



KESKKONNAAGENTUUR



Euroopa Liit
Ühtekuuluvusfond



Eesti
tuleviku heaks



KESKKONNAINVESTEERINGUTE KESKUS

Rajakaamerate kasutamine ulukite arvukuse hindamiseks juhusliku kohtamise mudeli abil

Aruanne

Rauno Veeroja, Madli Linder

Keskkonnaagentuur

November 2019

Tartu

Sisukord

| | |
|--|----|
| Sissejuhatus | 3 |
| 1. Materjal ja metoodika..... | 4 |
| 1.1. Välitööd | 4 |
| 1.2. Eksperimendis kasutatud rajakaamerad..... | 7 |
| 1.3. Juhusliku kohtamise mudel | 8 |
| 2. Tulemused ja arutelu | 10 |
| 3. Meetodi rakendamisega seotud töömaht | 19 |
| 4. Kokkuvõte ja järeldused..... | 22 |
| Kasutatud kirjandus..... | 23 |

Sissejuhatus

Eestis on rajakaamerate abi mitmete rakendusuringute läbiviimisel ja eluslooduse seires kasutatud juba üle 10 aasta. Seires on rajakaameraid kasutatud eeskätt mitmete vähearvukate ja looduskaitseliselt oluliste liikide, nagu must-toonekure, kotkaste, kassikaku ja lendorava pesades toimuva jälgimiseks, aga ka sama-aastaste poegade emakarude eristamiseks ning hundikarjade suuruse, järelkasvu ja tervisliku seisundi kohta info kogumisel.

Koos rajakaamerate laialdasema kasutuselevõtu, hindade taskukohasemaks muutumise ja töökindluse paranemisega on teadustöös üha enam tähelepanu pööratud meetoodikate arendamisele, mis võimaldaks rajakaameratega kogutavat infot erinevate liikide arvukuse hindamisel ära kasutada, sh selliste liikide puhul, mille kõrge arvukus ja isenditevahelised väiksed erinevused ei võimalda erinevaid fotodele jäänud isendeid üksteisest selgelt eristada. Üheks enim käsitlemist leidnud meetoodikaks on loodusesse juhuslikesse asukohtadesse paigutatud kaameratega kogutava pildimaterjali põhjal tehtavatel arvutustel baseeruv juhusliku kohtamise mudel (*random encounter model*, REM: Rowcliffe et al. 2008). Olgu lisatud, et rahvusvahelisel tasandil nähakse selle meetodi rakendamisel potentsiaali nii erinevate riikide eri piirkondades kasutamiseks kui ka võimalust seni väga erinevate seiremeetoodikatega kogutud andmete võrreldavaks muutmisel.

Käesolev aruanne annab ülevaate Keskkonnaagentuuri (KAUR) poolt ELME projekti¹ raames läbi viidud REM-metoodika katsetamise tulemustest kahel erineval seirealal aastatel 2018 ja 2019, pakkudes ühtlasi meetoodika ressursitõhususe hinnangud ning arutledes kulutõhususe suurendamise, sh masinõppe kasutuselevõtu vajaduste ja võimaluste üle. Aruanne on ühtlasi sisendiks KAURis koostatud tegevuskavale masinõppe meetodite rakendamiseks ulukite seires (Linder ja Veeroja, 2019).

Lisaks aruande autoritele andsid oma panuse käesoleva seiremeetoodika katse läbiviimisel ka Inga Jõgisalu, Peep Männil, Riho Marja ja Meelis Leivits Keskkonnaagentuurist, Margo Tannik Keskkonnaametist ning fotode läbivaatamisel ja mõõtmisel olid suureks abiks KAURi praktikandid Kristjan Põldmaa, Diana-Elisa Tammiste, Andra Toom ja Kättriin Kuiv. Suur tänu teile!

¹ Ühtekuuluvuspoliitika fondide rakenduskava 2014–2020 tegevus nr 8.1.8 „Elurikkuse sotsiaalmajanduslikult ja kliimamuutustega seostatud keskkonnaseisundi hindamiseks, prognoosiks ja andmete kättesaadavuse tagamiseks vajalikud töövahendid” (ELME projekt; SFOS: 2014-2020.8.01.16-0112). Rahastajad: Euroopa Liidu Ühtekuuluvusfond, SA Keskkonnainvesteeringute Keskus, Eesti Vabariik.

