

2215

NINA Rapport

Forvaltningsrelevant bruk av akustikk for overvåking av norsk natur II

The Sound of Norway 2022

Carolyn M. Rosten, I. Avery Bick, Benjamin Cretois, Jørn Fremstad, Femke Gelderblom, Diego Pavón-Jordán, Tor Arne Reinen, Sarab S. Sethi og Julia Wiel.



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Forvaltningsrelevant bruk av akustikk for overvåking av norsk natur II

The Sound of Norway 2022

Carolyn M. Rosten
I. Avery Bick
Benjamin Cretois
Jørn Fremstad
Femke Gelderblom
Diego Pavón-Jordán
Tor Arne Reinen
Sarab S. Sethi
Julia Wiel

Forvaltningsrelevant bruk av akustikk for overvåking av norsk natur II: The Sound of Norway 2022. Rosten, C. M., Bick, I. A., Cretois, B., Fremstad, J., Gelderblom, F., Diego Pavón-Jordán, D., Reinen, T. A., Sethi, S. S., Wiel, J. 2022. Forvaltningsrelevant bruk av akustikk for overvåking av norsk natur II. NINA Rapport 2215. Norsk institutt for naturforskning.

Trondheim, January 2023

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-5010-8

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Tor Atle Mo

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Ingebrigt Uglem (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

M-2457|2023

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Tomas Holmern

FORSIDEBILDE

Bugg lydlogger © Carolyn Rosten

NØKKEWORD

Akustisk overvåking

Kunstig intelligens

Norge

Nasjonal overvåking

Fugl

Snøskuter

Menneskelig påvirkning

KEY WORDS

Acoustic monitoring

Artificial intelligence

Norway

National monitoring programme

Birds

Snowmobile

Human disturbance

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo

Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen

Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Rosten, C. M., Bick, I. A., Cretois, B., Fremstad, J., Gelderblom, F., Diego Pavón-Jordán, D., Reinen, T. A., Sethi, S. S., Wiel, J. 2022. Forvaltningsrelevant bruk av akustikk for overvåking av norsk natur II. NINA Rapport 2215. Norsk institutt for naturforskning.

Akustisk naturovervåking blir i økende grad brukt i forsknings- og forvaltningssammenheng, både i Norge og internasjonalt. Utvikling av sensortechnologi gjør at disse kan logge og sende data i sanntid over flere måneder uten tilsyn. Automatisering av analysemetoder betyr at mange tusentalls timer av data kan analyseres i løpet av kort tid. Dette gjør at metoden er klar til å ta i bruk for naturovervåking.

I denne rapporten presenterer vi for første gang prosjektet Sound of Norway 2022, som i år er utført i samarbeid med prosjektet Norsk hekkefuglovervåking. Så vidt vi kjenner til, er dette det første eksempelet på et landsdekkende autonomt akustisk overvåkingsnett med stor geografisk spredning i Norge. Tretti enheter ble installert i åtte klynger med stor geografisk spredning i Norge på lokaliteter undersøkt av Norsk hekkefuglovervåking. Det akustiske nettverket var aktivt fra mars til november 2022 og samlet inn totalt 76 746 timer med lydopptak. Lyddataene ble lastet opp direkte fra lydloggerne over en mobil internettforbindelse og analysert i sanntid ved hjelp av en modell for deteksjon av fuglevokalisering (BirdNET). Basert på ekspertvalidering har vi per nå godkjent 61 fuglearter for bruk i automatisert identifikasjon fra våre datasett. Kravet er et presisjonsnivå på over 80 %.

Vi valgte ut tre lokaliteter, én i Nord-, én Midt- og én Sør-Norge for å illustrere hvordan kontinuerlig akustisk overvåking kan komplementere Norsk hekkefuglovervåking ved å vurdere mønstre og oppdage tilstedeværelse av mindre vanlige arter. Data fra disse tre lokalitetene illustrerer ankomst og forekomst av trekkende arter om våren og framover sommeren. Basert på lyddata kunne vi se at antall arter økte først i sør, deretter i Midt-Norge og til slutt i nord. Toppen i artsrikdom ble observert fra lyddata i sør i slutten av september. Dette tyder på at systemene detekterte nordlige arter som migrerer gjennom de sørlige områdene.

Vi valgte to arter; bjørkefink (*Fringilla montifringilla*) og granmeis (*Poecile montanus*) for analyse i rapporten. Bjørkefink som er en trekkende art med begrenset hekkeutbredelse i Fennoskandia og Nord-Sibir, ble påvist på alle tre lokalitetene, først i sør, deretter i Midt-Norge og til slutt i nord. Norsk hekkefuglovervåking har som mål å dokumentere endringer i antall par i hekkeområdet over tid for mer vanlige fuglearter i Norge. Bjørkefink ble ikke registrert i 2022 i den sørlige lokaliteten som er utenfor hekkeområdet, men den ble derimot registrert i sitt hekkeområde lenger nord. Dette er et godt eksempel på at selv om Norsk hekkefuglovervåking når sitt mål om å registrere vanlige arter i hekkeområdet sitt kan tilleggsinformasjon om fenologi fra kontinuerlig akustisk overvåking tilføre noe. For eksempel ser vi at granmeis, som er en rødlistet art kategorisert som sårbar (VU) i Norge, ble oppdaget på alle tre lokalitetene ved bruk av kontinuerlig akustisk overvåking. Denne arten ble ikke registrert i Norsk hekkefuglovervåking i 2022 da den ikke er blant de vanlige hekkefuglene i målgruppen. Dette er et eksempel på at komplementær informasjon fra kontinuerlig akustisk overvåking i noen tilfeller kan hjelpe til med å oppdage sjeldne eller vanskelig oppdagbare arter både i og utenfor hekkeområdet. Både punkt- og linjetransakter brukt i Norsk hekkefuglovervåking, og akustisk overvåking har fordeler innenfor sine bruksområder. De vil gjensidig styrke hverandre og potensielt gi et bredere overvåkningsresultat.

Naturen påvirkes stadig mer av menneskelig aktivitet, og motorferdsel er en aktivitet som det hittil har vært vanskelig å dokumentere. Det gjelder både antall kjøretøyer og kontroll med hvem som kjører ulovlig med snøskuter og ATV-er i terrenget. Motorferdsel kan forstyrre dyreliv direkte på grunn av støy, eller indirekte gjennom at mennesker tar seg inn i områder det vanligvis oppholder seg få eller ingen personer. Kjøretøyene kan også forårsake skader på terrenget. Akustisk overvåking kan tilby en løsning for å dokumentere motorferdsel i naturen. NINA og SINTEF (Akustikkgruppa ved SINTEF Digital) har utviklet en modell som oppdager snøskutere ved hjelp

av maskinlæring av lydopptak fra naturen. Modellen viste døgntrender i snøskutertrafikk fra lydopptak gjort i Yellowstone National Park, USA og skilte mellom trafikkerte snøskuterspor og områder uten snøskutertrafikk. Ved bruk av BirdNET og snøskuterdetektoren i det samme datasettet, viser vi responsen hos fugler på snøskuterpassering. Modellen kan brukes på undersøkelser av snøskuterbruk og snøskuterens påvirkning på naturen, men også tilpasses til å overvåke andre motorkjøretøy.

