- kui ka merepinna keskmistel temperatuuridel.

Struktuurivõrrandite mudeli esimese osa uuritav tunnus oli käo saabumiskuupäev ning seletavad tunnused olid aasta ja globaalne temperatuur vastaval aastal. Mudeli teise osa uuritav tunnus oli globaalne temperatuur, mis seostati vastava aastaga, et arvesse võtta võimalik kliimamuutuste mõju.

Struktuurivõrrandite mudeli ülesehitus oli järgmine:

psem(

lm(mitmes päev-aasta+globaalne temperatuur),

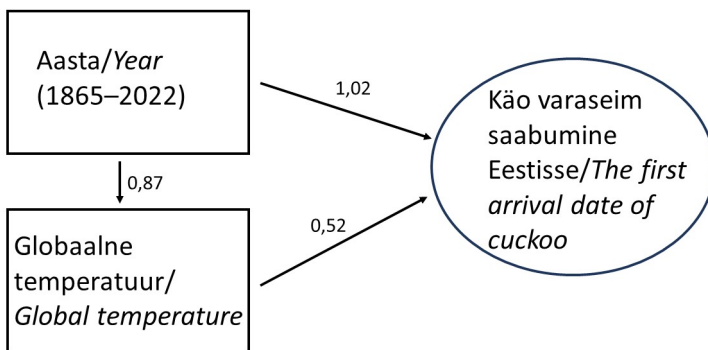
lm(globaalne temperatuur-aasta))

Statistilisel analüüsil kasutati 95% usaldusnivood. Statistiline analüüs teostati rakendustarkvaraga R (R Core Team 2023). Struktuurivõrrandite mudeli jaoks kasutasime „*piecewiseSEM*“ paketti (Lefcheck 2016) ja käo saabumise illustreerimiseks kasutasime mittelineaarsete aditiivsete mudelite joonist R paketi „*mgcv*“ (Wood 2006) alusel.

Tulemused

Käo saabumisaaja muutus

Struktuurivõrrandite mudel näitas, et käo saabumisaeg Eestisse sõltub statistiliselt usaldusväärselt nii aastast kui ka maakera globaalsest keskmisest temperatuurist (tabel 1, joonis 1). Lisaks on uurimisperiodil maakera keskmine temperatuur statistiliselt usaldusväärselt tõusnud. Saadud tulemuste alusel on käo saabumine Eestisse tänapäeval ligikaudu kaks nädalat varasem (joonis 2) ja see on stabiliseerunud alates 1940–1950ndatest aastatest.



Joonis 1. Struktuurivõrrandite mudeli ülesehitus ja standardiseeritud hinnangu tulemused koefitsiendina. Kõik seosed on statistiliselt usaldusväärsed ($p < 0,001$).

Figure 1. The structural equation model structure and standardized estimation results as a coefficients. All relationships are statistically significant ($p < 0,001$).

Tabel 1. Struktuurivõrrandite mudeli tulemused. Mudeli esimene osa hindas kão saabumisaja sõltuvust aastast ja maakera globaalsest temperatuurist. Mudeli teine osa hindas globaalse temperatuuri enda seost aasta mõjuga.

Table 1. The results of structural equation modelling. The first part of the model estimated cuckoo first arrival date with year and global temperature. The second part of the model estimated global temperature relationships with year.