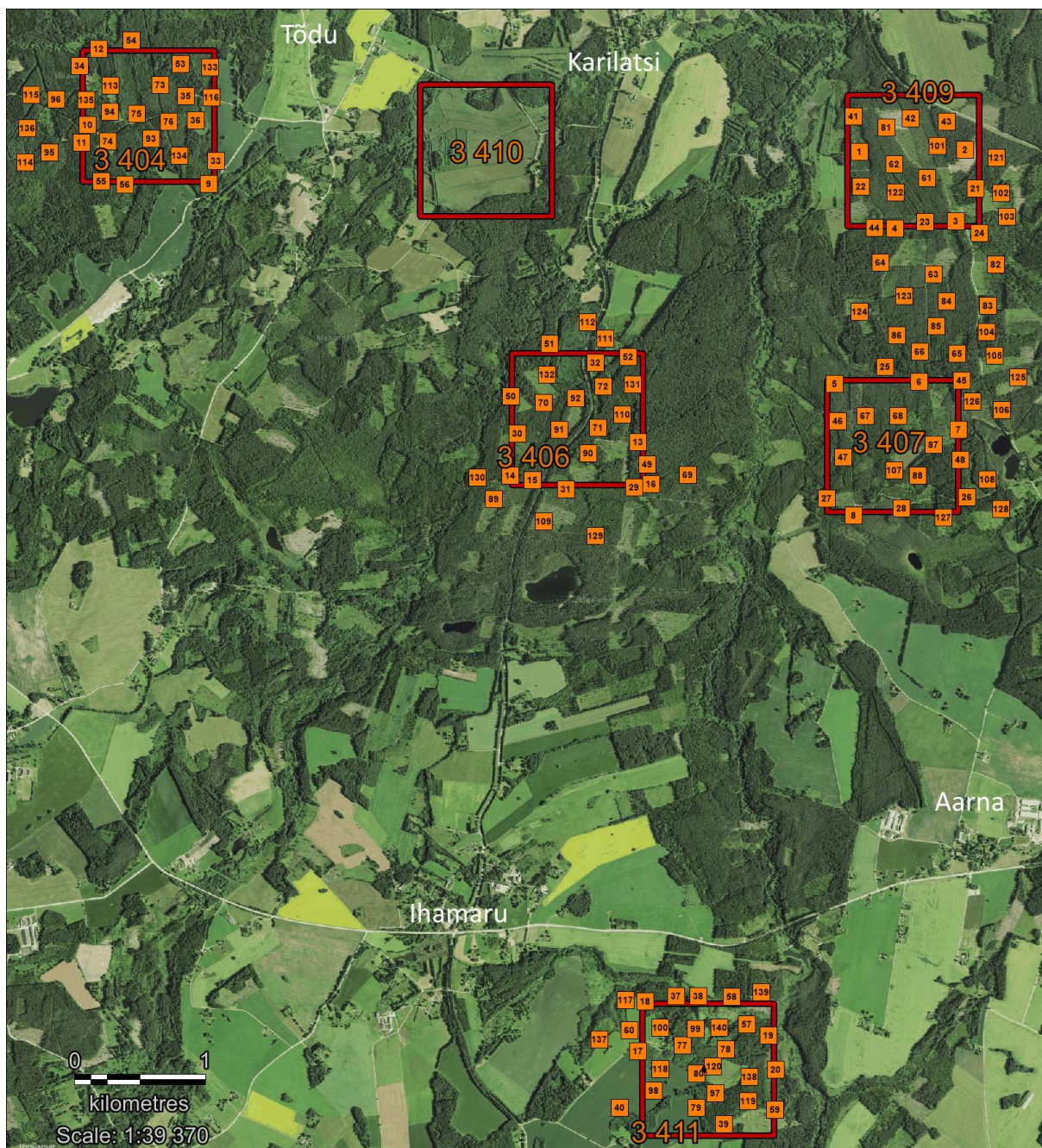
1. Materjal ja metoodika

1.1. Välitööd

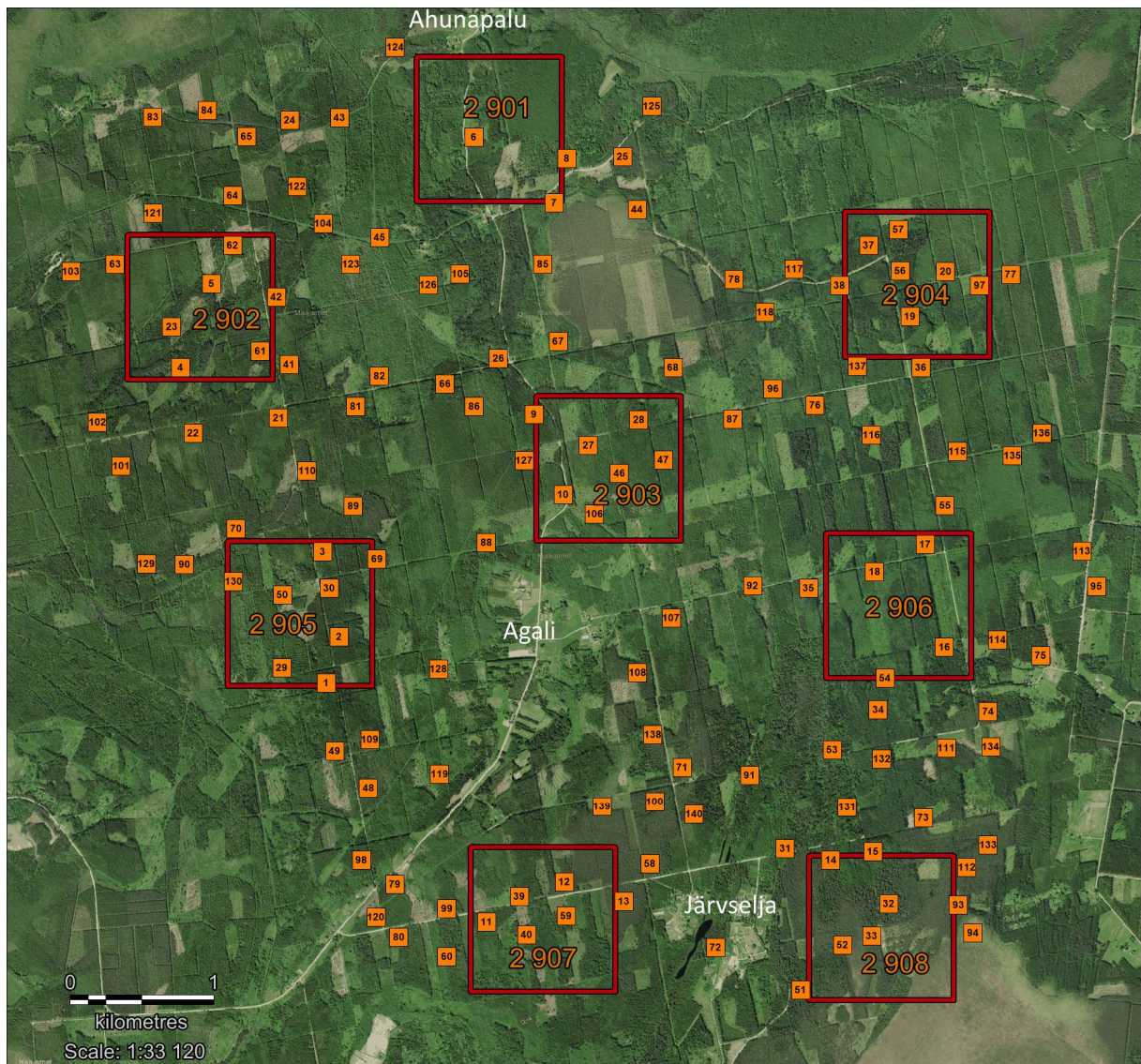
Eksperiment rajakaameratega viidi läbi kahel erineval hirvlaste arvukusdünaamika jälgimiseks kasutataval seirealal: 2018. aasta kevadel (4. mai – 23. juuni) Põlvamaal Karilatsi ja Ihamaru küla lähistel (seireala nr 34) ning 2019. aasta kevadel (8. aprill – 27. mai) Tartumaal Järvelja küla lähistel (seireala nr 29). Mõlemal seirealal oli seitsme nädala pikkuse jälgimisperioodi jooksul korraga üleval kakskümmend rajakaamerat. Kaamerate asukohti muudeti iga seitsme päeva tagant, saades mõlemal seirealal seitsme asukoha vahetusega ühe nädala pikkune vaatlusmaterjal 140-st erinevast asukohapunktist (joonised 1 ja 2). Analüüsides jäeti välja ühe Järvelja seireala asukohapunkti info, sest kaamera mahavõtmisel selgus, et ühendus kaamera ja sellesse paigutatud SD mälukaardi vahel oli katkenud (kaamera ekraanil veateade: *CardError*) ja ülesvõtted kaamera ees toimuvast seetõttu ka puudusid.

Põlvamaal seati 2018. aastal kaamerad üles seirealal paineva viie erineva hirvlaste pabulalunnikute loenduse püsivarsruudi vahetusse lähedusse nii, et iga loendusruudu lähedal oli korraga üleval neli kaamerat. 2019. aastal olid Järveljal üle kogu seireala rajakaamerad paigaldatud nii, et iga seirealal paikneva pabulaloenduse püsivarsruudi vahetusse lähedusse jäi korraga 2 või 3 rajakaamerat. Kaamerad paigutati seirealadele juhuslikult, vältides siiski kaamera asukohtade sattumist üksteisele lähemale kui 200 m. Kaamerad paigaldati valdavalt riigi- ja avalik-õiguslikus kasutuses maale, mille haldajaid, vastavalt Riigimetsa Majandamise Keskust ja Eesti Maaülikooli katsest ka teavitati. Kaamerate paigaldamist eramaale üritati võimalusel vältida. Kõikide kaamerate täpne asukoht fikseeriti GPS-seadmega ning kaamera objektiivi suund kompassiga.

Vähendamaks mõne konkreetse kaamera töös esineda võivate kõrvalekallete mõju seireala erinevates osades kogutavale infole, tõsteti igal kaamerate asukoha vahetusel kõik kaamerad roteeruvalt edasi järgmise pabulaloenduse marsruudi juurde.



Joonis 1. Rajakaamerate paiknemine Põlvamaal Karilatsi-Ihamaru seirealal 2018. aasta kevadel. Kaamerate asukohad on tähistatud oranžide kastidena, mille sees on näidatud kaamera paigutamise järjekorranumber. Täiendavalt on kaardil esitatud hirvlaste asustustiheduse hindamiseks kasutatavad pabulahunnikute loenduse (4×1 km) püsivarsruudid (punaselt) koos ruudu ID-numbriga.



Joonis 2. Rajakaamerate paiknemine Tartumaal Järvselja seirealal 2019. aasta kevadel. Kaamerate asukohad on tähistatud oranžide kastidena, mille sees on näidatud kaamera paigutamise järjekorranumber. Täiendavalt on kaardil esitatud hirvlaste asustustiheduse hindamiseks kasutatavad pabulahunnikute loenduse (4×1 km) püsimarsruudid (punaselt) koos ruudu ID-numbriga.

Rajakaamerad paigaldati 2018. a puude külge 1 m kõrgusele, 2019. aastal 80 cm kõrgusele maapinnast. Kaamera paigaldamiseks sobiva puu ja paigaldussuuna valikul jälgiti, et kaamera vaateväljas ei oleks vähemalt 10 m ulatuses liikumisanduri tööd oluliselt piiravaid takistusi.

Võimaldamaks hilisemat fotodele jäänud loomade kauguse ja esmase kohamise nurga määramist, paigaldati kaamera vaatevälja keskele kaamerast 5 m, 10 m ja 15 m kaugusele väikesed ~40 cm pikkusest puidust grillvardast ja teibiribadest tehtud märgised (foto 1).



Fotod 1 ja 2. Kaamerast 5 m, 10 m ja 15 m kaugusele paigaldatud märgised (vasakpoolne foto) ja eksperimendis kasutatud rajakaamera *Browning 2018 Dark Ops Pro XD* (parempoolne foto).

1.2. Eksperimendis kasutatud rajakaamerad

Eksperimendi käigus kasutati kokku 24 *Browning 2018 Dark Ops Pro XD* rajakaamerat (foto 2). Antud rajakaamera mudel on varustatud infrapunavälguga ja kaks erinevat kaameraläätse, üks päevaste ja teine öiste ülevõtete tegemiseks. Antud kaamera mudelit iseloomustab selle väga lühike, 0,15-sekundiline reageerimise aeg, mis oli selle rajakaamera mudeli kasuks otsustamisel ka kõige määravaks kriteeriumiks. Kuna maastikul juhuslikesse kohtadesse ja ilma peibutisteta (toidupalade, lõhnaainete või muude loomades huvi äratavad objektideta) paigaldatud rajakaamerate eest liiguvad loomad läbi sageli ka suurel kiirusel joostes, on ülimalt oluline, et liikumise tuvastamisest kuni esimese ülesvõtte tegemisele kulunud aeg oleks võimalikult lühike (<0,5 sekundit), tagamaks võimalikul paljude kaamera sensori tegevusvälja sattunud loomade jäädvustamise fotodel. Enamiku maailmas seni toodetud rajakaamerate reageerimiskiirused jäävad vahemikku 0,6-1,2 sekundit, mis jääb mitmete vilkamate isendite kaameralõksu püüdmiseks selgelt liiga aeglaseks.

Kõik kaamerad seadistati liikumise peale jäädvustama kiire sarivõtte (*rapid-fire mode*) režiimis (esimene ülesvõtte 0,15 sekundit ja järgmised 0,3-sekundiliste vahedega), salvestati viiest fotost koosnevad seeriad 2018. aastal ja neljast fotost seeriad 2019. aastal. Kui liikumine kaamera

liikumissensori alas pärast sarivõtte tegemist jätkus, tegi kaamera 1-sekundilise pausi järel järgmise sarivõtte. 2018. aasta katse esimesel neljal nädalal olid kaamerad seadistatud tegema fotosid suurusega 2688×1504 px ja järgneval kolmel nädala suurusega 4208×2368 px. 2019. aastal jäädvustaid kõik rajakaamerad kogu katseperioodi fotosid suurusega 4208×2368 px.

1.3. Juhusliku kohtamise mudel

Metskitse ja põdra asustustiheduse (D) hindamiseks rajakaamera ülesvõtete põhjal kasutati juhusliku kohtamise mudelit (*random encounter model*, **REM**), mille pakkusid välja Rowcliffe jt 2008. aastal,

$$D = \frac{y}{t} * \frac{\pi}{v * r * (2 + \theta)}$$

milles y on vaatlusjuhtumite arv, t jälgimispingutus (kaamerapäevade arv), v – keskmine päevateekond (km), r – looma kaugus kaamerast (esmasel kohtamisel) ja θ esmase kohtamise nurk (2α).