Til slutt presenterer vi dagens status for akustisk naturovervåking og gir klare anbefalinger for hvordan akustisk overvåking best kan bidra til norsk naturforvaltning i dag. Disse inkluderer: (1) Fortsatt samkjøring av prosjektene Sound of Norway og Norsk hekkfuglovervåking over flere år, (2) Fokuserer på arter som er sjeldne, fremmede eller vanskelig å oppdage, (3) Iverksette måling av menneskelig påvirkning på naturen gjennom motorferdsel i eksisterende naturovervåkingsprosjekter, (4) Utvikle og teste et system for varsling av ulovlig motorferdsel i naturen i sanntid og (5) Kartlegge fritidsbruk av naturen.

Carolyn M. Rosten, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. carolyn.rosten@nina.no

I. Avery Bick, NINA, Sognsveien 68, 0855 Oslo. avery.bick@nina.no

Benjamin Cretois, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. benjamin.cretois@nina.no

Jørn Fremstad, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. jorn.fremstad@nina.no

Femke Gelderblom, SINTEF, Postboks 4760 Torgarden, 7465 Trondheim. femke.gelderblom@sintef.no

Diego Pavón-Jordán, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. diego.pavon-jordan@nina.no

Tor Arne Reinen, SINTEF, Postboks 4760 Torgarden, 7465 Trondheim. tor.a.reinen@sintef.no

Sarab S. Sethi, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. sarab.sethi@nina.no

Julia Wiel, NINA, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. julia.wiel@nina.no

Abstract

Rosten, C. M., Bick, I. A., Cretois, B., Fremstad, J., Gelderblom, F., Diego Pavón-Jordán, D., Reinen, T. A., Sethi, S. S., Wiel, J. 2022. Management-relevant applications of acoustic monitoring for Norwegian nature II. NINA Report 2215. Norwegian Institute for Nature Research.

Acoustic nature monitoring is increasingly used in research and management contexts, both in Norway and internationally. The development of sensor technology allows audio devices to log and send data in real time over several months without supervision. Automation of analytical methods means that many tens of thousands of hours of data can be analyzed in a short period of time. This means that the method can now be applied to nature monitoring on a national scale.

In this report we first present the Sound of Norway project 2022, which this year aligned with the Norwegian Breeding Bird Survey. To our knowledge, this is the first example of a nationwide autonomous acoustic monitoring network, covering the full latitude and longitude of Norway. Thirty devices were installed in eight clusters across Norway on sites surveyed by the Norwegian Breeding Bird Survey. The network ran from March to November 2022 gathering in total 76 746 hours of audio data. Audio data were uploaded directly from the field over a mobile internet link and analysed in real-time using a bird vocalisation detection model (BirdNET). Based on expert validation, we have now approved 61 bird species with precision over 80 % for use in automated classification from our datasets.

We selected three sites, one in the north, one in the centre and one in the south of Norway to illustrate how continuous acoustic monitoring can complement the Norwegian Breeding Bird Survey by assessing patterns and detecting presence of less common species. Data from these three sites illustrate the onset of spring and influx of migratory species. Species richness based on vocalisations increased first in the south, so in the centre, finally rising in the north. The peak was short lived in the north, extending in duration towards the south. A second peak in species diversity was seen in the south in late September, suggesting that the systems picked up on northern species migrating through.

Two species, the brambling (*Fringilla montifringilla*) and the willow tit (*Poecile montanus*) were selected for further analysis. The brambling, a migratory species with a restricted breeding distribution to Fennoscandia and northern Siberia, was detected on all three sites. Again, detections followed the migration of the species with first detection in the south, then centre and finally in the north. Based on the timing of the Norwegian Breeding Bird Survey transect sampling, the transect in the south did not record the brambling. However, they were recorded within their breeding range further north. This is a good example of additional information on phenology that continuous acoustic monitoring could bring to the Norwegian Breeding Bird Survey. The willow tit, a red-listed species categorised as Vulnerable in Norway was again detected at all three sites by continuous acoustic monitoring. Based on timing of the transect the willow tit was missed during the Norwegian Breeding Bird Survey sampling. Since the Norwegian Breeding Bird Survey aims to monitor common terrestrial breeding birds, it is not unexpected that this species went unrecorded. This is however, a good example of complimentary information continuous acoustic monitoring can bring on rare, and difficult to detect species.

Nature is increasingly affected by human activity, and motor traffic is an area that has so far been difficult to document and control. Motor traffic can disturb wildlife directly through noise or indirectly by people entering remote areas usually without human presence. Vehicle use (e.g. ATV) can also cause terrain damage. In addition, illegal driving with snowmobiles and ATVs in the terrain is very difficult to detect and document. Acoustic monitoring can offer a solution for documenting motor traffic in nature. We developed a model that detects snowmobiles using machine learning of sound recordings from nature. The model demonstrated diurnal trends in snowmobile traffic from audio recordings made at Yellowstone National Park, USA and distinguished between busy snowmobile tracks and those with no snowmobile traffic. Using both BirdNET and the snowmobile detector on the same data set, we show the response of birds to snowmobiles

passing. The model can be applied to investigations of snowmobile use and impact on the nature of snowmobiles, but also adapted to detect other motor vehicles.

Finally, we present the current status of acoustic nature monitoring and provide clear recommendations for how acoustic monitoring can best contribute to Norwegian nature management today. These include: (1) Continued aligned cooperation of the Sound of Norway and Norwegian Breeding Bird Monitoring projects over several years, (2) Focus on rare, alien and difficult to detect species, (3) Implement measurement of human impact on nature through motor traffic in existing nature monitoring projects, (4) Develop and test a system for warning of illegal motor traffic in nature in real time and (5) Map recreational use of nature.

