

Hallhülge kohalolu tuvastus allveehelide salvestustest

Code ▼

Mirko Mustonen

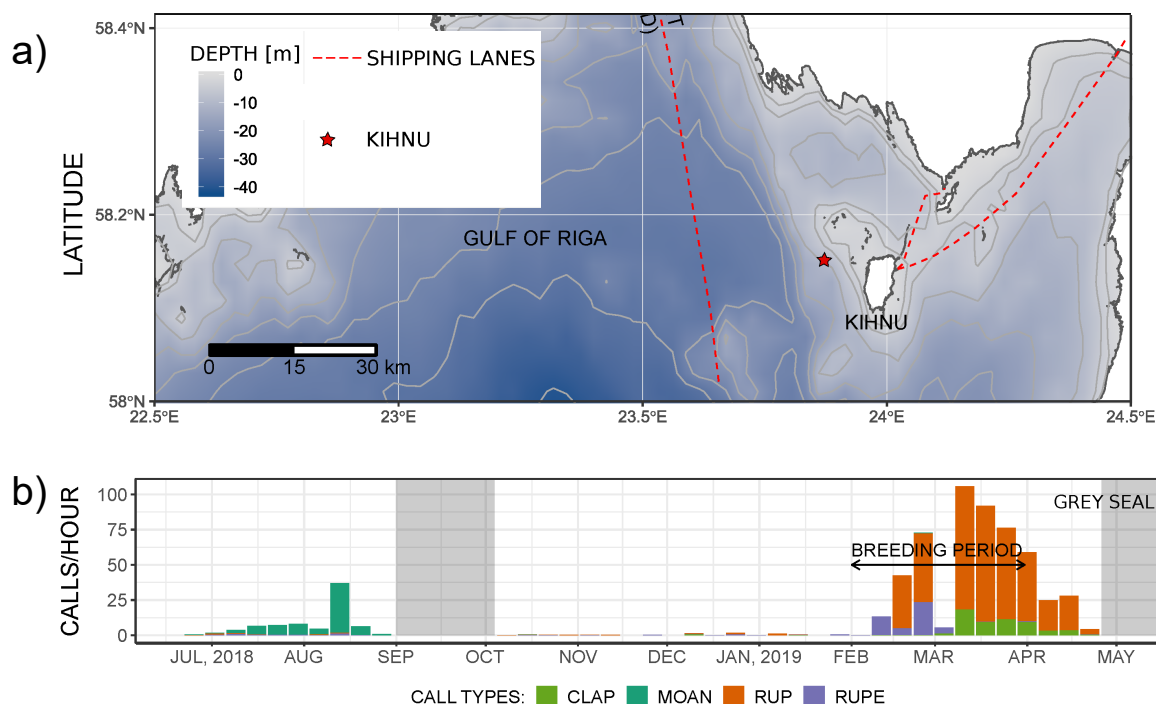
25 juuni 2024

Ülesande lühikirjeldus

Uurimistöö eesmärgiks on teha kindaks Liivi lahes Kihnu saarest läänes oleva ala kasutamine mereimetajate poolt. Selleks kasutatakse antud alal vees olnud helisalvestusseadmete aastase helifailidest automaatse helide tuvastustarkvara abil veealuste bioloogiliste helide detekteerimist ja võimalusel tuvastamist. Tehakse kindlaks erinevate mõõtmispunktide bioloogiliste helide esinemissagedused ja nende muutumine salvestusperioodi jooksul.

Eelnevad teadmised

Antude uuringule eelnevalt on Kihnu lähedal veealuseid helisid salvestatud 9 kuu pikkusel perioodil üle aastate 2018 ja 2019 ulatuva ajaperioodi. Salvestatud helidest tuvastas M.S. Prawirasasra hüljeste häälsusi ja saadud tulemused avaldati teadusartiklis: “M.S. Prawirasasra, Mustonen, M. and Klauson, A., 2021. The underwater soundscape at Gulf of Riga marine-protected areas. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), p.915.”. Siin artiklist pärit joonised mõõtmiste asukohast ning tuvastatud helide ajalisest ülevaatest.