Eraldiseisva vaatlusjuhtumina käsitleti fotoseeriaid alates looma ilmumisest kuni tema lahkumiseni kaamera vaateväljast. Mõistliku usaldusväärsusega asustustiheduse määramiseks oleks vajalik vaatlusalusel alal kaameralõksudega (rajakaameratega) jäädvustada uuritava liigi isendeid vähemalt viiekümnel erineval korral (Rovero et al. 2013). REM meetodiga arvutaud asustustiheduse määrangutele 95% usalduspiiride leidmiseks kasutati bootstrap-meetodit 10 000 iteratsiooniga (tarkvara R paketti *arcaravaggi/RandEM*).

Metskitse ja põdra keskmised päevateekonna pikkused (v) arvutati rajakaamerate fotodelt ammutatud info põhjal järgmiselt:

$$v = s * a$$

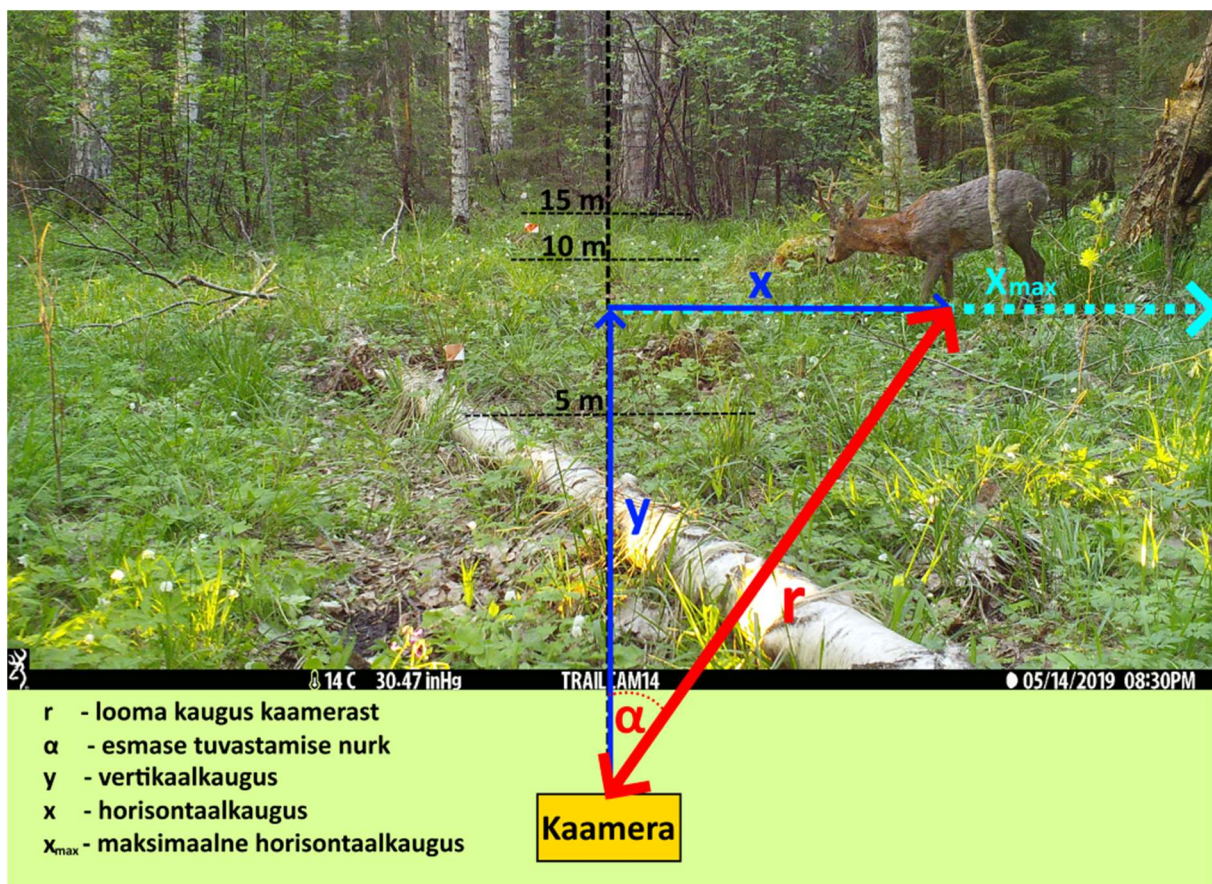
milles s on ühe isendi poolt ühe ööpäeva jooksul keskmiselt läbitud vahemaa (km) eeldusel, et liik on aktiivne kogu ööpäeva ja a on ööpäevase aktiivsuse tase ehk osakaal ööpäevast, mil liik on aktiivne (Rowcliffe et al. 2016).

Looma poolt ööpäevas läbitava vahemaa (s) määramiseks vaadeldi iga vaatlusjuhtumi puhul kaameras salvestunud pildiseeriat, millelt põhjal hinnati 1) fotolt visuaalselt looma poolt

pildiseeria jooksul läbitud vahemaad (d_i), lähtudes kaamera vaateväljas olevatest kauguse märgistest ja liigi tavapärastest kehamõõtmetest ning 2) selleks kulunud ajast (t_i) sekundites, lähtudes vaatlusjuhtumi esimese ja viimase foto tegemise vahel kulunud ajast.

Ööpäevase aktiivsuse taseme (a) leidmiseks kasutati tarkvara R paketti *activity* (Rowcliffe 2016), lähtudes liigi kõikide vaatlusjuhtumite esimese ülesvõtte tegemise kellaegade (teisendatuna radiaanideks) sagedusjaotusest.

Looma kaugus kaamerast (r) ja esmase kohtamise nurk (α) määrati fotodelt trigonomeetriliselt läbi vertikaalse (y) ja horisontaalse kauguse (x), kus $r^2 = x^2 + y^2$ ja $\arctan(\alpha) = y/x$. Kaamera läätse maksimaalse nurga põhjal (leitav kaamera manuaalist ja ka fotofaili metaandmetest) arvutati igale vertikaalsele kaugusele vastav maksimaalne horisontaalne kaugus x_{max} meetrites. Looma horisontaalne kaugus esmasel kohtamisel (x) tuletati x (pikslites) ja x_{max} (pikslites) suhte alusel (joonis 3). Fotode mõõtmiseks kasutati arvutitarkvara *ImageJ*, mis on spetsiaalselt fotode töötamiseks ja analüüsiks USA Rahvuslik Terviseinstituut ja Wisconsin Ülikool poolt loodud avatud koodiga Java platvormil baseeruv vabavara.



Joonis 3. Looma kauguse (r) ja esmase kohtamise nurga (α) määramine fotode põhjal. Mõlemad näitajad arvutatakse fotodelt trigonomeetriliselt läbi vertikaalse (y) ja horisontaalse kauguse (x), kus $r^2 = x^2 + y^2$ ja $\arctan(\alpha) = y/x$. Maksimaalne horisontaalne kaugus (x_{max}) arvutatakse vertikaalse kauguse (y) ja kaamera läätse maksimaalse nurga põhjal. Looma horisontaalne kaugus x leitakse x/x_{max} suhte kaudu.

2. Tulemused ja arutelu

2018. aastal salvestasid Karilatsi-Ihamaru seirealal 20 rajakaamerat seitsme nädala pikkuse jälgimisperioodi jooksul kokku 32 712 fotot (fotofailide maht kokku 67 GB), millest 8077-l tuvastati loomi/linde. Pildiseeriade põhjal eristati 525 erinevat vaatlusjuhtumit, milles tuvastati kokku kolmteist erinevat imetaja- ja kuus linnuliiki. Samas mahus 2019. aastal Järvelja seirealal tehtud eksperimendi käigus salvestasid 20 rajakaamerat seitsme nädala jooksul kokku 13 328 fotot (maht 41 GB), millest 7672 olid loomade/lindudega. 2019. aasta pildiseeriade põhjal eristati 421 vaatluskorda, milles suudeti tuvastada kaheteistkümne erineva imetaja ja kuue linnuliigi esinemine (tabel 1). Kuna Karilatsi-Ihamaru seirealal olid rajakaamerad seadistatud salvestama viiest ja Järveljal neljast fotost koosnevaid pildiseeriad, siis seirealade omavahelise võrreldavuse huvides võib Karilatsi-Ihamaru seireala fotode koguarvust viiendiku ehk ~6542 fotot maha arvata.

Tabel 1. Seitsme nädala jooksul 20 rajakaamera poolt salvestatud vaatlusjuhtumite ja kaameraindeks (erinevate vaatluskordade arv 100 kaamerapäeva kohta) liikide kaupa.

| Liik | Karilatsi-Ihamaru 2018 | | Järvelja 2019 | |
|--------------------|------------------------|---|-----------------------|---|
| | Vaatlus-juhtumite arv | Kaameraindeks (vaatlusi 100 kaamerapäeva kohta) | Vaatlus-juhtumite arv | Kaameraindeks (vaatlusi 100 kaamerapäeva kohta) |
| pöder | 17 | 1,73 | 40 | 4,11 |
| metskits | 376 | 38,37 | 249 | 25,59 |
| metssiga | 7 | 0,71 | 5 | 0,51 |
| pruunkaru | 7 | 0,71 | 3 | 0,31 |
| hunt | | 0,00 | 4 | 0,41 |
| ilves | 1 | 0,10 | | 0,00 |
| mäger | 6 | 0,61 | 14 | 1,44 |
| rebane | 14 | 1,43 | 5 | 0,51 |
| kährikkoer | 12 | 1,22 | 12 | 1,23 |
| nugis | 23 | 2,35 | 25 | 2,57 |
| valgejänes | 7 | 0,71 | 6 | 0,62 |
| halljänes | 9 | 0,92 | | 0,00 |
| jänes | 7 | 0,71 | 3 | 0,31 |
| orav | 7 | 0,71 | 12 | 1,23 |
| sookurg | 2 | 0,20 | 10 | 1,03 |
| pasknäär | 3 | 0,31 | 19 | 1,95 |
| kaelustuvi | 2 | 0,20 | | 0,00 |
| musträhn | 2 | 0,20 | | 0,00 |
| musträstas | 2 | 0,20 | 1 | 0,10 |
| rasvatihane | | 0,00 | 7 | 0,72 |
| punarind | 1 | 0,10 | 2 | 0,21 |
| kuldnokk | | 0,00 | 1 | 0,10 |
| eristamatu imetaja | 8 | 0,82 | 2 | 0,21 |
| eristanatu lind | 4 | 0,41 | 12 | 1,23 |
| inimene | 8 | 0,82 | 5 | 0,51 |
| Kokku | 525 | 53,57 | 437 | 44,91 |