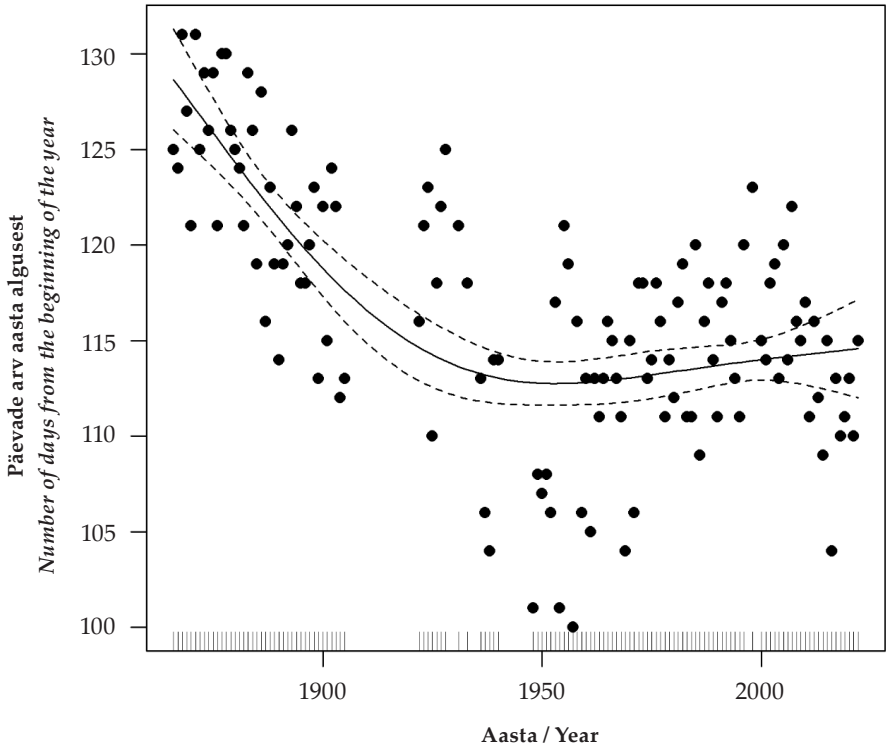
Sõltuv tunnus <i>Dependent variable</i>	Seletav tunnus <i>Descriptive variable</i>	Mudeli hindaja <i>Estimate</i>	p-väärtus <i>p-value</i>
Kão saabumisaja mudeli osa seoses aasta ja globaalse temperatuuriga <i>Part of the model about cuckoo arrival, year and global temperature relationship</i>			
Varaseim saabumine <i>First arrival date</i>	Aasta <i>Year</i>	-0,14	<0,001
Varaseim saabumine <i>First arrival date</i>	Globaalne temperatuur <i>Global temperature</i>	9,00	<0,001
Mudeli osa globaalse temperatuuri seos aastaga <i>Part of the model about the global temperature relationship with year</i>			
Globaalne temperatuur <i>Global temperature</i>	Aasta <i>Year</i>	0,007	<0,001

Arutelu

Sahara-taguse talvitaja kaugränduri kão saabumine Eestisse on viimase 157 aasta jooksul nihkunud keskmiselt ligikaudu kaks nädalat varasemaks. See nihe stabiliseerus 1940–1950ndatel aastatel. Peamine tegur, miks esimesed käod on Eestisse varem saabunud, on seotud eelkõige globaalse soojenemisega, sest nii merevee kui ka maapiinna temperatuur on märkimisväärselt tõusnud. See tingib omakorda soojemad kevaded, mis algavad varem, ja selle mõju on näidatud mitmetele rändsete linnuliikide saabumisele Ühendkuningriigis teostatud uurin-gutes (Sparks 1999; Davies *et al.* 2023).

Meie saadud tulemused pole väga üllatavad, sest analüüsitud aegrea algus langeb kokku väikese jääaja lõpuga (Jõgi & Tarand 1995). Pigem on üllatav, kui

paindlikult ja kiiresti on kãgu kohanenud soojemaks muutunud temperatuuridega ning kevadrãnde saabumisajad Eestisse on seetõttu muutunud varasemaks. Võimalik, et ka rãnde kiirus Aafrikast Eestisse on tõusnud, kuid see väide vajaks täpsemat uurimist. Samas kãtkeb liiga varane saabumine endas ka ohte. Näiteks Ühendkuningriigis läbiviidud uuringu alusel oli liiga varastel saabujatel suurem suremusrisk (Davies *et al.* 2023). Üllatav on, et saabumine pole pärast 1940.-1950. aastaid muutunud veel varasemaks, ehkki keskmine temperatuur on seoses kliimamuutusega jätkuvalt tõusnud. Ka see tulemus vajaks täiendavat uurimist. Näiteks võib aastati olla erinev esimene ja keskmine saabumisaeg. Teisiti öeldes võib üksiku esimese isendi saabumine olla seotud mingite erandlike ilmaoludega ja seepärast ei peegelda esimene saabuja ala täitumist uuritava liigiga. 2024. aasta



Joonis 2. Kão (*Cuculus canorus*) saabumisaeg (varasem kuupäev = päevi aasta algusest, Y-telg) Eestisse aastatel 1865–2022. Pidev joon on mudeli siluja, katkendjooned 95% usaldusintervall.
Figure 2. The arrival time of cuckoo (*Cuculus canorus*) to Estonia between 1865–2022. Y-axis present the first arrival date (number of days since the beginning of the year). Solid line presents smoother of generalized additive model, dotted lines denote 95% point-wise confidence intervals.

aprillis esines erandlik soojalaine, mille ajal saabus meile esimene kagu 21. aprillil. Sellele järgnes väga jahe ilm, Põhja-Eestis sadas maha paks lumevaip. Seejärel registreeriti üks isend 24. aprillil. Kaks päeva hiljem kohati juba üksteist lindu, päev hiljem 22 lindu (PlutoF 4.05.2024).