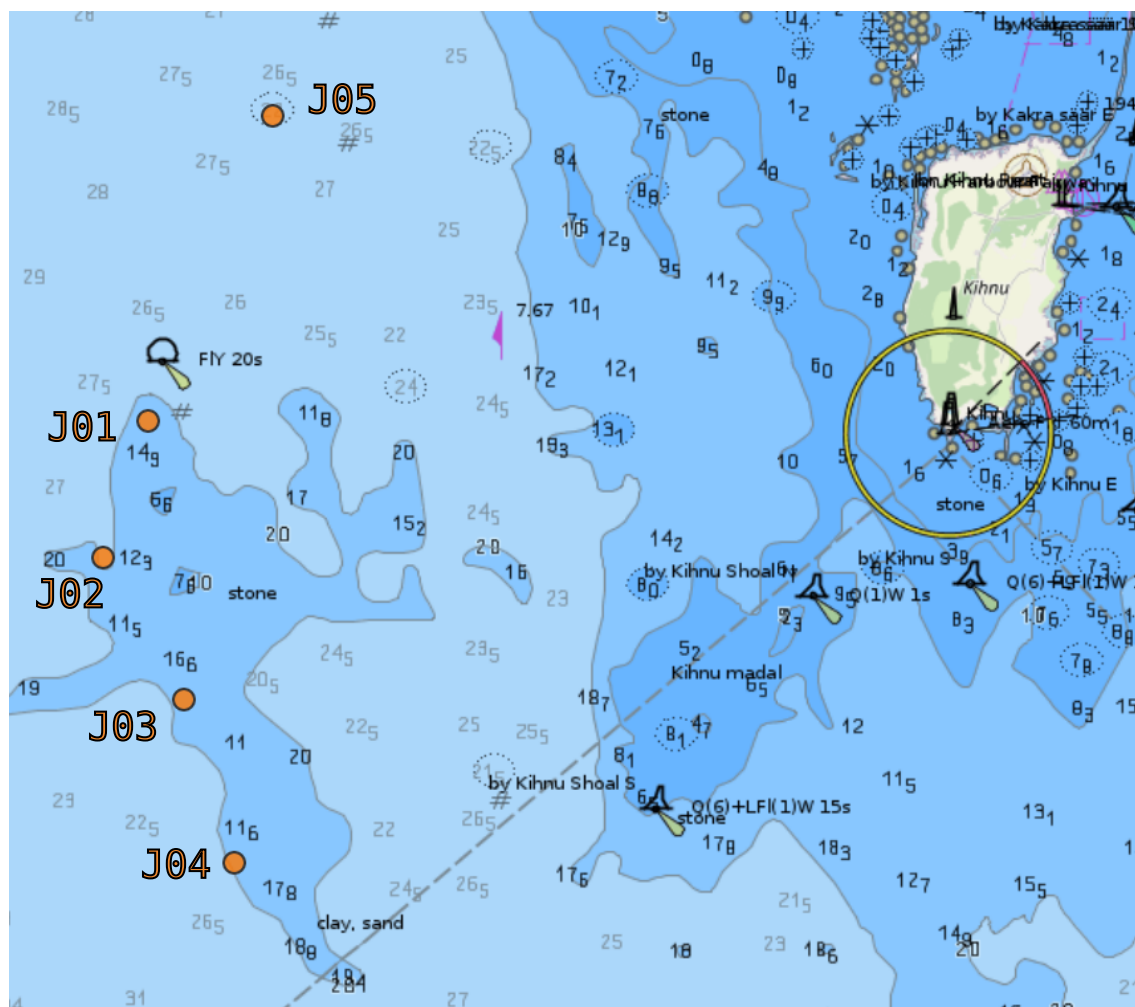
Pilt 1: Eelnev bioloogiliste allveehelide uuring Kihnu saare ümbruses. Pildil a) on punade viisnurgaga tähistatud 2018-2019 helide mõõtepunkti asukoht. Pildil b) näidatud antud asukohas tuvastatud erinevate hallhülge häälsuste sagedused salvestusperioodi vältel. Algapärase pildi autor M.S. Prawirasasra ja on avaldatud artiklis, “M.S. Prawirasasra, Mustonen, M. and Klauson, A., 2021. The underwater soundscape at Gulf of Riga marine-protected areas. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), p.915.”

Pildilt 1 a) on näha, et mõõtepunkt oli Kihnu saarest loode Sangelaidudest läänes. Asukoht valiti konsulteerides Mart ja Ivar Jüssiga, Sangelaidude hallhüljest elupaikade lähedusse. **Pilt 1 b)** näitab, et asukohas tuvastati suures enamuses hallhülge häälightsusi. Detekteeritud häälightsuste järgi on hallhülged suurema häälitsemise aktiivsusega piirkonnas kahel perioodil: 1) **juulist septembrini** ning 2) **veebruari maini**. Teine aktiivne periood langeb kokku hallhüljeste paaritumisperioodiga. Uuringus eristati nelja enimesinenud hallhülge häälightsust/heli

1. “Clap” - on hallhülge poolt tema loivade kokkulöömisel tekkiv impulsiivne heli. Eesti keeles võiks heli nimetada “plaksatus” või “plaks”. (Hülge veealust “plaksutamist” võib näha videost järgneval veebilehel <https://dosits.org/galleries/audio-gallery/marine-mammals/pinnipeds/gray-seal/> (<https://dosits.org/galleries/audio-gallery/marine-mammals/pinnipeds/gray-seal/>))
2. “Moan” - on hallhülge pikem ja pidev häälightsus, mida võiks eesti keeles nimetada “ulg” või “oie” (oigama).
3. “Rup” - häälightsus on kahest impulsiivsest järjestikusest koosnev. See oli ülekaalukalt kõige sagedamini esinev hallhülge häälightsus ja peamiselt paaritumisperioodil. Hea eesti keelne nimetus hetkel puudub.
4. “Rupe”