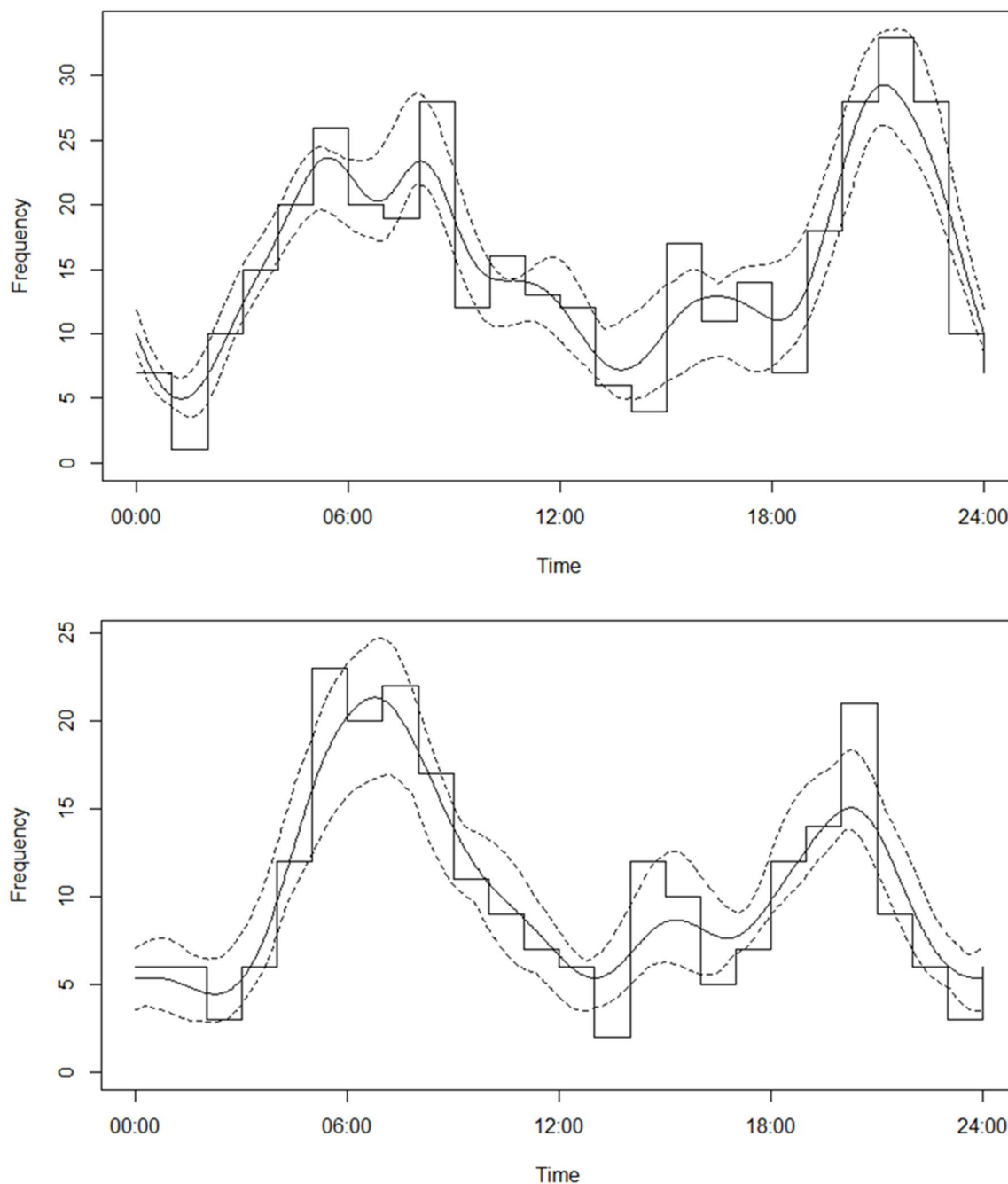
Ülekaalukalt kõige rohkem jäädvustasid mõlemal seirealal rajakaamerad kohtumisi metskitsedega, kelle vaatluste arv – 376 Karilatsi-Ihamaru ja 249 Järvelja seirealal – ületab kordades REM asustustiheduse piisavalt mõistliku täpsusega hindamiseks soovitatud miinimumi (≥ 50 vaatlust). Vaatluste arvult järgnesid metskitsedele põdrad ja nugised, kuigi keskeltläbi registreerisid rajakaamerad neid metskitsedega võrreldes umbes 10 korda harvemini ning asustustiheduse hindamiseks REM lähenemisega soovitatud miinimumini fikseeritud vaatluste arv ei küündinud. Sellele vaatamata mõõtsime ja hindasime metskitse kõrval kõik REM meetodiga asustustiheduse hindamiseks vajalikud parameetrid ka põtrade kohta. Ülevaate rajakaameratega kogutud info põhjal arvatud parameetritest ja nende põhjal arvatud metskitse ja põdra asustustihedusest kahel seirealal annab tabel 2.

Tabel 2. Vaatlusjuhtumite arv, vaatluspingutus (kaamerapäevade arv), looma kaugus kaamerast ja nurk esimesel fotol, ööpäevase aktiivsuse tase, ööpäevase teekonna pikkus ja loetletud näitajate põhjal arvatud metskitse ja põdra asustustihedus ($\pm 95\%$ usalduspiirid) kahel seirealal. Kõik näitajad baseeruvad rajakaamerate ülesvõtetel.

| Liik (Seireala) | <i>y</i> Vaatluste arv | <i>t</i> Vaatluspingutus (kaamerapäevade arv) | <i>r</i> Kaugus (m) | θ Nurk (radiaanides) | <i>a</i> Ööpäevane aktiivsuse tase | <i>v</i> Ööpäevane teekond (km) | <i>D</i> Asustustihedus (isendit/km ²) \pm 95% usalduspiirid |
|------------------------------|------------------------------|--|---------------------------|-----------------------------------|---|--|---|
| Metskits (Karilatsi-Ihamaru) | 376 | 980 | 10,5 | 0,39 | 0,533 | 7,414 | 6,50 \pm 0,32 |
| Metskits (Järvelja) | 249 | 973 | 8,5 | 0,48 | 0,490 | 6,404 | 5,96 \pm 0,39 |
| Põder (Karilatsi-Ihamaru) | 17 | 980 | 9,2 | 0,50 | 0,344 | 5,809 | 0,41 \pm 0,15 |
| Põder (Järvelja) | 40 | 973 | 11,9 | 0,48 | 0,407 | 4,868 | 0,92 \pm 0,16 |
| Põder (kokku) | 57 | 1953 | 11,2 | 0,49 | 0,391 | 5,176 | 0,64 \pm 0,11 |

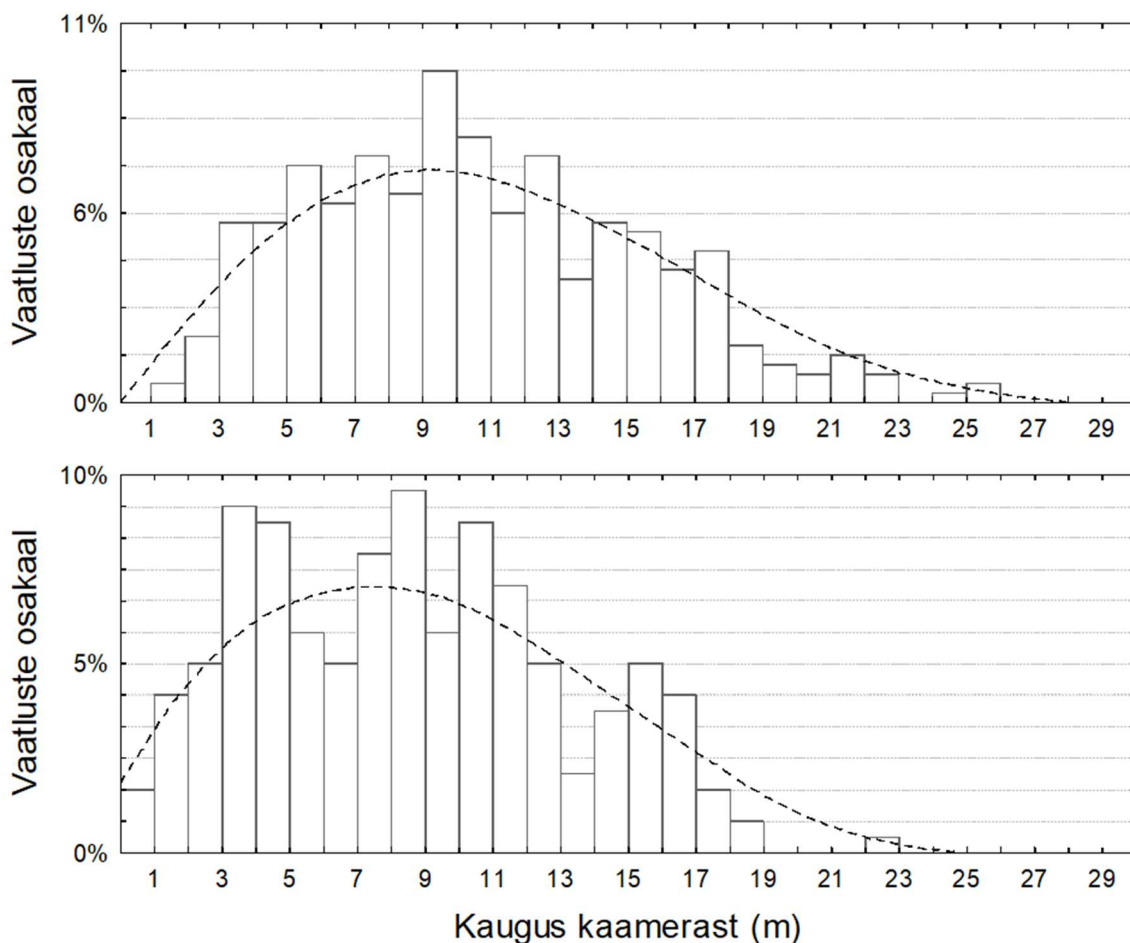
Märkimisväärsed seirealade vahelised erinevused rajakaamerate ülesvõtete põhjal leitud näitajates ilmnevad metskitse puhul (tabel 2). Kui kaameraindeksi (vaatluste arv/kaamerapäevade arvuga) põhjal võiks eeldada, et Karilatsi-Ihamaru seirealal oli metskitse asustustihedus 2018. a kevadel oluliselt kõrgem kui 2019. aastal Järveljal, siis pärast kõikide vajalike parameetrite hindamist ja lisamist võrrandisse saame REM asustustiheduseks 6,5 isendit/km² Karilatsi-Ihamaru ja 6,0 isendit Järvelja seirealal, mis annab tunnistust vaid tagasihoidlikust 1,09-kordsest erinevusest metskitse asustustiheduses. Kuna metskitse kohtamisjuhtumite arv oli mõlemal seireala väga soliidne, on mõistlikult kitsad ka bootsrap lähenemisega sellele leitud 95% usalduspiirid, vaid $\pm 5-6\%$ leitud asustustihedusest. Fotode põhjal arvatud erinevates näitajates torkab silma ligi 2-meetrine erinevus esmase kohtamise keskmises kauguses (10,5 m Karilatsi-Ihamaru ja 8,5 m Järvelja seirealal). Sarnaselt esmase kohtamise kaugusele oli Ihamaru-Karilatsi seirealal kõrgem ka metskitsede ööpäevase aktiivsuse tase ning 1 km võrra pikem ka päevateekond (7,4 km Karilatsi-Ihamaru ja 6,4 km