Carolyn M. Rosten, NINA, P.O. Box 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. carolyn.rosten@nina.no
I. Avery Bick, NINA, Sognsveien 68, 0855 Oslo. avery.bick@nina.no
Benjamin Cretois, NINA, P.O. Box 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. benjamin.cretois@nina.no
Jørn Fremstad, NINA, P.O. Box 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. jorn.fremstad@nina.no
Femke Gelderblom, SINTEF, P.O. Box 4760 Torgarden, NO-7465 Trondheim. femke.gelderblom@sintef.no
Diego Pavón-Jordán, NINA, P.O. Box 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. diego.pavon-jordan@nina.no
Tor Arne Reinen, SINTEF, P.O. Box 4760 Torgarden, NO-7465 Trondheim. tor.a.reinen@sintef.no
Sarab S. Sethi, NINA, P.O. Box 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. sarab.sethi@nina.no
Julia Wiel, NINA, P.O. Box 5685 Torgarden, 7485 Trondheim. julia.wiel@nina.no

Innhold

Abstract	5
Forord	8
1 Innledning.....	9
1.1 Akustisk overvåking	9
1.2 Prosjektet Norsk hekkefuglovervåking	9
1.3 The Sound of Norway 2022.....	9
1.4 Automatisk gjenkjenning av lyd	10
2 The Sound of Norway 2022	11
2.1 Prosjektdesign	11
2.2 Implementering og validering av en modell for å gjenkjenne arter	12
2.3 Komplementær informasjon for Norsk hekkefuglovervåking	14
3 Akustisk overvåking i sanntid av motorferdsel i Norsk natur.....	20
3.1 Utvikling av en automatisk snøskuterdetektor.....	20
4 Status for autonom akustisk naturovervåking ved årsskiftet 2022-2023.....	27
4.1 Status for akustisk naturovervåking i Norge.....	27
4.2 Status for akustisk naturovervåking internasjonalt.....	27
5 Generelle anbefalinger for forvaltningen og veien videre	28
6 Referanser	30

Forord

Naturmangfoldet avtar raskere enn noen gang over hele verden. For å reversere nedgangen i biologisk mangfold er det nødvendig med effektive verktøy for å overvåke globale trender i biomangfold og informere naturforvaltningen. Akustisk overvåking av biologisk mangfold i sanntid kan i økende grad tas i bruk gjennom utvikling innen sensorteknologi og databehandlingsmetoder med kunstig intelligens.

Akustisk naturovervåking er en ny metode, og et nytt virkemiddel, for å kunne overvåke både terrestriske og akvatiske miljøer på en rask og enkel måte. Et lydopptak fra et økosystem kan være nok for å kunne påvise fremmede eller truede arter, beskrive artsfenologi eller dokumentere økologisk tilstand. I denne rapporten har vi på oppdrag fra Miljødirektoratet sammenstilt aktiviteter hos NINA med akustisk naturovervåking i 2022. Vi rapporterer Sound of Norway prosjektet 2022, som for første gang ble samkjørt med prosjektet Norsk hekkefuglovervåking, noe som ga oss komplementære data og nyttig informasjon for begge prosjekter. Dette var, så vidt vi vet, det første prosjektet på autonom akustisk overvåking på nasjonal skala i verden. I tillegg presenterer vi den nye detektoren for akustisk overvåking av snøskuter. I fremtiden kan den brukes til både å undersøke menneskelig påvirkning av naturen med motorkjøretøy, og varsle om ulovlig kjøring i sanntid. Vi har i år tatt et stort skritt mot å skape et autonomt, akustisk naturovervåkingssystem med en sanntidsautomatisk deteksjon av biomangfold og menneskelig aktivitet. Det kan gi et vesentlig bidrag i kartleggingen og overvåkingen hos forvaltningen.

En stor takk rettes til Miljødirektoratet og spesielt Tomas Holmern for å anerkjenne den fremtidige nytten av akustisk naturovervåking for forvaltningen. Vi takker alle grunneiere som ga tillatelse og tilgang til å sette ut utstyr på sin eiendom, og som ofte ga en del tips om plassering. Vi vil takke NIBIO Pasvik og Sigurd Benjaminsen for tilrettelegging og god hjelp i felt. Vi ønsker å takke Bård G. Stokke, John A. Kålås (NINA) og Ingar J. Øien (BirdLife Norge) for tilgjengeliggjøring av data fra Norsk hekkefuglovervåking, samt for konstruktive innspill til rapporten. Tom Roger Østerås gjorde igjen en formidabel innsats med validering av fuglelyder med kort frist mellom ferdig innhentete data og rapportering. Vi takker Tor Atle Mo for innspill til den skriftlige delen. Til slutt må jeg takke tre små helter Theo, Josie og Juniper som har lånt bort mammaen sin i akustisk vitenskapens navn en god del av 2022.

16 January 2023, Trondheim
Carolyn Rosten

1 Innledning

1.1 Akustisk overvåking

Akustiske sensorer kan levere data i sanntid kontinuerlig fra et bredt spekter av arter, og data kan innhentes uavhengig av lysforhold eller sikt og over lange avstander. Akustiske sensorer kan enkelt utplasseres i stort antall (for eksempel over et helt land), for å overvåke biologisk mangfold i stor skala i både tid og rom. Utviklingen på feltet har gjort det mulig å drive overvåking i sanntid, (Sethi et al. 2021), sensorene har blitt rimeligere og maskinvaren har blitt mer tilgjengelig (Hill et al. 2018). Også miniatyrisering (μ Moth; <https://www.openacousticdevices.info/audio-moth>) og implementering av folkeforskning via mobiltelefoner (f.eks. Dawn Chorus prosjektet <https://dawn-chorus.org/en/>) åpner for nye muligheter. Akustiske data fra disse kildene kan gi nøkkelinformasjon som kanskje ikke er tilgjengelig gjennom tradisjonelle overvåkingsprogrammer som overvåking av arters atferd, interaksjoner, fenologi, fysiologi, bestandsstruktur og økosystemfunksjoner, i tillegg til menneskelige forstyrrelser. Gjennom å kombinere akustisk overvåking med pågående overvåkingsprogrammer, kan vi tette kunnskapshull og styrke overvåkingsprogrammene.

1.2 Prosjektet Norsk hekkefuglovervåking

Ett eksempel på et overvåkingsprogram som kan suppleres med akustisk overvåking er prosjektet Norsk hekkefuglovervåking. Som en del av arbeidet med å ta vare på biologisk mangfold i Norge overvåkes hekkebestander av terrestriske fuglearter i et nettverk av lokaliteter som er fordelt over hele Norge. Prosjektet Norsk hekkefuglovervåking er basert på et nettverk bestående av ca. 10 000 tellepunkter samlet i ca. 500 takseringsruter. Disse er fordelt regionvis innenfor de seks regionene: Øst, Sør, Vest, Midt, Nordland/Troms og Finnmark. Som hovedregel for utlegging av takseringsrutene, blir 20 tellepunkter plassert med 300 meters avstand langs sidene i et kvadrat med sidelengde 1,5 km.