Saadud tulemused erinevad varasemalt uuritud keskmääränduri metskurvitsa (*Scolopax rusticola*) Eestis kogutud andmetest. Nimelt metskurvitsa saabumine on muutunud varasemaks koguni

kahel korral. Esmalt nihkus saabumisaeg varasemaks 1960ndate aastate alguses, teine suurem nihe toimus alates 2000ndate algusest (Marja & Elts 2022). Samas Hispaanias teostatud kaugrändurite (vaenukagu *Upupa epops*, suitsupääsuke *Hirundo rustica* ja lõunaööbik *Luscinia megarhynchos*) uuringu tulemused on sarnased käesoleva uurimistöo tulemustele (Gordo & Sanz 2005), ehkki kasutatud uurimismetoodikad on erinevad. Seega kliimamuutustel on olnud mõju lindude varasemale saabumisele, kuid

liigiti ja rändeteekonna kaugusest sõltuvalt (keskmaa- või kaugrändur) võis see mõju ilmned erinevatel perioodidel.

Kliimamuutused mõjutavad linde läbi ilmastiku talvituseladel (toitumisvõimalused rändeks vajaliku rasvavaru kogumiseks) ja rändeteedel (soodsad ilmastikututingimused lendamiseks, toitumisvõimalused rändepeatuseladel). Kuna eri liigid talvituvad pesitsusalast eri kaugustel, on kliima mõjud nende rändefenoloogiale väga erinevad. Meie analüüs näitas, et käo saabumine Eestisse on poolteise sajandi jooksul muutunud mõõdukalt varasemaks. Samas Jonzén kolleegidega (Jonzén *et al.* 2006) näitasid, et mitmete kaugränduritest värvuliste saabumisaeg pesitsusalale on võrreldes lähiränduritega nihkunud enam varasemaks. Nad järeldavad, et kaugränduritel võib selline muutus olla tingitud varasemast lahkumisest talvituseladelt või rändekiiruse tõusust. Jonzén jt (2006) järgi on kaugrändurite varasem saabumine pesitsusaladele mitte fenotüübiline vastus parematele toitumistingimustele, vaid evolutsiooniline vastus kliimamuutustele. Arvestades, et käo pesitsemine on otseses sõltuvuses sulasliikide pesitsusfaasist, võib sulasliikide ja käo rändefenoloogia erinev muutumine hakata mõjutama käo taastootmisvõimet. Kuna käol esinevad kindlaid sulasliike parasiteerivad liinid, siis võib fenoloogiline ebakõla olla eriti ilmne neil juhtudel, millal käo ja eelistatud sulase saabumisaegade erinevus on suurem. See aga tähendab, et mõnedel liinidel on suurem väljasuremisrisk. Seni on peamiselt uuritud areaali eri osades levivate populatsioonide väljasuremisriski

(näiteks põldtsiitsitaja *Emberiza hortulana*, Jiguet *et al.* 2019). Käo puhul on tegemist veelgi keerukama probleemiga, sest ka ühe piirkonna isenditel on parasiteeritavate liikide erinevuse tõttu mõneti erinevad ohud.

Eelnevale vastupidine näide on saadud Eestist kogutud andmete alusel. Näiteks keskmaarändur metskurvits, kelle uurimisperiod oli küll lühem (1923–2022), saabus uurimisperiodi algusajaga võrreldes Eestisse kuu aega varem (Marja & Elts 2022) vastupidiselt Jonzén *et al.* (2006) uuringule. Samas kaugrändur kägu saabus kasutatud andmestiku alusel kaks nädalat varem. Seega keskmaarändurid võrreldes kaugränduritega võivad keskmiste temperatuuride suhtes käituda erinevalt.