Järveljal). Kõrgem kitsede aktiivsuse tase ja suurem ööpäevane läbitud vahemaa võib olla tingitud sellest, et Põlvamaal viidi katse läbi 25 päeva võrra hilisemal ajal ning jälgimisperiood langes suuresti aasta kõige valgemale ajale, langedes suures ulatuses kokku ka metskitsede poegimise ja eelmise aastal sündinud tallede iseseisvumise ajaga. Metskitse ööpäevane aktiivsuse dünaamika kajastub joonisel 4.



Joonis 4. Metskitsede ööpäevane aktiivsusmuster Põlvamaal Karilatsi-Ihamaru seirealal ajavahemikus 4. mai – 23. juuni 2018 (ülemine joonis) ja Tartumaal Järvelja seirealal 8. aprill – 27. mai 2018 (alumine joonis) rajakaamerate salvestiste põhjal.

Väiksemat esmase kohtamise nurka Põlvamaal (α keskmiselt 2,6 kraadi väiksem kui Järveljal) looma esmasel kohtamisel saab seletada fotode põhjal arvatud veidi suurema metskitsede liikumiskiirusega, millest tingituna jõudsid isendid sensori reageerimise ja foto tegemise vahelisel ajal veidi rohkem kaamera vaatevälja keskosasse liikuda. Põlvamaal oli metskitsede poolt kaamera ees läbitud vahemaade keskmise ja kaamera ees veedetud aegade keskmise põhjal arvatud kiirus 0,16 m/s, Järveljal 0,15 m/s, jälgitud isendite liikumiskiiruste keskmine Põlvamaal 1,14 m/s ja Järveljal 0,78 m/s. Tasub lisada, et esmase kohtamise nurga vähenedes asustustiheduse näit hoopis suureneb. Antud juhul võib kõige enam tulemust mõjutav erinevus keskmises isendite kohtamise kauguses olla tingitud väikesest erinevusest kaamerate paigaldamisel seirealadele. Nimelt olid Karilatsi-Ihamaru seirealal kaamerad paigaldatud 1 m, Järveljal aga 80 cm kõrgusele maapinnast. Esmaste kohtamiskauguste põhjal koostatud histogrammidelt on näha, et Järveljal on kaamerale lähemal kui viis meetrit kohtamisi kitsega fikseeritud proportsionaalselt oluliselt rohkem kui Põlvamaal, kus aga vastukaaluks võib täheldada kaugemal kui 15 m avastatud isendite suuremat osakaalu (joonis 5).



Joonis 5. Metskitsede esmase kohtamise kauguste (m) sagedusjaotus Karilatsi-Ihamaru (ülemine) ja Järvelja (alumine) seirealal. Kaugused on määratud iga kohtamisjuhtumi esimese foto põhjal.

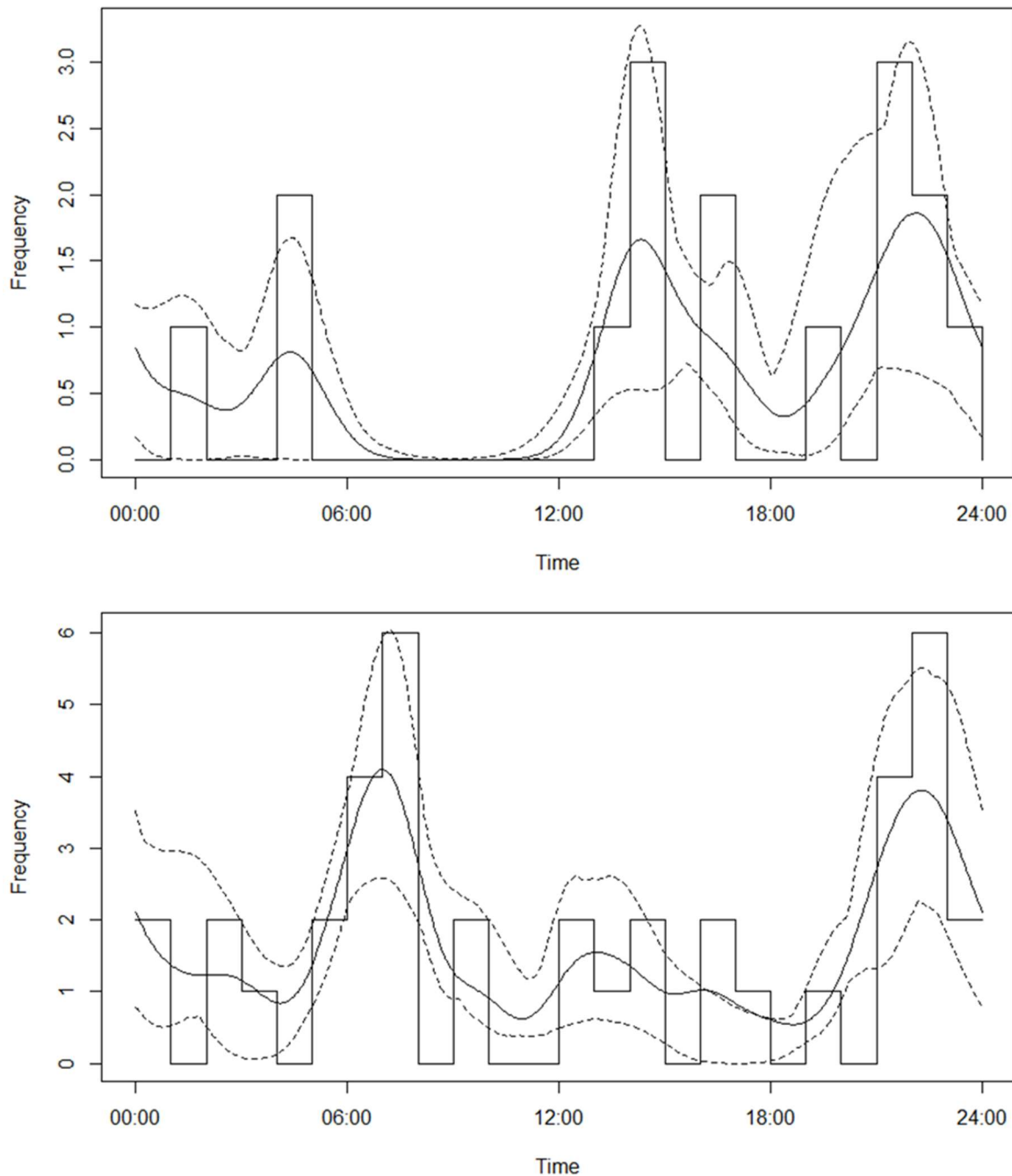
Kõrvaldades mõlema seireala puhul kaamerale lähemal kui 4 m ja kaugemal kui 15 m olevate vaatlusjuhtumite info, väheneb seirealade vaheline suhteline erinevus metskitsede kohtamiskauguses oluliselt ning asustustiheduse määranu erinevus kasvab 1,3-kordseks. Seega on küllaltki tõenäoline, et Karilatsi-Ihamaru seirealal võis jääda osa kaamera vahetus lähetuses toimetavatest metskitsedest kaamerasensori ja/või objektiivi jaoks tabamatuks.