Tellingene av fugl utføres i hovedsak i perioden 23. mai–8. juli, og hver rute har fått tildelt en fast 14-dagersperiode som tellingene skal utføres i. Tidspunktene kan justeres noe dersom våren er svært tidlig eller sen i forhold til normalt. Metode for gjennomføring av disse takseringene er, kort beskrevet: En opptelling av fugl etter gitte retningslinjer i nøyaktig fem minutter på hvert tellepunkt, og skilt mellom observasjoner nærmere/lenger borte enn 50 meter (punktaksering, se Kålås & Husby 2002, samt egne instruksjoner til felpersonell gjort tilgjengelig på nettstedet <http://tov-e.nina.no/Fugl/>). I tillegg blir det registrert observasjoner av et utvalg av mindre tallrike arter ved forflytning mellom tellepunktene (linjetaksering).

1.3 The Sound of Norway 2022

Prosjektet Norsk hekkefuglovervåking er utviklet for å måle nasjonale bestandsendringer på en representativ måte hos en hel rekke av Norges mer vanlig forekommende terrestriske hekkefuglarter (Kålås & Husby 2002). Data er samlet inn med vekt på å dekke et høyt antall punkter (høy dekningsgrad i rom), men med kun ett tidspunkt per år (lav dekningsgrad i tid). Ved å bruke akustisk overvåking, som samler data gjennom døgnet over flere måneder, kan tidsperspektivet økes. Dette kan i stor grad utfylle dataene prosjektet Norsk hekkefuglovervåking samler inn per i dag.

Tidligere rapporter til Miljødirektoratet (Rosten & Fossøy 2020, Sethi et al. 2021) gir en bred oversikt over hvilken type data akustisk overvåking kan tilføre naturforvaltningen. I denne rapporten ser vi spesielt på informasjon fra akustisk overvåking som kan utfylle prosjektet Norsk hekkefuglovervåking og bidra med ny data der det ikke fins løsninger per i dag. Kontinuerlig akustisk overvåking samler data med høy tidsmessig dekning. Metoden er derfor godt tilpasset til å gi informasjon om fenologi og døgnmønster i adferd/aktivitet. I tillegg til å gi nyttig biologisk informasjon, kan den bidra til å evaluere tidspunktet valgt for gjennomføring av prosjektet Norsk

hekkefuglovervåking. Også, siden overvåkingen skjer kontinuerlig, øker muligheten for å oppdage arter det ellers er vanskelig å registrere, slik som truede, fremmede eller nattlige arter. Hypotesen vår i prosjektet er dermed at akustisk naturovervåking kan gi ny informasjon og fylle datahull om fenologi og arter det er vanskelig å oppdage, og at det kan øke verdien av prosjektet Norsk hekkefuglovervåking.

1.4 Automatisk gjenkjenning av lyd

Et nettverk av lydloggere som kontinuerlig er i drift skaper store mengder data. Sound of Norway-prosjektet samlet 58 355 timer med lydopptak i 2021 og 76 746 timer i 2022. For å skille ut observasjoner i lydopptakene, er det nødvendig å ha metoder for automatisert analyse. Kunstig intelligens brukes i økende grad for å gjenkjenne og klassifisere lyd i opptakene (Stowell 2022), og internasjonalt jobbes det mye for å utvikle lyd-gjenkjenningsmodeller for nye taksoner. (Sethi et al. 2021) introduserte bruken av fuglegjenkjenningsmodellen BirdNET i Sound of Norway i 2021. I år har prosjektet fortsatt å bruke og validere modellen, slik at alle artene som oppdages i minst 50 opptak i 2021/2022 er validert. For å kunne evaluere bruken av akustisk overvåking i registreringen av arter som det kan ta lang tid å samle 50 opptak av, har prosjektet i tillegg validert noen utvalgte arter selv om det fins færre enn 50 opptak av dem.

Menneskelig påvirkning av naturen og dyreliv skjer på mange måter. Forstyrrelser i form av mennesker eller kjøretøy (f.eks. snøskutere) i terrenget har frem til nå vært vanskelig å dokumentere og kvantifisere. Ved å ta i bruk en modell for kunstig intelligens som automatisk gjenkjenner tilstedeværelse av mennesker i naturen, kan vi samle viktig informasjon for å evaluere betydningen av at mennesker påvirker naturen. I 2021 utviklet NINA en modell for stemmegjenkjenning (Cretois et al. 2022, Sethi et al. 2021) som gjør det mulig å ivareta personvernet, samt å kvantifisere menneskers tilstedeværelse. I et nytt internt prosjekt har NINA og SINTEF (Akustikkgruppa ved SINTEF Digital) i 2022 utviklet en modell for gjenkjenning av snøskutere i naturen. Modellen presenteres i Kapittel 3. Med dette har vi nå bygd opp en kanal for analyse som gjenkjenner og klassifiserer fuglearter og menneskelig aktivitet på naturen i form av stemmer og kjøretøy.

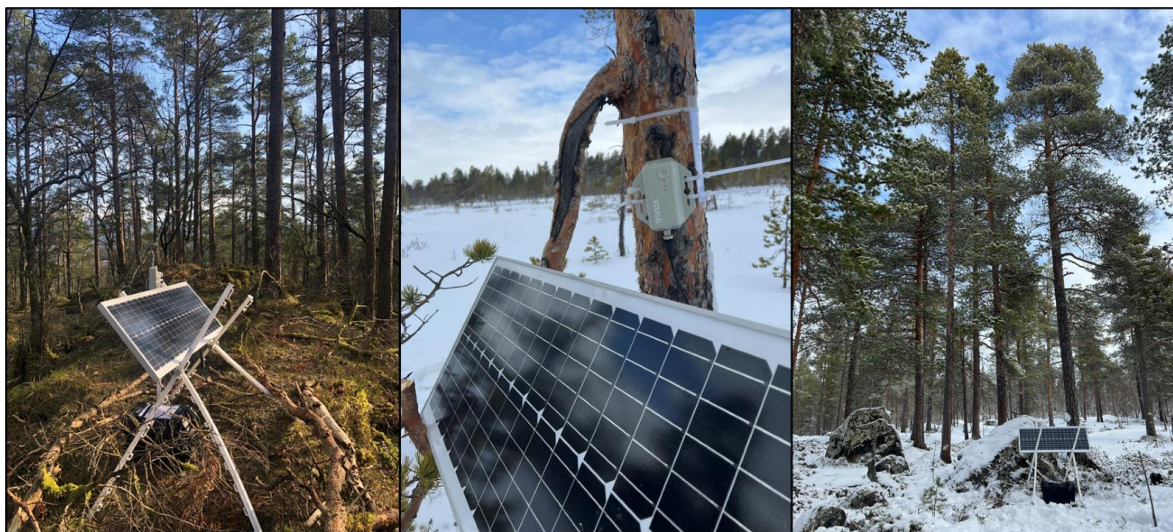
Rapporten presenterer først Sound of Norway prosjektet i Kapittel 2, så gjenkjenning av kjøretøy i Kapittel 3. Deretter oppsummerer vi status for akustisk naturovervåking i Kapittel 4, før vi gir anbefalinger for veien videre for forvaltningen i Kapittel 5.