Antud artikkel uuris pikaajaliselt kogutud saabumisandmete alusel käo saabumist Eestisse. Tulevastes uurin-gutes tasuks käo saabumist käsitleda koos peamiste sulasliikide saabumisega. Nii oleks võib-olla võimalik selgitada veelgi paremini antud liigi saabumisdünaamika muutust Eestis. Lisaks on oluline jõuda jälile põhjustele, miks pole käo saabumine pärast 1940.-1950. aastaid aastat enam varasemaks muutunud, ehkki temperatuur on jätkuvalt tõusnud.

Tänuavaldused

Täname kõiki fenovaatlusi edastanud vaatlejaid, Keskkonnainvesteeringute Keskust aasta linnu projekti rahastamise eest ja Tuul Seppa käsikirja kriitilise läbivaatamise eest.

Kasutatud kirjandus

- Crick, H.Q.P. (2004) The impact of climate change on birds. *Ibis*, **146**, 48–56.
- Davies, J.G., Kirkland, M., Miller, M.G.R., Pearce-Higgins, J.W., Atkinson, P.W., Hewson, C.M. (2023) Spring arrival of the common cuckoo at breeding grounds is strongly determined by environmental conditions in tropical Africa. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, **290**, 20230580.
- Denerley, C., Redpath, S. M., Van der Wal, R., Newson, S. E., Chapman, J. W., & Wilson, J. D. (2019) Breeding ground correlates of the distribution and decline of the Common Cuckoo *Cuculus canorus* at two spatial scales. *Ibis*, **161**, 346–358.
- Douglas, D. J. T., Newson, S. E., Leech, D. I., Noble, D. G. & Robinson, R. A. (2010) How important are climate-induced changes in host availability for population processes in an obligate brood parasite, the European cuckoo? *Oikos*, **119**, 1834–1840.
- Eklundh, L., Olsson, L. (2003) Vegetation index trends for the African Sahel 1982–1999. *Geophysical Research Letters*, **30**, 1430.
- Elts, J., Leito, A., Leivits, M., Luiguj e, L., Nellis, R., Ots, M., Tammek nd, I. & V li,  . (2019) Eesti lindude staatus, pesit-susaegne ja talvine arvukus 2013–2017. *Hirundo*, **32**, 1–39.
- Erritz e, J., Mann, C. F., Brammer, F. P., & Fuller, R. A. (2012) *Cuckoos of the world* (1st ed.). Christopher Helm Publishers Ltd, London.
- Gordo, O. & Sanz, J. (2005) Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia*, **146**, 484–495.
- Gordo, O., & Sanz, J. (2008) The relative importance of conditions in wintering and passage areas on spring arrival dates: The case of long-distance Iberian migrants. *Journal of Ornithology*, **149**, 199–210.
- Herrmann, S.M., Anyamba, A. & Tucker, C.J. (2005) Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change*, **15**, 394–404.
- Hewson, C. M., Thorup, K., W., J., & Atkinson, P. W. (2016) Population decline is linked to migration route in the Common Cuckoo. *Nature Communications*, **7**, 1–8.
- Hogstad, O., Sela’s, V. & Kobro, S. (2003) Explaining annual fluctuations in breeding density of fieldfares *Turdus pilaris*—combined influences of factors operating during breeding, migration and wintering. *Journal of Avian Biology*, **34**, 350–354.
- Hulme, M., Doherty, R., Ngara, T., New, M. & Lister, D. (2001) African climate change: 1900–2100. *Climate Research*, **17**, 145–168.
- Jenni, L. & K ry, M. (2003) Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long–distance migrants, delays in short–distance migrants. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, **270**, 1467–1471.
- Jiguet, F., Robert, A., Lorrilliere, R., Hobson, K.A., Kardynal, K.J., Arlettaz, R., Bairlein, F., Belik, V., Bernardy, P., Copete, J.L., Czajkowski, M.A., Dale, S., Dombrovski, V., Ducros, D., Efrat, R., Elts, J., Ferrand, Y., Marja, R., Minkevicius, S., Olsson, P., P rez, M., Piha, M., Rakovi , M., Schmaljohann, H., Seimola, T., Selstam, G.,