Mõõtmispunktid ja salvestusajad

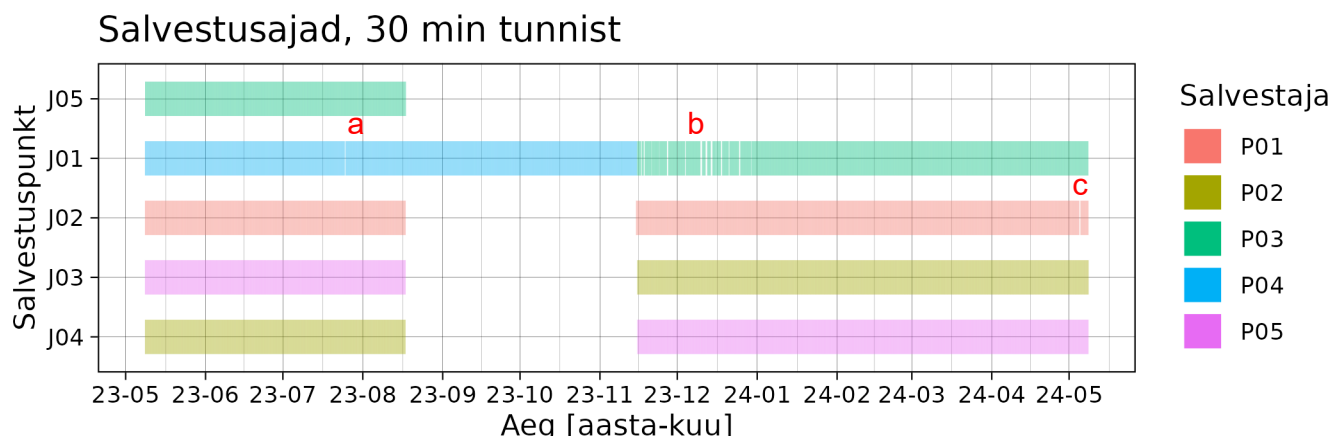
Helisid salvestati viies erinevas mõõtepunktis. mõõtepunktide asukoht on näidatud järgneval kaartil.



Pilt 2: Mõõtepunktide J01-J05 asukohad merekaartil.

Nagu näha **Pildilt 2** on praegused mõõtepunktid Kihnu saarest kaugemal läänes (~ 20 km). Neli esimest punkti J01-J04 paiknevad numbriliselt põhjast lõunasse umbes 2 km vahedega ja asuvad meres oleva ümbruses madalamal alal, mille sügavus on 11 ja 15 m vahel. Viies mõõtepunkt on teistest põhjas ja eelneva **Pildi 1** Kihnu mõõtepunktile lähim. J05 on siiski Kihnu punktist läänes ja üle 20 m sügavuses vees.

Salvestusseadmed RTSys LPSylense olid programmeeritud salvestama 30 min tunnist algusega igal täistunnil. Seadmete kellaeg oli arvestatud UTC ehk maailmaajas. Eri punktides salvestatud helifailide ajad on kujutatud järgneval graafikul.



Pilt 3: Salvestatud helifailide ülevaade. Väridega on tähistatud kasutatud salvestussüsteemide nimetused P01-P05. Punased tähed a,b,c viitavad graafikult ilmnevatele puuduolevatele failidele.

Failide nõ. ajalise katvuse graafikult **Pildil 3** on näha, et salvestajad olid vees kahel perioodil. Kokku on salvestatud helide kogupikkus ligi 2 aastat (täpsemini 21 kuud). Seejuures mõõtepunktis J01 oli salvestaja vees kogu mõõteperioodi alates 2023 8. maist kuni 2024 8. maini ning salvestusseadme vahetus toimus seal teise mõõteperioodi alguses novembri keskpaigas, kui seadme P04 vahetas välja P03. Punktides J02-J04 oli salvestamises paus alates augusti keskpaigas kuni novembri keskpaigani. Mõõtepunktis J05 toimus salvestamine vaid maist augusti keskpaigani. Punaste tähtedega on **Pildil 3** näidatud kohad, kus “valged triibud” viitavad puuduolevatele failidele. Kas mälukaarti või seadme enda rikke tõttu on osadel päevadel salvestamine alanud mitte keskkööl (00:00) vaid keskpäeval (12:00) või mõni tund hiljem/varem. Õnneks pole antud rikkest tulenev andmekadu liiga suur ja esineb kõige enam mõõtepunktis J01 novembri keskpaigast kuni aasta lõpuni (**Pildil 3** tähega **b** tähistatud. **a** ja **c** korral on mõlemal juhul ühe päeva andmed poolikud).

Helide tuvastamine ja tuvastustarkvara

Kuna salvestatud helide kogupikkus on pea 21 kuud on arusaadav, et nendest bioloogiliste helide otsimine kõikide failide läbikuulamise teel ei ole mõistlik. Selleks, et helisalvestustest võimalikud bioloogilised helid üles leida peab kasutama detekteerimist võimaldavat tarkvara. Lõpuks proovisin detekteerimiseks kolme erinevat tarkvara:

1. **PAMGuard** on vabavara, mille peamine arendaja on University of St Andrews in Scotland koostöös teiste organisatsioonidega;
2. **Raven Pro** tasuline tarkvara mille arendaja on Cornelli Ülikooli, ornitoloogia laboratoorium - Cornell Lab of Ornithology;
3. **Kaleidoscope Pro** tasuline tarkvara, mille arendajaks on erafirma Wildlife acoustics;

Mereimetajate häälsüste avastamisega tundub kodulehte uurides enim seotud PAMGuard (https://www.pamguard.org/31_PamguardBackground.html (https://www.pamguard.org/31_PamguardBackground.html)). Antud tarkvara loomise eesmärgiks peakski olema: *rahvusvalise standardse infrastruktuuri pakkumine mereimetajate häälsüste akustilise tuvastuseks, lokaliseerimiseks ja klassifitseerimiseks parandamaks akustiliste mõõtmiste parendamiseks leevendusmeetmete arendamisel läbi mereimetajate arvukuse, paiknemise ja käitumise uurimise*. Seega peaks tarkvara ülesandeks sobima. Siiski on talle kahjuks omane vabavaralise tarkvara tihti esinev peamine probleem: raskesti õpitavus ja kasutatavus. Esmaste katsetustega polnud võimalik tarkvara käivitada rääkimata häälsüste leidmisest. Seetõttu jäi PAMGuard valikust kõrvale.