2 The Sound of Norway 2022

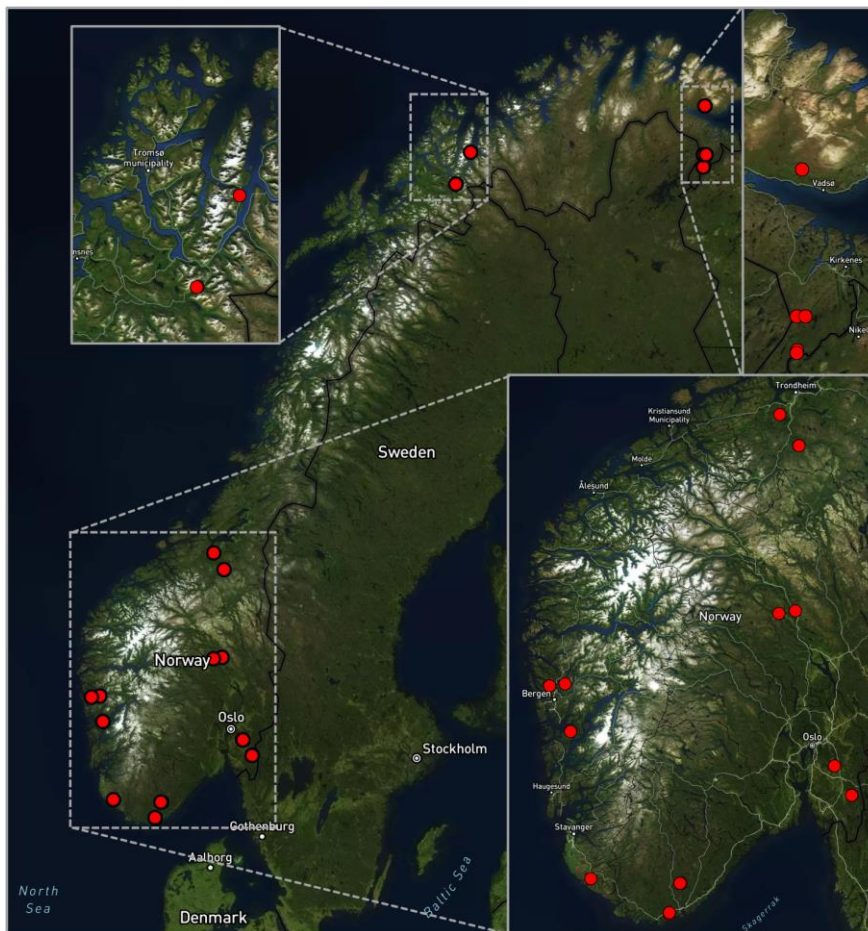
2.1 Prosjektdesign

The Sound of Norway 2022 bygger på to tidligere år med pilotprosjekter (Rosten & Fossøy 2020 og Sethi mfl. 2021). Sound of Norway 2021 testet Bugg, et toppmoderne økologisk overvåkings-system med lydloggere. De tekniske detaljene er beskrevet i Sethi mfl. (2021), men i korthet brukte prosjektet et nettverk av autonome lydloggere drevet av solcellepaneler. De var i stand til kontinuerlig å sende komprimerte akustiske data via mobilnettverket. De akustiske dataene ble lagret i Google-skyen og kjørt gjennom deteksjonsmodeller basert på kunstig intelligens nesten i sanntid.

Sound of Norway 2022 fortsatte å bruke Bugg-systemet (Figur 2.1). Dette året ble det lagt vekt på samkjøring med prosjektet Norsk hekkefuglovervåking. Vi identifiserte åtte områder for å gjenspeile lengde og bredden av Norge (områder rundt Kristiansand, Sarpsborg, Egersund, Bergen, Lillehammer, Trondheim, Tromsø og Sør-Varanger/Vadsø) med sikte på å sette ut 3-5 lydloggere i hver av disse lokalitetene. Lydloggerne ble utplassert i lokaliteter hvor Norsk hekkefuglovervåking gjennomførte undersøkelser. På forhånd ble det kun valgt ut lokaliteter (i) i skog, (ii) innen 200 m fra vei og (iii) med mobildekning. Fra dette forhåndsdefinerte utvalget ble flere lokaliteter deretter valgt ut for hvert område, ytterligere undersøkelser ble gjort ved hjelp av google earth og tillatelser fra grunneiere ble innhentet. Tretti lydloggere ble satt ut mellom 14. mars og 5. mai 2022, først i de sørlige lokalitetene og så i Finnmark i mai. Utstyret ble tatt ned i perioden oktober-november 2022. Plasseringen for de utvalgte lokalitetene er vist i Figur 2.2.