Märksa problemaatilisem oli ka 1 m kõrgusele (suunatud maapinnaga paralleelselt) kaameratele lähemale kui neli meetrit sattunud loomade kauguse hindamine, sest näiteks 5 m kaugusele paigaldatud märgise ees jääb kaamera vaateväljas maapind nähtavale keskmiselt vaid veel umbes pool meetrit, samas kui 80 cm kõrgusele paigaldatud kaamerate ülesvõtetel oli seda 2–3 m, mis tähendab, et kõrgema paigutusega kaamera puhul on tõenäosus looma kauguse määramisel eksida suurem, sest orientiirina kasutatavat looma jalgade ja maapinna kokkupuutepunkti ei ole võimalik fikseerida. Kaugemal kui 15 m jäädvustatud metskitsede suurem osakaal Põlvamaal tehtud eksperimendis võib olla samuti tingitud kaamerate kõrgemast paigaldusest, kuid võib olla tingitud ka erinevustest kaamerate vaatevälja avatuses, sest nt suur osa Karilatsi-Ihamaru seireala metsadest moodustavad kaamerate paigalduskõrguses üsna avatud männikud, samas kui Järvelja metsades oli vaateväli valdavalt tihedama alusmetsa tõttu rohkem piiratud.

Kahel erineval seirealal põdra kohtamiste põhjal arvatud esmase kohtamise kauguse ja nurga ning ööpäevase aktiivsuse taseme ja päevateekonna pikkuste omavahelisel võrdlemisel põhjust erinevuste üle väga pikalt arutleda ei ole, sest seirealade näitajates esinevad väikesed erinevused võivad paljuski olla tingitud Karilatsi-Ihamaru seirealal kogutud põdra vaatlusjuhtumite liiga väikesest arvust. Erinevalt kitsast võib aga kordi kogukama põdra puhul eeldada, et kaamerate paigaldamiskõrguste 20 cm vahe seirealadel saadud tulemusi oluliselt ei mõjutanud.

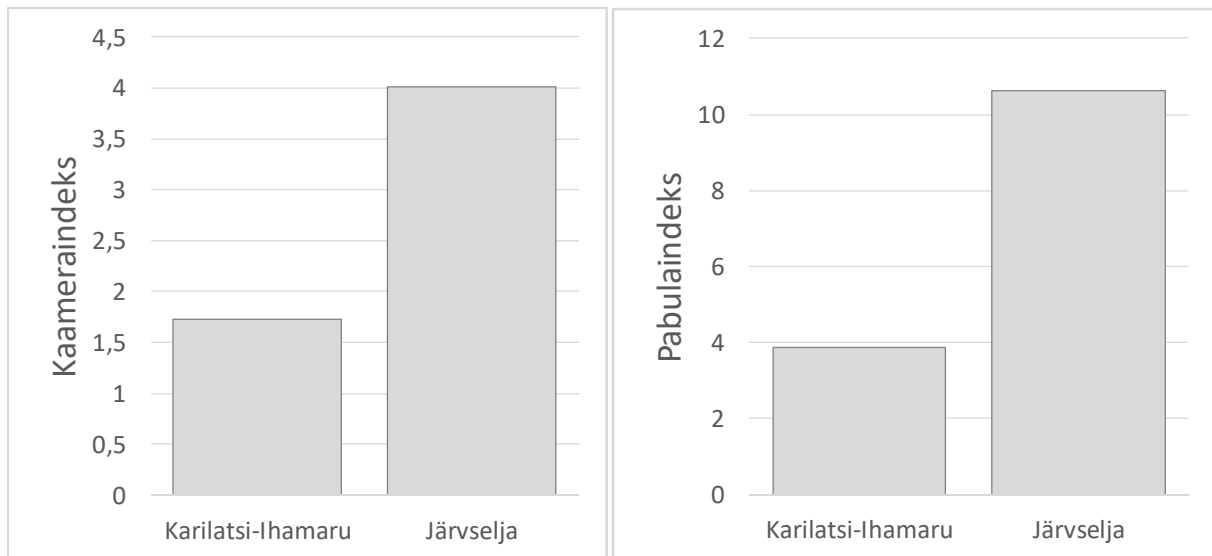
Põdra vaatlusjuhtumite toimumise aegade põhjal leitud aktiivsusnutrid on esitatud joonisel 6. Rajakaamerate ülesvõtete põhjal hinnatud põdra keskmine päevateekond – 5,2 km – on võrreldes Tartu Ülikooli poolt 2017. ja 2018. aastal telemeetriselt jälgitud põtrade asukohamäärangute põhjal arvatust (Oja et al. 2018) keskeltläbi ligi kaks korda pikem ja eeldatavasti ka oluliselt lähemal tegelikule. Põhjuseks on see, et erinevalt telemeetria andmetest kajastuvad rajakaamerate ülesvõtetel ka väga lokaalsel tasandil toimuva loomade manööverdamised/liikumised. Telemeetria-seadmete abil saadakse sageli isegi mitme aasta pikkuste asukohamäärangute jadaga ülimalt olulist infot loomade rännakute ulatusest suures mastaabis, kuid piiratuna ajaliselt liiga pikkade intervallide tagant võetud asukohamäärangutel

ei saagi need anda täielikku pilti loomade poolt ööpäevas tegelikult läbitud vahemaade kohta. Seetõttu ei soovitata telemeetria andmete põhjal arvatud päevateekondi kasutada mudelites (sh REM mudel), kus päevateekonnad on oluliseks komponendiks arvukuse/asustustiheduse hindamiseks kasutatavates võrrandites, sest tulemuseks oleks asustustiheduse tugev alahindamine (vt nt Pfeffer et al. 2017).



Joonis 6. Põtrade ööpäevane aktiivsusmuster Karilatsi-Ihamaru seirealal ajavahemikus 4. mai – 23. juuni 2018 (ülemine joonis) ja Järvelja seirealal 8. aprill – 27. mai 2018 (alumine joonis) rajakaamerate salvestiste põhjal.

Tagasihoidlikule valimile vaatamata haakuvad põdra puhul kaamerakatse tulemused üllatavalt hästi pabulaloenduste põhjal leituga. Väga sarnased seirealade vahelised suhtelised erinevused on märgatavad nii pabulaindeksi kui ka kaameraindeksi puhul (joonis 7).



Joonis 7. Põdra kaameraindeks ja pabulaindeks Karilatsi-Ihamaru (2018. a) ja Järvelja (2019. a) seirealal.

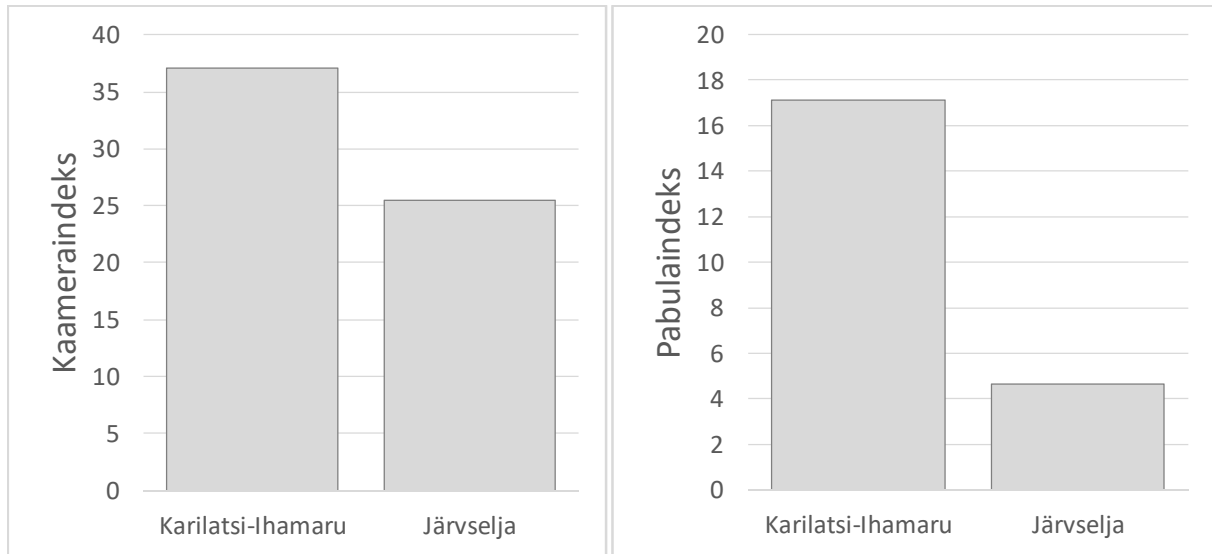
Kaameraindeks – kohtamisjuhtumite arv 100 kaamerapäeva kohta;

Pabulaindeks – pabulahunnikute arv 1 km loendusmarsruudi (laiusega 2 m) kohta.

Karilatsi-Ihamaru seirealal hinnati põdra asustustiheduseks 2018. aastal pabulaloenduste põhjal 3,3 ja REM lähenemisega 4,1 põtra 1000 ha kohta, Järveljal saadi 2019. a põdra asustustiheduseks pabulaloenduste põhjal 8,9 ja REM meetodiga 9,2 isendit 1000 ha kohta, mis on üllatavalt sarnased. Tagasihoidliku hulga kohtamisjuhtumite tõttu on põdra asustustiheduse määrangule leitud 95% usalduspiiride vahemik metskitsele leituga võrreldes oluliselt laiem $\pm 39\%$ Karilatsi-Ihamaru ja $\pm 17,5\%$ Järvelja seireala määrangust.