RavenPro on tarkvara, mida M.S. Prawirasasra kasutas **Pildil 1 b)** näidatud helide detekteerimiseks ja tuvastamiseks. Täpsemini antud tarkvara BLED - Band Limited Energy Detector ehk piiratud sagedusvahemiku energia detektorit. Samas nagu eravestlustes M.S. Prawirasasra mainis oli helide avastamine antud detektoriga äärmiselt aeganõudev protsess. Kokku läks umbes pool aastat ja palju failide üle kuulamist, et usaldusväärse tulemuseni jõuda. Pärast nädal aega proovimist pidi Raven Pro-st väheste tulemuste saamise tõttu loobuma. Detektori parameetrid, mis ühe faili puhul töötasid, ei toimunud teise faili puhul. Raven pro on algselt arendatud linnuteadlaste poolt ning suudaks masinõppe toel ilmselt tuvastada erinevat linnulaulu, kui hallhüljeste häälsustega kiireid tulemusi võimalik polnud saada.

Wildlife acoustics on kunagi tegelenud ka veealuste helide maailmas müües veealuste helide salvestussüsteeme. Siiski on nad enamasti maapealsete õhuhelide salvestussüsteemide arendamisega ja müümisega tegelev Ameerika Ühendriikide ettevõtte. Ka nende tarkvara Kaleidoscope Pro keskendub suures osas nahkhiirte helide tuvastamisele ja klassifitseerimisele. Siiski näitas Kaleidoscope Pro demoversiooni katsetamine, et ta sobib hästi ka hülgehelide avastamiseks. Kasutajaliides oli suhteliselt kergesti arusaadav ning õppevideote abil oli võimalik üsna kiiresti kontrollitavaid tulemusi saada. Kaleidoscope Pro võimaldab üles leitud hääli kiirelt üle kuulata/vaadata ja ise kategoriseerida.

Kaleidoscope detektsioonid

Kaleidoscope'i detekteerimistarkvara jooksutati järgnevate sätetega, mis on näidatud kuvatömmisel alloleval **Pildil 5**.

The screenshot shows the Kaleidoscope Pro software window. The title bar says "Kaleidoscope Pro". Below the menu bar (File, Help, License), there is a dropdown menu set to "Non-bat Analysis Mode" and a button that says "Use 9/9 compute resources". A progress bar shows several steps: Batch (checked), Signal Params (checked and highlighted), Auto ID for Bats (unchecked), Cluster Analysis (checked), SPL Analysis (checked), Acoustic Indices (checked), Cloud (checked), and Db (checked). The "SIGNAL DETECTION PARAMETERS" section is active. It lists several settings: "Signal to be detected:" with a range of 100 - 800 (Hz) Minimum and Maximum Frequency Range; 0.15 - 1.5 (s) Minimum and Maximum Length of Detection; 0.5 (s) Maximum inter-syllable gap; 2 Minimum number of pulses; (kHz) CF Noise Filter Max Freq; (kHz) CF Noise Filter Max Bandwidth. There are two checkboxes: "When zero crossing for conversion or analysis, enhance with advanced signal processing" (checked) and "Remove DC offset" (checked).

The screenshot shows the Kaleidoscope Pro software window. The title bar says "Kaleidoscope Pro". Below the menu bar (File, Help, License), there is a dropdown menu set to "Non-bat Analysis Mode" and a button that says "Use 9/9 compute resources". A progress bar shows several steps: Batch (checked), Signal Params (checked), Auto ID for Bats (unchecked), Cluster Analysis (checked and highlighted), SPL Analysis (checked), Acoustic Indices (checked), Cloud (checked), and Db (checked). The "CLUSTER ANALYSIS" section is active. It lists several settings: "Scan recordings and extract detections (no clustering)" (dropdown menu); 1.0 Max distance from cluster center to include outputs in cluster.csv (2.0 max); FFT Window 21.33ms (512 @-12kHz 1024 @13-24kHz 2048 @25-48kHz 4096 @49-96kHz) (dropdown menu); 10 Max states (8-16 is a good range); .5 Max distance to cluster center for building clusters (0.5 is recommended); 100 Max clusters (default 500).

Pilt 5: Detektsioonideks kasutatud valitud sätted.

Hallhüljeste peamiste hääliitsuste olulisem osa jääb spektri vahemikku 100-800 Hz. Lühimaks detekteeritava signaali valiti 0.15 s, mis vastab ligikaudu plaksatuse või üksiku “rup”-i pikkusele. Maksimaalne hääliitsuse “fraaside” vaheline pikkus 0.5 s valiti korduvate hallhüljeste hääliitsuste järgi (näiteks rupe). Fourieri teisenduse akna pikkus valiti vastaval hallhülge suhteliselt madala sagedusega hääliitsuste jaoks 21.33 ms.

Detektoriga kõiki failide “üle käimiseks” läks kokku aega 32 tundi. Saadud detektsioonid on esitatud alloleval tulpdiagrammil.



Pilt 6: Kaleidoscope Pro tarkvara abil helide päevaste detektsioonide koguarvude ülevaade tulpdiagrammi kujul enne valepositiivsete eemaldamist. Roosa taust näitab aegu, kui salvestamist ei toimunud.