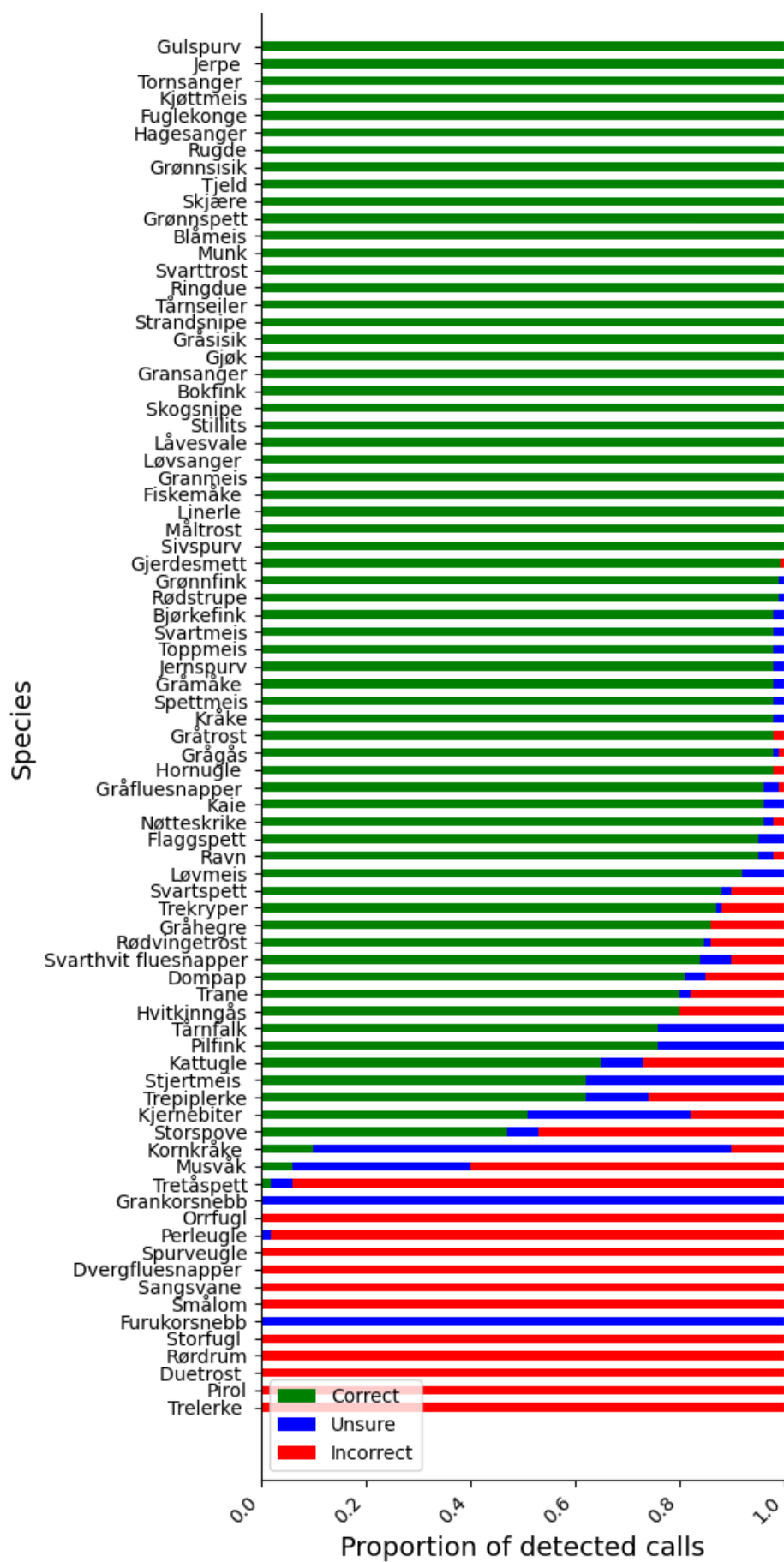
Figur 2.1. Eksempler på Bugg lydlogger installert i lokaliteter i Bergen og Finnmark.



Figur 2.2. Kart som viser de 30 lokalitetene i Sound of Norway som ble dekket av lydloggere i 2022. Kart fra © Mapbox

2.2 Implementering og validering av en modell for å gjenkjenne arter

I 2021 tok vi i bruk BirdNET-modellen for fuglegjenkjenning i system for dataflyt (data pipeline) (Sethi mfl. 2021). BirdNET er en dyp neural nettverksmodell som er trent i tusenvis av timer med manuelt merkede data med lyd fra fugler, og den kan klassifisere lydene til over 900 fuglearter på verdensbasis. Vi implementerte BirdNET-modellen i vår system for dataflyt (data pipeline), slik at analysen ble kjørt i sanntid på de 76 746 timene med akustisk data som ble overført fra feltet i 2022. For å være sikker på hvordan BirdNET fungerer for fugleartene som finnes i Norge, med tanke på våre lydloggere og andre variasjoner knyttet til prosjektet, validerte vi et utvalg av opptakene. Valideringen ble gjennomført ved å eksportere 50 tilfeldige deteksjoner fra BirdNET pr. art. Det tilhørende lydklippet ble sendt til en profesjonell ornitolog. Ornitologen merket hver deteksjon som enten riktig, feil eller ufullstendig (f.eks. lyden var for langt unna for å kunne høre bra nok). Disse dataene tillot oss å vurdere presisjonen av BirdNET for hver art – dvs. hvor sannsynlig det er at en deteksjon i BirdNET virkelig er den angitte arten. Vi setter en grense på 80 % klassifisert rett for at arten skal bli inkludert som «godkjent». I 2021, 39 av 51 arter validert (disse hadde flere enn 50 opptak hver) ble godkjent (Sethi mfl. 2021). I 2022 ble ytterligere 22 godkjent. Dette viser at BirdNET kan brukes til å gjenkjenne og klassifisere 61 arter i Sound of Norway prosjektet (Figur 2.3). En av feilene var at BirdNET ga en falsk positiv respons ved å klassifisere menneskeskapte lyder (som et fly i bakgrunnen) som fuglelyd. Tendensen var at BirdNET da klassifiserte disse lydene som fuglearter med lyd på lav frekvens.



Figur 2.3. BirdNET-predikerte arter som har vært validert av en ornitolog. Ornitologen har klassifisert hver lyd som «korrekt», «feil» eller «usikker». Arter der BirdNET klassifiserte 80 % av lydene korrekt ble brukt videre i analyse.

Prosjektet Norsk hekkefuglovervåking er utviklet for å måle nasjonale bestandsendringer på en representativ måte hos en hel rekke av Norges mer vanlig forekommende terrestriske hekkefuglarter. Metoden som benyttes er at man estimerer bestandstrenden kun for de artene der det er samlet inn tilstrekkelig med observasjoner for kjøring av statistiske trendanalyser. Tabell 2.1 viser alle artene som er godkjent i Sound of Norway 2022 for å brukes videre i analysen. Av disse er det 13 det ikke er estimert bestandstrender for. I tilfeller der manglede observasjoner hindrer estimering av bestandstrenden, kan akustiske data være et supplement.

Tabell 2.1. Oversikt over validerte arter gjenkjent av BirdNET, og om de er observert i høyt nok antall for å kalkulere inn trendestimer i Norsk hekkefuglovervåking. Norsk hekkefuglovervåking får trender fra 76 arter. BirdNET er validert og godkjent av Sound of Norway for 46 av de 76 arter. I tillegg, er BirdNET validert og godkjent av Sound of Norway for 13 arter som ikke har trendestimer i Norsk hekkefuglovervåking.

Trendestimat			Ingen trendestimat
Bjørkefink	Gulspurv	Sivspurv	Grønnspekk
Blåmeis	Hagesanger	Skjære	Grågås
Bokfink	Jernspurv	Skogsnipe	Gråhegre
Dompap	Kjøttmeis	Strandsnipe	Gråmåke
Fiskemåke	Kråke	Svarthvit fluesnapper	Hornugle
Flaggspett	Linerle	Svartmeis	Hvitkinngås
Fuglekonge	Løvsanger	Svartspett	Jerpe
Gjerdsmett	Låvesvale	Svarttrost	Kaie
Gjøk	Munk	Tjeld	Løvmeis
Granmeis	Måltrost	Toppmeis	Pilfink
Gransanger	Nøtteskrike	Tornsanger	Spettmeis
Grønnefink	Ravn	Trane	Stillits
Grønnsisik	Ringdue	Trekryper	Tårnfalk
Gråfluesnapper	Rugde	Tårnseiler	
Gråsisik	Rødstrupe		
Gråtrost	Rødvingetrost		

2.3 Komplementær informasjon for Norsk hekkefuglovervåking

1. Komplementær metoder

Tabell 2.2. Bruksområder, komplementaritet og styrker av punkt- og linjetaksering brukt i prosjektet Norsk hekkefuglovervåking, og kontinuerlig akustisk overvåking.