- Sibley, J.-P., Skierczynski, M., Sokolov, A., Sondell, J., Moussy, C. (2019) Unravelling migration connectivity reveals unsustainable hunting of the declining ortolan bunting. *Science Advances*, **5**, 2642.
- Jonzén, N., Lindén A., Ergon, T., Knudsen, E., Vik, J.O., Rubolini, D., Piacentini, D., Brinch, C., Spina, F., Karlsson, L., Stervander, M., Andersson, A., Waldenström, J., Lehikoinen, A., Edvardsen, E., Solvang, R., Stenseth, N.C. (2006) Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science*. **5782**, 1959–61.
- Jõgi, J. & Tarand, A. (1995) Nüüdiskliima. Eesti loodus (koost. Raukas, A.). Tallinn, Valgus.
- Keskonnaagentuur (2023) Keskkonnaseire infosüsteem. <https://kese.envir.ee/>
- Kumari, E. (1954) Eesti NSV linnud. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn.
- Kuus, A. (2018) Kägu. Linnuatlas. Eesti haudelindude levik ja arvukus (koost. Elts, J., Kuus, A., Leibak). Eesti Ornitoloogiaühing, Tartu.
- Lefcheck, J. S. (2016) piecewiseSEM: Piecewise structural equation modeling in R for ecology, evolution, and systematics. *Methods in Ecology and Evolution*, **7**, 573–579.
- Lehikoinen, E., Sparks, T.H. & Zalakevicius, M. (2004) Arrival and Departure Dates. In: *Advances in Ecological Research*. Elsevier, pp. 1–31.
- Lõhmus, A. (2022) Käo (*Cuculus canorus*) arvukus metsamaastikul: kaardistusmeetodi võimalused ja probleemid. *Hirundo*, **35**: 1–18.
- Marja, R., Elts, J. (2022) Metskurvitsad saabuvad Eestisse varem kui 100 aasta eest. *Hirundo*, **35**, 17–27.
- Marra, P.P., Francis, C.M., Mulvihill, R.S. & Moore, F.R. (2005) The influence of climate on the timing and rate of spring bird migration. *Oecologia*, **142**, 307–315.
- Meitern, H., Rootsmäe, L., Tarand, A. (1991) Ornitofenoloogilisi vaatlusi varasematest aastatest. Tartu. *Abiks loodusevaatlajale*, **91**.
- Met Office Hadley Centre observations datasets (2023) <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5/data/current/download.html>
- Møller, A. P., Rubolini, D., & Lehikoinen, E. (2008) Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **105**, 16195–16200.
- Nicholson, S.E. (2001) Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. *Climate Research*, **17**, 123–144.
- Palm, V., Sepp, M., Truu, J., Ward, R.D., Leito, A. (2017) The effect of atmospheric circulation on spring arrival of short- and long-distance migratory bird species in Estonia. *Boreal Environment Research*, **22**, 97–114.
- PlutoF andmebaas (2024) URL: <https://plutof.ut.ee/>
- R Core Team. (2023) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rahvusrhiiv Eesti Loodusuurijate Seltsi “Loodusvaatluse materjalid” (Teaduslikud algmaterjalid) Fond EAA.5309.3-I.
- Rootsmäe, L. (1986) Kus on käo pesa? *Eesti Loodus*, **7**, 467–470.

- Saino, N., Rubolini, D., Lehikoinen, E., Sokolov, L., Bonisoli-Alquati, A., Ambrosini, R., Boncoraglio, G. & Moller, A. (2009) Climate change effects on migration phenology may mismatch brood parasitic Cuckoos and their hosts. *Biology letters*, **5**, 539–41.
- Sepp, M., Palm, V., Leito, A., P  dam, K., Truu, J. (2011) Effect of atmospheric circulation types on spring arrival of migratory birds and long-term trends in the first arrival dates in Estonia. *Estonian Journal of Ecology*, **60**, 111–131.
- Sparks, T. (1999) Phenology and the changing pattern of bird migration in Britain. *International Journal of Biometeorology*, **42**, 134–138.
- Wood, S.N. (2006) *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman and Hall/CRC. London.

Summary

Long-term changes in the migration phenology of Estonian cuckoos (*Cuculus canorus*) detected by large-scale citizen science recording schemes

The article gives an overview of the changes in the first arrival dates of the cuckoo (*Cuculus canorus*) in Estonia over the last 157 years (1865–2022). For the analysis, we used a structural equation model, which concurrently included the effects of year and global average temperature change. Based on the results, we found that the arrival time of the cuckoo in Estonia was statistically significantly related to both the year and the global average temperature, which has shown a significant increase during the research period. According to our study, the arrival of cuckoos in Estonia today is approximately two weeks earlier compared to the beginning of the study period. In the future studies, it would be worthwhile to investigate the first arrival date of the cuckoo in conjunction with the arrival of the main host species to explain the arrival phenology even more precisely.