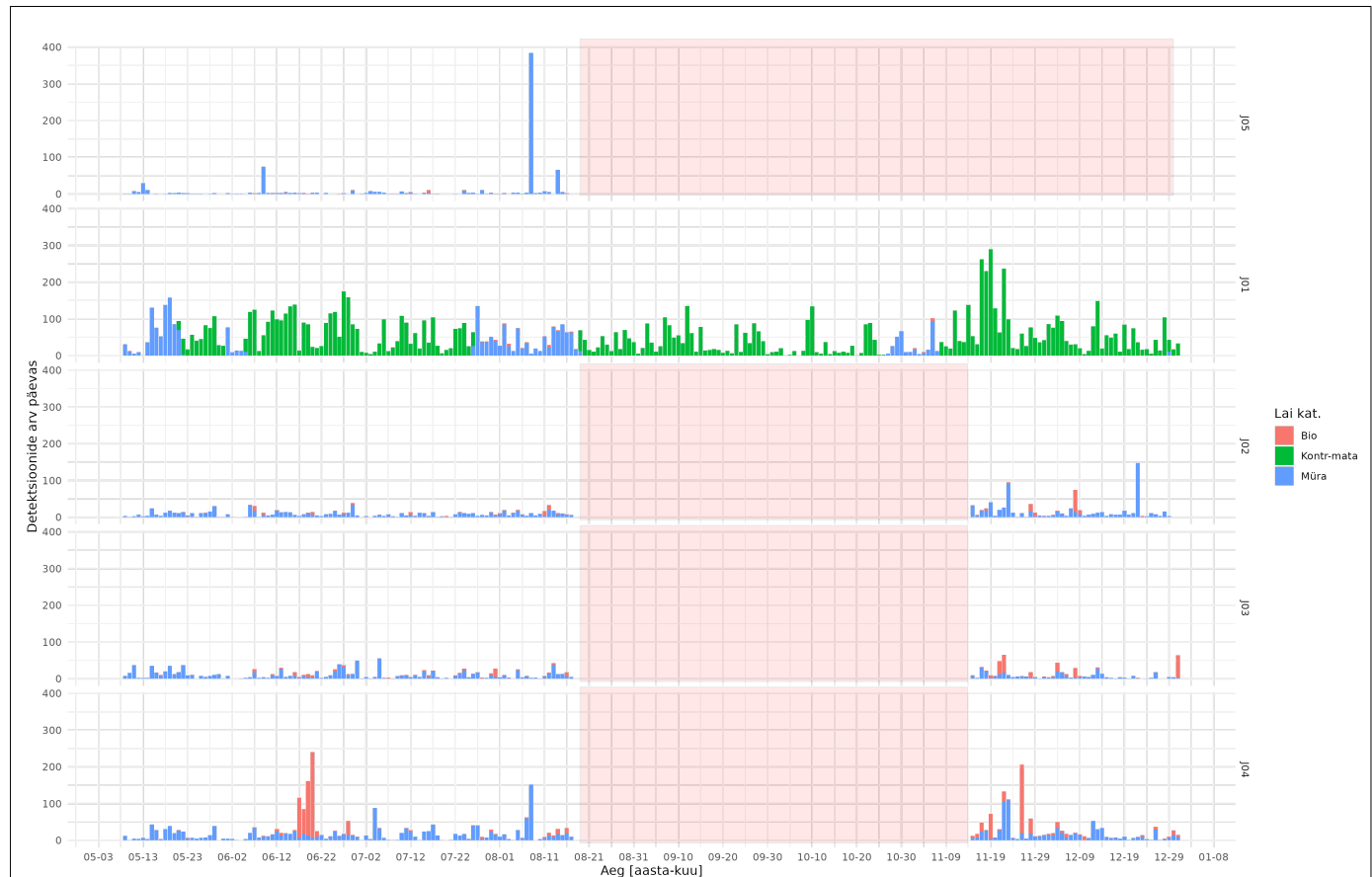
Esimene tähelepanek **Pildilt 6** on sarnasus erinevates mõõtepunktidest J01-J04 mõõdetud detektsioonide arvus. Kõigis neis punktides on detektsioonide arvu tõus lühiajaliselt jaanuari alguses ning maksimaalne päevane detektsioonide arv 8. veebruaril. Seejuures on sel päeval detektsioone enim kõge lõunapoolsemas mõõtepunktis J04 (5229 ehk 217 tunnis). päevane detektsioonide arv on suhteliselt väiksem maist kuni detsembri lõpuni.

Pildil 6 esitatud detektsioonide suurimad arvud ühtivad M.S. Prawirasasra uurimises näidatud suuremate hääliitsuste perioodiga veebruarist maini. Antud juhul lõpeb aktiivsem periood kuu aega varem ehk kestab **veebruarist-aprillini**. Erinevus eelneva uuringuga on detektsioonidest mitte avaldunud aktiivne periood juulist septembrini.