	Norsk hekkefuglovervåking	Akustisk overvåking
Bruker lyd	Ja	Ja
Bruker synsobservasjoner	Ja	Nei

Alle artene registrert blir inkludert	Ja	Foreløpig er automatisk gjenkjenning mulig for 61 arter. Flere arter blir lagt til hvert år. Utover disse det nødvendig med validering av lydopptakene av en ornitolog
Stor romlig dekning	Ja	
Har stort nettverk av lokaliteter spredt over hele Norge	Ja	Nei
Stor tidsmessig dekning pr år	Nei	Ja
Får kontinuerlig data over hele opptaksperiode fra lokalitetene	NA	Ja
Måler absence/presence	Ja	Ja
Måler abundans	Ja	Foreløpig ikke, men med utvikling innen både teknologi og/eller kunstig intelligens analyse vil dette bli mulig på sikt
Måler fenologi	Nei	Ja
Vekt på å gi et representativt mål av nasjonale bestandsendringer av vanlig forekommende terrestriske hekkefuglarter	Ja	Nei
Vekt på oppdagelse av sjeldne eller vanskelige å oppdage arter	Nei	Ja
Gir detaljert informasjon om et begrenset areal	Nei	Ja
Gir representativ informasjon for store areal	Ja	Nei

2. Andre fuglearter

Prosjektet Norsk hekkefuglovervåking fokuserer på å følge bestandsendringer hos de mer vanlig forekommende artene av terrestrisk hekkefugl i Norge. Siden studiedesignen er rettet mot oppdagelse av vanlige arter, kan arter som er sjeldne eller vanskelige å oppdage ikke bli påvisst, da de ikke var på lokaliteten i det tidsrommet overvåkingen ble utført. Akustisk overvåking, med kontinuerlig opptak, kan bidra til å øke oppdagelse av sjeldne eller vanskelige å oppdage arter. Ved å ta i bruk kontinuerlig akustisk overvåking kan dekningen over tid økes, noe som vil gjøre det lettere å oppdage sjeldne arter.

I tillegg til den standardiserte valideringen av alle arter med over 50 lydopptak, ble lyder av andre arter med færre opptak validert av en ornitolog. Målet med dette var å registrere sjeldne arter, eller arter som det ellers er vanskelig å oppdage. Tjuetre arter ble validert som rett én eller flere ganger, og 15 arter var korrekte i mer enn 80 % av tilfellene (Tabell 2.3). Selv om disse ikke blir inkludert i listen over godkjente arter der 50 lyder ble validert, er dette et viktig resultat. Blant de fem artene som ble oppdaget er tre nær truet, én er sårbar og én er kritisk truet. I tillegg ble både en fremmed art med status svært høy risiko og en nattlig art oppdaget. Natlige arter er ofte underrepresentert i fugleovervåkingsprogrammer (Thompson 2013). Tilnærmingen med å ta en ekstra valideringsrunde på de mer sjeldne artene oppdaget av BirdNET fungerer. Denne tostegsprosessen anbefales for videre oppdagelse av sjeldne arter.

Tabell 2.3. Liste over fuglearter med færre enn 50 lyder registrert i Sound of Norway-prosjektet i 2021/2022, resultat av validering og bevaringsstatus. Rødlitestatuskategorier inkluderer: LC livskraftig, NT nær truet, VU sårbar, CR kritisk truet, SE svært høy risiko

Art	Rødlistesta- tus	Antall lyder	Prosent korrekt
Dvergspett	LC	31	100
Taksvale	NT	26	100
Nøttekråke	LC	24	100
Gråspett	LC	24	100
Linerle	LC	24	100
Gluttsnipe	LC	20	100
Kanadagås	SE	11	100
Konglebit	NT	5	100
Vipe	CR	4	100
Lirype	LC	4	100
Nattravn	LC	3	100
Stokkand	LC	2	100
Grønnstilk	LC	2	100
Sotsnipe	LC	1	100
Enkeltbekkasin	LC	6	83
Svartbak	LC	4	75
Heilo	NT	2	50
Bøksanger	LC	21	43
Gulsanger	LC	30	40
Ringtrost	LC	27	30
Sangsvane	LC	40	20
Båndkorsnebb	VU	5	20
Rødstjert	LC	48	6

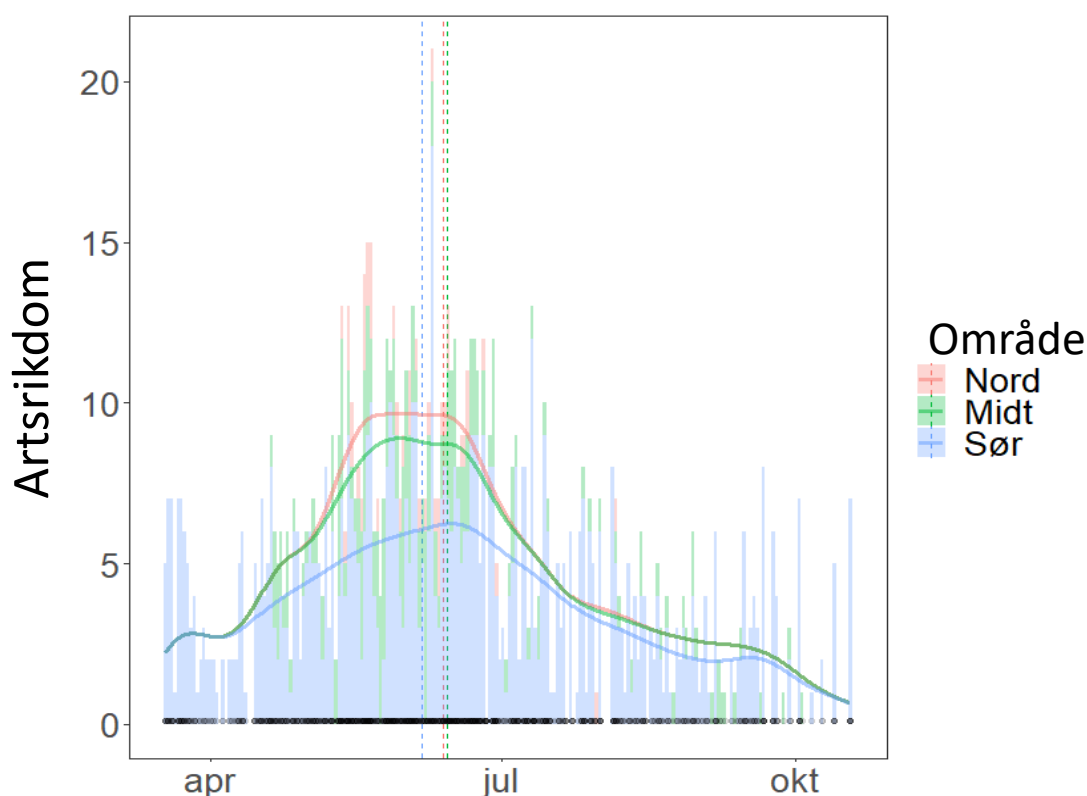
3. Spring av fenologi på en nasjonal skala