Metskitse puhul paraku seirealade kaamera- ja pabulaindeksid väga hästi ei haaku (vt joonis 8 järgmisel lehel) ning seda tõenäoliselt eeskätt just Järvelja seireala 2019. aasta tavatult madala, samas eelnevatel aastatel tehtud loendustega võrreldes üle kahe korra madalama, pabulaindeksi tõttu. Kuna metskitse arvukus on viimased viis aastat Eestis jõudsalt suurenenud, kitsede massilist hukkumist ei ole täheldatud ei Järveljal ega ka kusagil mujal, küttimissurve on valdavalt jäänud alla asurkonna juurdekasvu ning Järveljal võib seda pidada isegi väga tagasihoidlikuks, siis pabulaindeksi languse põhjuseks metskitse arvukuse langus küll olla ei tohiks. Pealegi annavad rajakaamera katse tulemused kinnitust pigem metskitse kõrgest arvukusest piirkonnas. Peamisi põhjuseid võib siinkohal välja tuua kaks. Esiteks annavadki

pabulaloendused metskitse puhul võrreldes põdraga oluliselt ebatäpsema pildi nende asustustihedusest ja sellest toimuvatest muutustest, sest erinevalt põdrast on metskitsede pabulahunnikud väikesed, mistõttu jääb märkimisväärne osa hunnikutest loendajate poolt märkamata (eriti tihedama alustaimestikuga lõikudel). Pabulahunnikute väiksusest tingituna võimenduvad ka loendajate vahelised erinevused nende leidmisel. Nendel põhjustel ei ole marsruutloenduse põhimõttel tehtavate pabulaloenduste põhjal võimalik piisava täpsusega tuletada metskitse asustustihedust isendites.

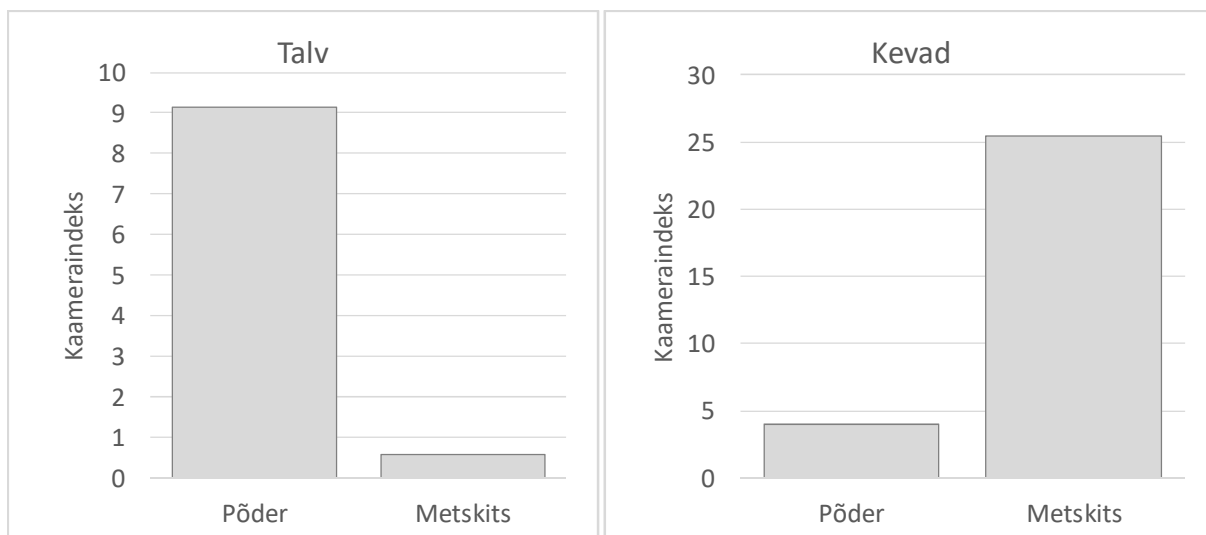


Joonis 8. Metskitse kaameraindeks ja pabulaindeks Karilatsi-Ihamaru (2018. a) ja Järvelja (2019. a) seirealal.

Kaameraindeks – kohtamisjuhtumite arv 100 kaamerapäeva kohta;

Pabulaindeks – pabulahunnikute arv 1 km loendusmarsruudi (laiusega 2 m) kohta.

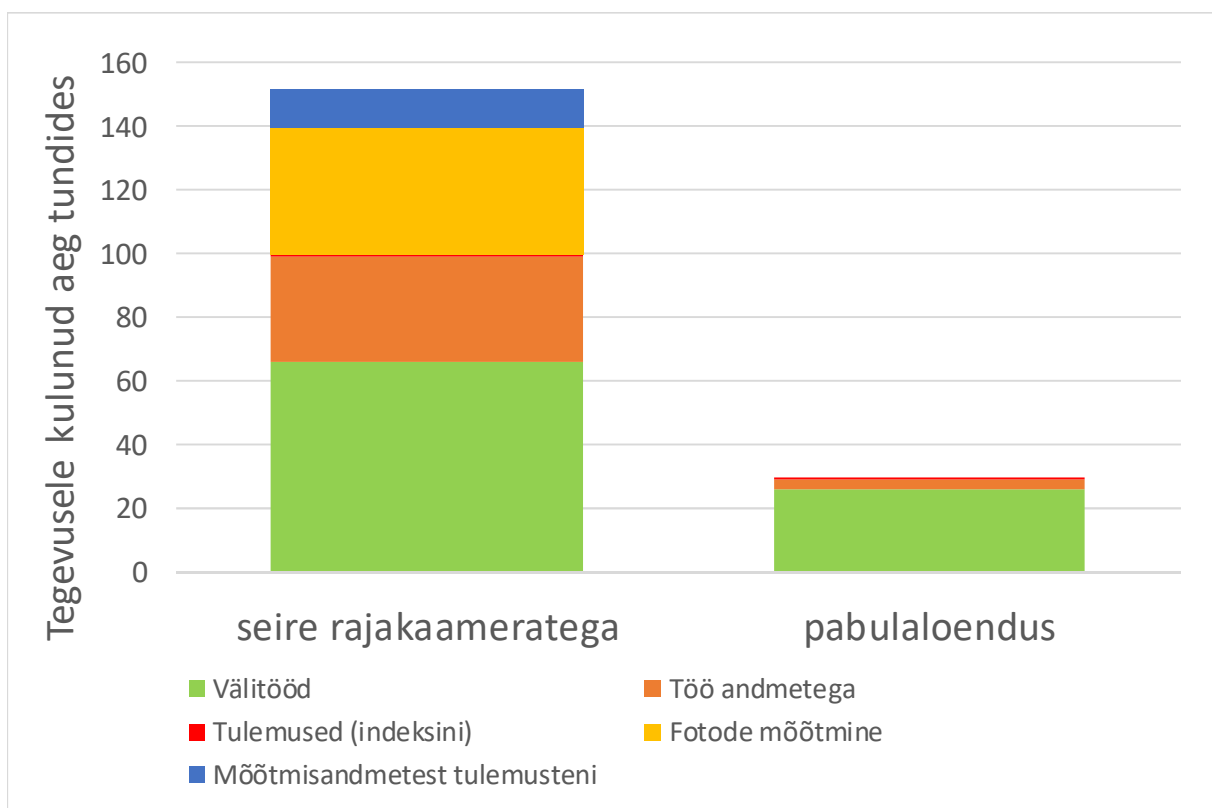
Teiseks võib erinevus olla tingitud metskitsede erinevast paiknemisest ja elupaikade kasutusest pabulahunnikute akumulatsiooniperioodi ja kaameratega jälgimisperioodi ajal. Metskitsede talvine elupaigakasutus ja liikumine ning ka isendite agregatsioon teatud aladele on oluliselt mõjutatud lumeoludest. 2019. a jaanuaris-veebruaris oli lumikate Järvelja seirealal eelneva viie aastaga võrreldes oluliselt sügavam, mis võis oluliselt mõjutada metsaalade kasutust metskitsede poolt. Sellele viitavad Järvelja seirealal 18. jaanuarist kuni 22. veebruarini üleval olnud viie rajakaameraga kogutud pildimaterjal, milles võis eristada vaid ühe metskitsevaatluse, samas kui erinevaid põdravaatlusi oli kokku kuusteist (vt joonis 9).



Joonis 9. Põdra ja metskitse kaameraindeks Järvelja seirealal 2019. a talvel ja 2019. a kevadel. Kaameraindeks – kohtamisjuhtumite arv 100 kaamerapäeva kohta. 175 kaamerapäeva talvel ja 973 kaamerapäeva kevadel.

3. Meetodi rakendamise seotud töömaht

Iga seiremetoodikaga kogutava info kvaliteedi kõrval ei ole sugugi vähem tähtis selle meetodika rakendamise kaasnev ressursi kulu. Joonisel 10 on sel otstarbel ära toodud rajakaamerateaga loenduse eksperimendiga seotud erinevatele tegevustele kulunud ligikaudne aeg ühe seireala kohta. Võrdluseks on joonisele lisatud ka üle Eesti paikneval 47 erineval seirealal tehtavate hirvlaste pabulaloenduste keskmine ajakulu ühe seireala kohta. REM meetodika kasutamise uudsusest tingitud õppimise, erinevatele probleemidele lahenduste otsimisele ja antud aruande koostamisele kulunud aeg joonisel ei kajastu.