Detektsioonide kontrollimine ja kategoriseerimine

Kaleidoscope Pro tarkvara peaks olema võimeline lisaks huvipakkuva detekteerimisele ka helisid sarnasuse järgi kategooriatesse jagama. Kahjuks hallhülge tekitatud helide puhul ei olnud kategoriseerimine rahuldava täpsusega. Ühte kategooriasse sattusid erinevad mürad ja hülgehelid läbisegi. Selle tõttu pidi detekteeritud helisid lisaks spektrogrammi signatuuri vaatlemisele ka oma kõrvaga üle kuulama. Kontrollimine on ajamahukas ja kõigi üle 460 tuhande detekteeritud heli puhul ei ole see lühikese ajaga võimalik. Tehes lihtsustava eelduse, et valepositiivsete ehk mittehülgehelide detekteerimine on kogu aasta jooksul ligikaudu

samas suurusjärgus on võimalik läbi uurida väiksemate detektsioonide arvuga ajaperioodi 2023 mai kuni 2024 detsembri lõpp. Antud periood sisaldas 4 % detekteerimiste koguarvust, kui on pikkuselt üle poole mõõtmiste ajast.



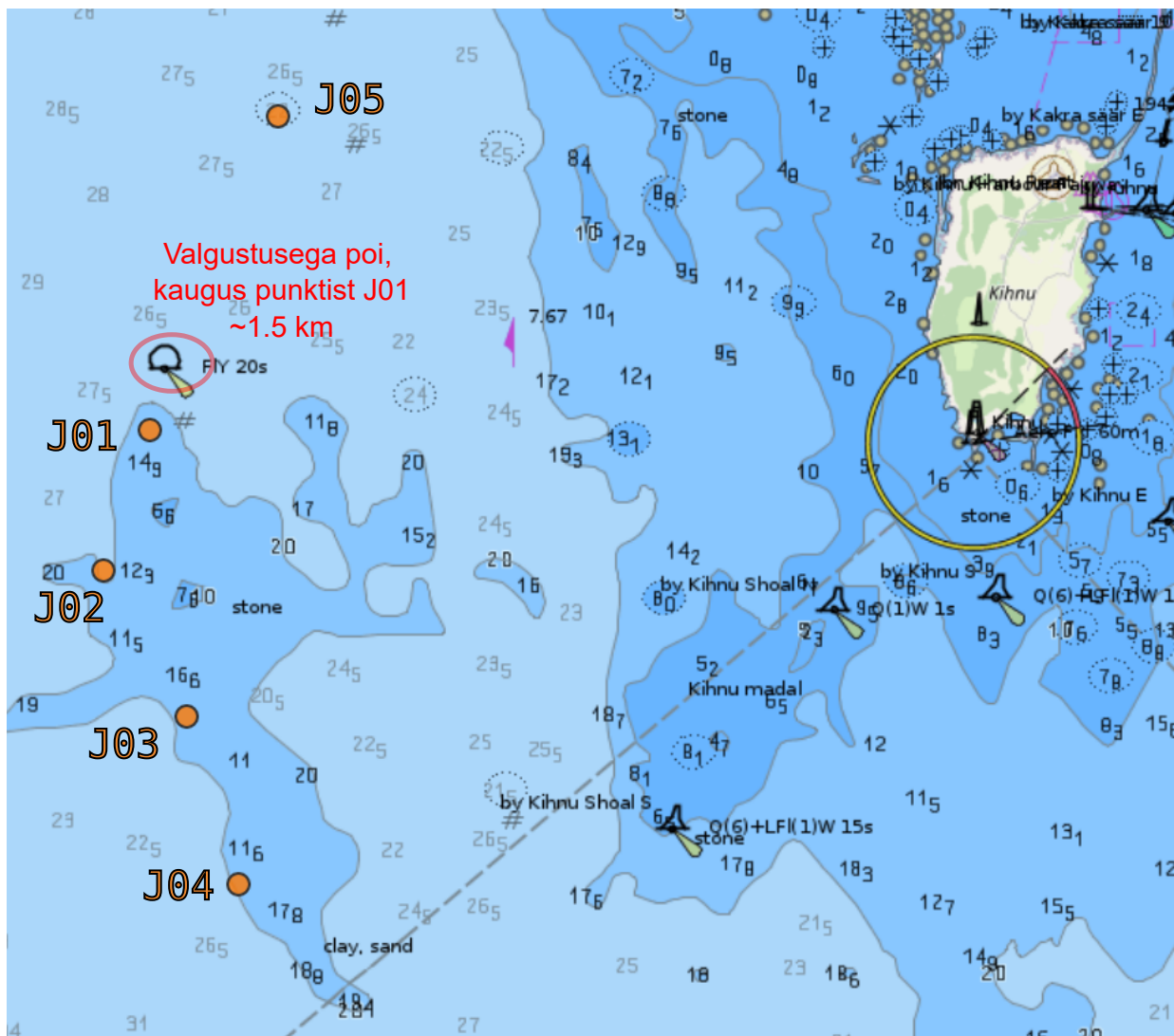
Pilt 7: Kategoriseeritud päevased detektsioonid tulpdiagrammi kujul. Roheline värv tähistab kontrollimata detektsioone, sinine müra ja punane bioloogilisi helisid ehk valdavas enamuses hallhülge hääletsusi. Roosa taust näitab aegu, kui salvestamist ei toimunud.

Pildilt 7 on näha, et valepositiivsete arv mõõtepunktides oluliselt erinev. Seda saab lugeda ka päevaste valepositiivsete detektsioonide mediaanväärtustest, mis on vastavalt 26 punktis J01, 8 - J02, 6 - J03, 10 - J04 ja 3 - J05. Järgnevalt räägime lähemalt enim esinenud valepositiivseid detektsioone tekitanud müradest.

1. Kõige enam valepositiivseid tekitavad erinevad nõ. **vee helid**. Mõned neist võivad kuulamise põhjal olla ka veelindude tegevusega seotud. Enamasti on ilmselt tegu suhteliselt madalas vees mõõtmise tõttu esinevate mürdlainetuse helide salvestamisega. See võib selgitada väiksemate mürade detektsioonide arvu sügavaimas mõõtepunktis J05.
2. Järgnev valepositiivide tekitadaja on **löögi helid**. Suure tõenäosusega tekivad löögi helid salvestusseadme enda võnkumisest liikuvais vees.
3. **Inimtekkelised helid** tekitasid valepositiivseid oluliselt vähem. Nende hulka kuuluvad näiteks laevade tekitatud müra ja mõne keti kolisemine.
4. Vähemal määral leidis detektsioonide hulgas tugeva vihmajärgu, müristamise, aga ka tuvastamata helisid ja akustilise vabastaja helisid.

Suurem valepositiivsete hulk asukohas J01

Pildilt 7 oli ka näha, et mõõtepunktis J01 on valetuvastuste arv üle kahe korra suurem, kui teistes mõõtepunktides. Vaadates lähemalt juba **Pildil 2** esitatud merekaarti ilmneb ka selle põhjus.



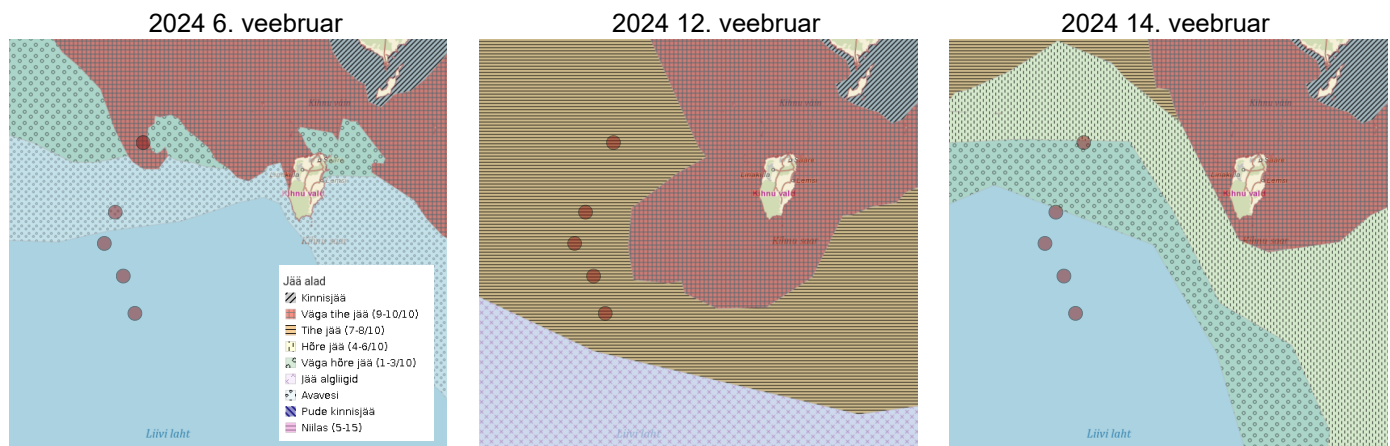
Pilt 8: Mõõtepunktide J01-J05 asukohad merekaartil, kus on punase ringiga näidatud mõõtepunkti J01 läheduses olev valgustusega poi asukoht.

Pildil 8 on antud merekaart uuesti esitatud. Mõõtepunkti J01 vahetusse lähedusse jääb valgustusega poi, mis tekitab oma loksumisega vee helisid. Lisaks on poi ilmselt merepõhja kinnitatud ketiga kuna keti kõlksumist esineb detektsioonide hulgas oluliselt enam, kui teistes asukohtades.

Jääkate mõõtepunktides

Mõõtmisperioodi ajal tekkis Kihnu saare ümber detsembri ja märtsi vahel jääkate. Jää teke mõjutab salvestatud helisid oluliselt. Tekkeperioodil võib jäääärel olla müratase tavalisest kõrgem, lainetuse murdumise tõttu jäääärel. Jääkatte all on looduslik lainetusega seotud veealune helitase enamuses oluliselt madalam. Võimaldades kuulda kaugemalt pärit veealuseid helisid.