Joonis 10. REM meetodika rakendamiseks kulunud aeg ühe seireala kohta erinevate tegevuste kaupa. Võrdluseks on joonisel esitatud ka hirvlaste asustiheduse muutuste jälgimiseks kasutatava pabulaloenduse meetodika rakendamisel ühe seireala kohta kuluv aeg. *NB! Välitöödele kulunud aeg ei sisalda kummagi meetodi puhul seirealale jõudmiseks transpordile kulunud aega.*

Kaamerate paigaldamise ja nende asukohtade vahetusega kaasnevat välitööde ajalist mahtu, juhul kui kaameraid paigaldab ja asukohti vahetab üks töötaja, hindasime antud katsedisaini juures ~66 tunnile. Oluline on aga märkida, et kaheksast välitööpäevast kuuel, mil kaamerate asukohti muudetakse (s.t., esimesel ja viimasel päeval kulub vähem aega, kuna vastavalt toimub vaid 20 kaamera ülespanek või mahavõtmine, ülejäänud kordadel aga samal päeval 20 kaamera

mahavõtmine ja 20 uude kohta ülespanek), kulub antud seirealadel ühel töötajal üksi 20 kaamera asukoha muutmiseks keskmiselt 9–10 tundi. Seirealadel tehtavate hirvlaste pabulaloenduste tegemiseks kulub ühel inimesel keskmiselt kolm tööpäeva (24–26 tundi). Mõlemal juhul lisandub veel transport seirealale ja tagasi. Välitöödega seotud aja ja transpordi kulu on kaameraseire puhul võimalik teatud piirini langetada, hoides kaameraid samades kohtades pikema perioodi vältel ja vähendades kaamerate asukohtade muutmiste arvu. Näiteks kui vähendada erineva kaamera asetusega tsüklite arvu antud eksperimendis kasutatud seitsmelt nädalapikkuselt tsüklilt kolmele kahe-kolme nädalasele tsüklile, kuluks ühel seireala välitöödele u 30 tundi. Sellise lähenemise rakendamiseks kõigil olemasoleval 47 seirealal kuluks kaamerate käitlemise sellisel juhul ~188 tööpäeva. Ideaalis tuleks seirealadel jälgimine korraldada võimalikult samal ajal, mis tähendaks, et kahe kuu vältel oleks välitöödega pidevalt hõivatud 4 töötajat (a ~11 seireala) ning vaja läheks korraga (koos väikese tagavaraga) ligi 1000 rajakaamerat. Samas kohas pikemat aega kaamera hoidmisel tuleb arvestada aga ka mõningate muude riskidega (varastamise oht, patareide-akude tühenemine, aparaadi muud tõrked, mistõttu on suurem risk, et kogu tsükel või osa päevi sellest jääb salvestamata, samuti kaamera paigutuskohtade iseärasused, nt on kaamera sattunud kohta, kus ulukid ei käi jne), mille tõenäosus ja võimalik mõju kogutavale andmestikule suurenevad, mis eeldaks siiski vahepeal kohal käimist kaamerate kontrollimise eesmärgil.

Välitööde mahtude planeerimisel ei tohi ära unustada REM-põhise asustustiheduse hindamiseks soovitatavat minimaalset 50 vaatluse vajadust. Antud eksperimendi andmetele tuginevalt oleks tulnud nt põdra asustustiheduse hindamiseks Karilatsi-lhamaru seirealal soovitatud miinimumvaatluste arvu saavutamiseks 20 rajakaamera asemel seitsmeks nädalaks paigaldada hoopis 60 kaamerat.

Rajakaamerate fotode läbivaatamisele, sisukate fotode eristamisele, fotodel olevate erinevat liiki isendite, isendite arvu ja võimalusel ka soo ja muude iseäralike tunnuste tuvastamisele, kohtamisjuhtumite aegade tuvastamine ja andmete andmebaasi kandmisele kulus ~33 tundi. Kõigilt 47 seirealalt kogutud pildimaterjal annaks selles etapis tegevust ühele täiskohaga töötajale ligi 200 tööpäevaks. See on etapp, kus kõige suuremat ajalist kokkuhoidu võiks anda automaatse liigituvastuse ja masinõppe meetodite rakendamine – klassifitseerimismudeli kõrge täpsuse (95%) korral väheneks hinnanguline inimtööjõukulu ühe seireala puhul laias laastus 1–2 tunnini ja kõigi 47 seireala puhul kuni 10 tööpäevani.

Alternatiivina võib kasutada sisukate piltide eristamiseks ja liikide tuvastamiseks ka vabatahtlike abi, nt *eMammal*'i laadse võrgukeskkonna (<https://emammal.si.edu/>) vahendusel,

mis aitaks küll kokku hoida seiret tegevate spetsialistide tööaega, kuid ei taga riiklikus seires kasutamiseks (kus seirearuanded tuleb koostada teatud tähtajaks) ilmselt piisavalt operatiivselt fotofailidest lõpetatud ja täieliku andmestikuni jõudmist.

Tööde järgmise etapi ajakulu, mil vaatluste arvu ja kaamerapäevade arvu põhjal arvutatakse iga registreeritud liigi kohta kaameraindeks, võtab kõigi teiste etappidega võrreldes väga vähe aega, kuid see vähene ajakulu on võimalik automatiseerimisel kahandada murdosa sekundini.

Välitööde kõrval kujunes kõige suurema ajakuluga tegevuseks antud katses fotodel loomade ja kauguse märgiste asukoha määramine ning fotoseeriade põhjal läbitud vahemaade hindamine. Ühe ala puhul kulus selleks kokku ligi 40 tundi ning lisaks sellele kulus päris palju aega ka fotode mõõtmisandmetest lõpptulemuseni jõudmiseks. 47-lt seirealalt kogutavate fotoseeriade mõõtmiseks ja mõõtmisandmete analüüsiks kuluks antud töös kasutatud lahendusi kasutades ühel täistööajaga töötajal ligi 300 tööpäeva. Mõlemat etappi on tõenäoliselt ka võimalik erinevate arvutustehniliste lahendustega (võimalikud lahendused vajavad uurimist ning ei pruugi tingimata põhineda masinõppel) oluliselt kiiremaks muuta. Samuti võib erinevatelt seirealadelt ja erinevatel aegadel kogutud fotode mõõtmisandmete kogunemisel tõenäoliselt pääseda ka kõikide kohtamisjuhtumite esimese foto mõõtmisvajadusest, kasutades ära nt varasemate mõõtmiste tulemusi ning kõrge arvukusega liikide (nt metskits) puhul võib vaatluste juhtumite suure hulga puhul piisata ka ehk vaid osade, juhuslikult valitud vaatlusjuhtumitega seotud pildimaterjali mõõtmisest

4. Kokkuvõte ja järeldused

2018.–2019. aastal KAURis rajakaamerate abil läbi viidud REM-metoodika katsetamise tulemused näitavad, et meetod sobib ulukite asustustiheduse määramiseks hästi ja praegu kasutatavatest seiremeetoditest (pabulaloendus, jäljeloendus) annab see selgelt realistlikuma tulemuse ning seda väljendatuna konkreetselt isendite arvus piinaühiku kohta. Erandiks on põder, kelle puhul on pabulaloendused osutunud nii Eestis kui ka mujal maailmas väga kulutõhusaks ja piisvalt täpseks meetodiks asustustiheduse hindamisel. Erinevalt pabulaloendustest, mis eeskätt annavad infot sõraliste kohta, saaks rajakaamerate vahendusel kogutava materjali põhjal REM-metoodikaga hinnata ka mitmete väikeulukiliikide asustustihedust, mida täna nende liikide seires kasutatav jäljeloenduste ja küttemisinfo teha ei võimalda.

Rajakaamerate ülesvõtetel baseeruva metoodika laiem kasutusele võtmine võib osutada juba lähemas tulevikus kliimamuutuste, sh ilmselt sagenevate lumevaeste talvede tõttu hädavajalikuks, sest talviseid jäljeloendusi ja jäljevaatlusi, millel pragune seire suuresti baseerub, ei ole võimalik enam teha.

Nagu aruandes kirjeldatud, on kasutatud metoodiline lähenemine just pildimaterjali analüüsi osas väga ajamahukas, mistõttu suudaks KAURi ulukiseire töörühm tänase võimekuse juures ja muude tööülesannete kõrva kirjeldatud metoodikaga katta vaid 1–2 seireala aastas. See oleks küll abiks praegu kasutatavate seiremeetodite kalibreerimisel, kuid Eesti esinduslikuks katmiseks asurkondade kaitse ja ohjamisotsuste tegemiseks vajaliku seireinfoga tuleks pildiantmete läbivaatus ja andmetöötlus kindlasti automatiseerida. Selleks on aruandes pakutud masinõppel põhinevat lähenemist, mis on lähemalt lahti kirjutatud käesoleva aruandega paralleelselt koostatud tegevuskavas masinõppe meetodite rakendamiseks ulukite seires (Linder ja Veeroja, 2019).

Kasutatud kirjandus

- Linder, M., Veeroja, R. 2019. Tegevuskava masinõppe meetodite rakendamiseks ulukite seires. Tartu. Käsikiri Keskkonnaagentuuris.
- Oja, T., Valdmann, H. Saarma, U., Kruuse, M., Oja, R. Anijalg, P. 2018. Põtrade liikuvusuuring GPS/GSM kaelustega riigi põhimaantee 2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa Kose-Mäo (km 40,0-85,0) lõigu piirkonnas. Tartu Ülikooli aruanne Maanteeametile.
- Pfeffer, S. E., Spitzer, R., Allen, A. M., Hofmeester, T. R., Ericsson, G., Widemo, Singh, N. J., J. P. G. M. Cromsigt, J. P. G. M. 2018. Pictures or pellets? Comparing camera trapping and dung counts as methods for estimating population densities of ungulates. *Remote Sens. Ecol. Conserv* 4:173–183.
- Rowcliffe, J. M., Field, J., Turvey, S. T., Carbone, C. 2008. Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *J. Appl. Ecol.* 45, 1228– 1236.
- Rowcliffe, J. M. 2016. Package ‘activity’: animal activity statistics. R package version 1, 1.
- Rowcliffe, J. M., Jansen, P. A., Kays, R., Kranstauber, B., Carbone, C., Pettorelli, N. 2016. Wildlife speed cameras: measuring animal travel speed and day range using camera traps. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 2, 84
- Rovero, F., Zimmermann, F., Berzid, D., Meek, P. 2013. ‘Which camera trap type and how many do I need?’ A review of camera features and study designs for a range of wildlife research applications. *Hystrix* 24, 148–156.