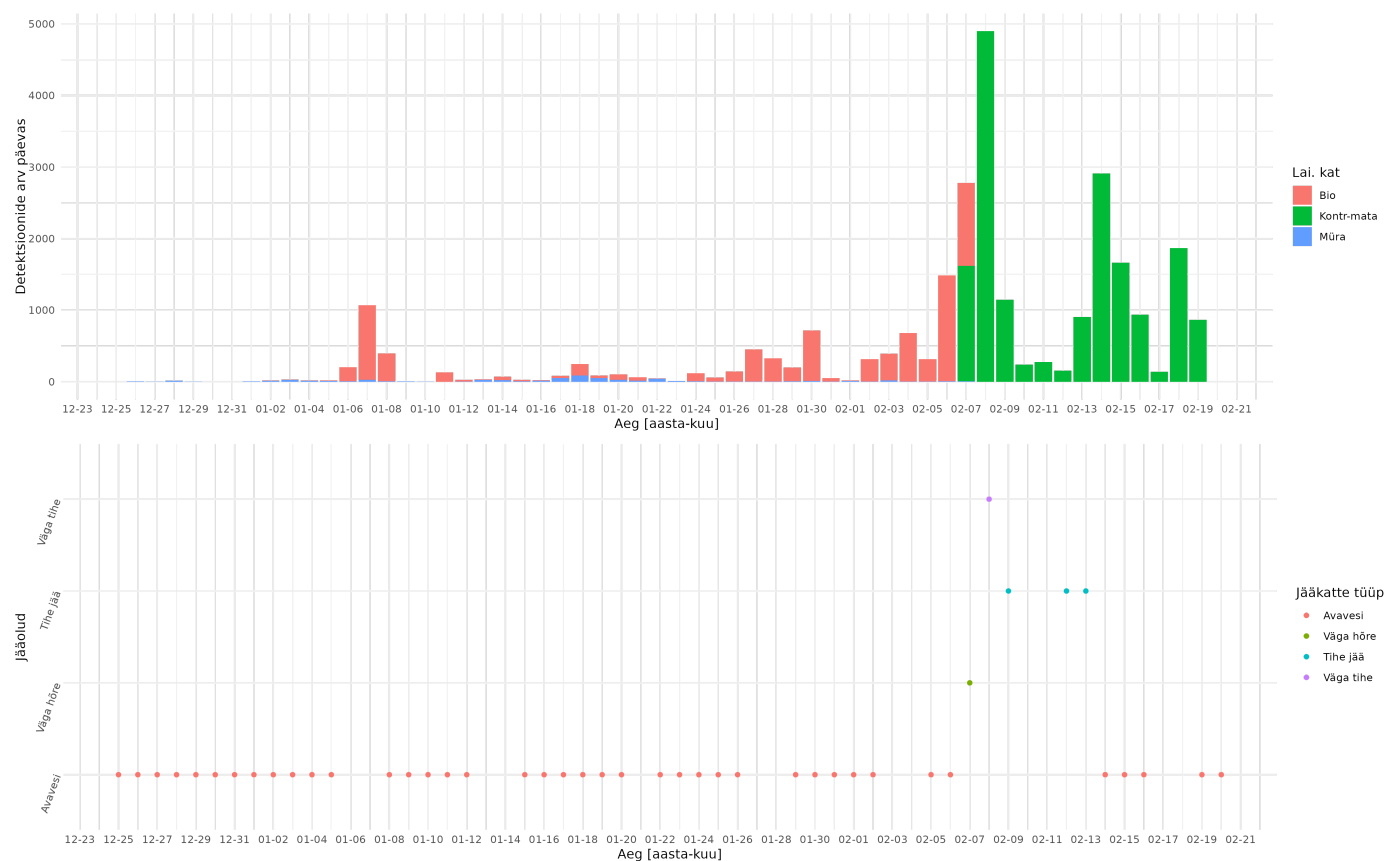
Keskonnaagentuuri avaldab jääkaarte veebilehel <https://jaakaart.envir.ee/> (<https://jaakaart.envir.ee/>). Siin esitame jääkattega perioodi alguse, suurima ulatuse ja lõppu näitavad jääkaartid mõõtepiirkonnast.



Pilt 9: Mõõtepunktide J01-J05 asukohad kolmel jääkaartil 6., 12., ja 14 veebruarist.

Kõige enam esines jääkatet põhjapoolseimas mõõtepunktis J05, kuid selles punktis ei toimunud sel ajal helide salvestamist. **Pildil 9** on esitatud kolm jääkaarti koos mõõtepunktide asukohtadega. Antud kolm kaarti näitavad peamise jääkatteperioodi 1. alguse 6. veebruaril; 2. suurima jääkattega päeva 12 veebruaril; 3. perioodi lõppu tähistava päeva 14 veebruaril.

Jää võimalikust seose piltlikustamiseks esitan aegread J02 helide kategoriseerimisest ja jääkattest.



Pilt 10: Detekteeritud helide päevased arvud ja jääkate mõõtepunktis J02.

Nagu **Pildi 10** aegridadelt näha langes suurim detektsioonide arv kokku jääkatte olemasoluga mõõtepunktis J02. Samas oli langes detektsioonide arv ka jääkatte olemasolul ja järgmise suurema detektsioonide perioodil puudus jääkate piirkonnast täielikult. Lisaks ei paista jää kasvamise ajal valepositiivsete detektsioonide ebatavaliselt suurt arvu. Millest võib eeldada, et detektsioonide päevased arvud vastavad ligilähedaselt (lahutades eeldatava valetuvastuste arv vastavas mõõtepunktis) hallhülge helide arvuga.

Tuvastatud hülgehelid



Pilt 11: Hallhülge helide ja detekteeritud helide päevaste arvude ülevaade a) mitteaktiivsel ja b) aktiivsel perioodil.

Tulemuste kokkuvõte

Vastavalt uurimusele võib väita järgnevat:

1. Liivi lahes Kihnu saarest läänes oleval ala on hallhülgete häälsusi kuulda vähemal või rohkemal määral aastaringselt.
2. Vastavalt häälsuste arvule on mõõtepunktide J01-J04 lähedane ala eriti aktiivselt kasutuses veebruari algusest aprilli alguseni. Mõõtepunktis J05 aktiivsel perioodi ajal salvestamist ei toimunud.
3. Väljaspool aktiivset perioodi leidis häälsusi enim lõunapoolses mõõtepunktis J04 tänu üksikutele keskmisest häälekamatele lühikestele perioodidele.