Vi presenterer her analyse av en undergruppe av dataene for å illustrere komplementariteten av akustisk overvåking i forhold til tradisjonell overvåking. Vi viser data registrert på tre lokaliteter, som også inngår i Norsk hekkefuglovervåking i 2022, som strekker seg over åtte måneder (mars - oktober 2022). Vi har valgt en lokalitet i Sør-Norge, en i Midt-Norge og en i Nord-Norge for å illustrere egnetheten til denne metoden for å vurdere fenologiske mønstre og oppdage tilstedeværelse av arter.

Figur 2.4 viser et histogram over artsmangfold (dvs. antall forskjellige arter registrert på en lokalitet) per dag og den estimerte kernel tetthetskurven (*Kernel density* kurven) på hver av de tre lokalitetene. Tidlig om våren er det kun registreringer fra det sørlige området (bare en blå søyle), men etter hvert som våren skrider frem, øker artsmangfoldet i Midt-Norge (grønn søyle lagt til den blå søylen), etterfulgt av Nord-Norge (rød søyle). Dette mønsteret er som forventet når trek-kende arter kommer til hekkeplassene fra sørlige breddegrader om våren. Dermed øker artsmangfoldet også over tid. Det motsatte mønsteret viser seg etter hekkesesongen, hvor artsmangfoldet først går tilbake i den nordlige lokaliteten og deretter i lokaliteten i Midt-Norge. Interessant nok er det en nedgang i mangfoldet i det sørlige området (blå søyle) i slutten av august og september, sannsynligvis på grunn av at noen arter forlater stedet (forbereder høsttrekk eller har migrert), etterfulgt av en liten økning. Dette skyldes trolig tilstedeværelse av nordlige arter på høsttrekk mot sør.

Figur 2.4 viser også de estimerte kjernetetthetskurvene for det sørlige, sentrale og nordlige området i henholdsvis blått, grønt og rødt. I motsetning til et histogram, som viser data i diskrete (vilkårlige) regioner, beregner en kernel tetthetsfunksjon, en kontinuerlig sannsynlighetstetthetsfunksjon, som tillater en kontinuerlig og jevn representasjon av dataene («utjevnet histogram»). Dette er spesielt relevant når man analyserer data som har en tidsmessig dimensjon. Selv om histogrammet vårt også representerer "artsmangfold per dag", er en jevn, kontinuerlig estimert tidsserie et verdifullt verktøy for å utforske tidsmessige mønstre. På den ene siden viser den brede og "flatere" estimerte kurven på den sørlige lokaliteten (blå kurve) en lengre periode med høyere mangfold på denne lokaliteten. På den andre siden viser den kortere og «brattere» kurven på den nordlige lokaliteten (rød kurve) at et høyere mangfold er konsentrert på kortere tid og avtar raskere enn i de sentrale og sørlige lokalitetene.

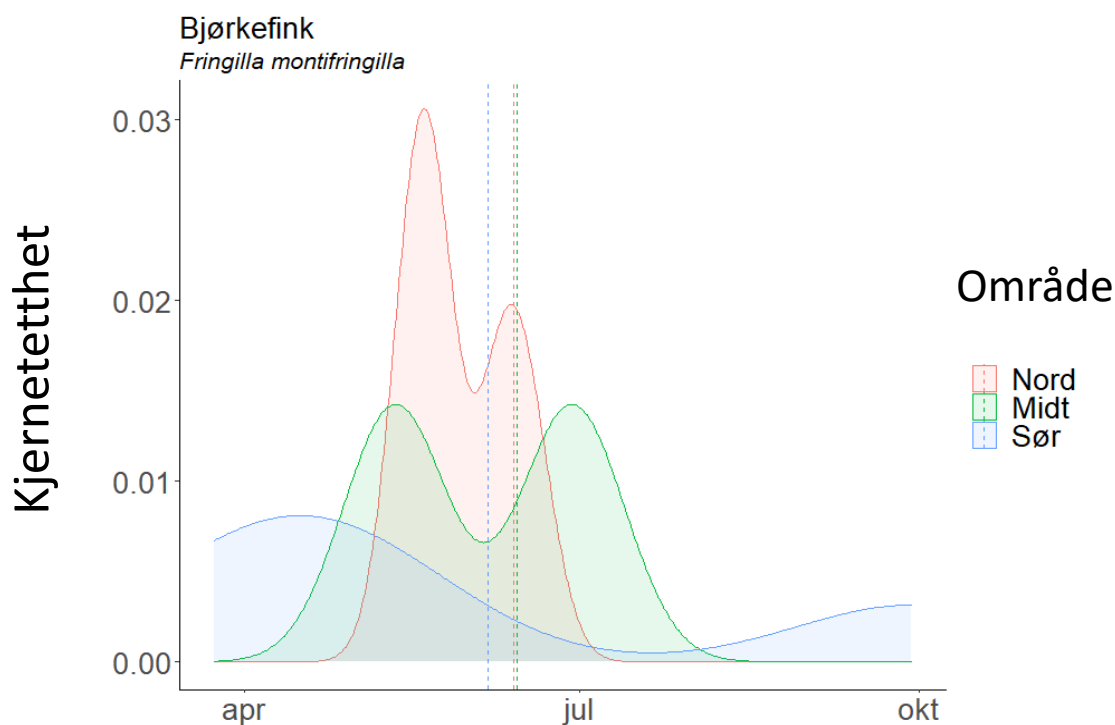
De stiplede vertikale linjene viser datoen da Norsk hekkefugloverbåking undersøkelse fant sted på henholdsvis den sørlige, sentrale og nordlige lokaliteten. Figur 2.4 viser at alle tre undersøkelsene var godt timet, med tanke på å fange opp det høyeste artsmangfoldet.



Figur 2.4. Histogram over artsmangfold (dvs. antall forskjellige arter registrert på en lokalitet) per dag og den estimerte kernel tetthetskurven på hver av de tre lokalitetene. Den totale lengden på søylen representerer summen av artsmangfoldet på tvers av de tre lokalitetene, og den fargede delen av søylen representerer bidraget (mangfoldet) til hver lokalitet.

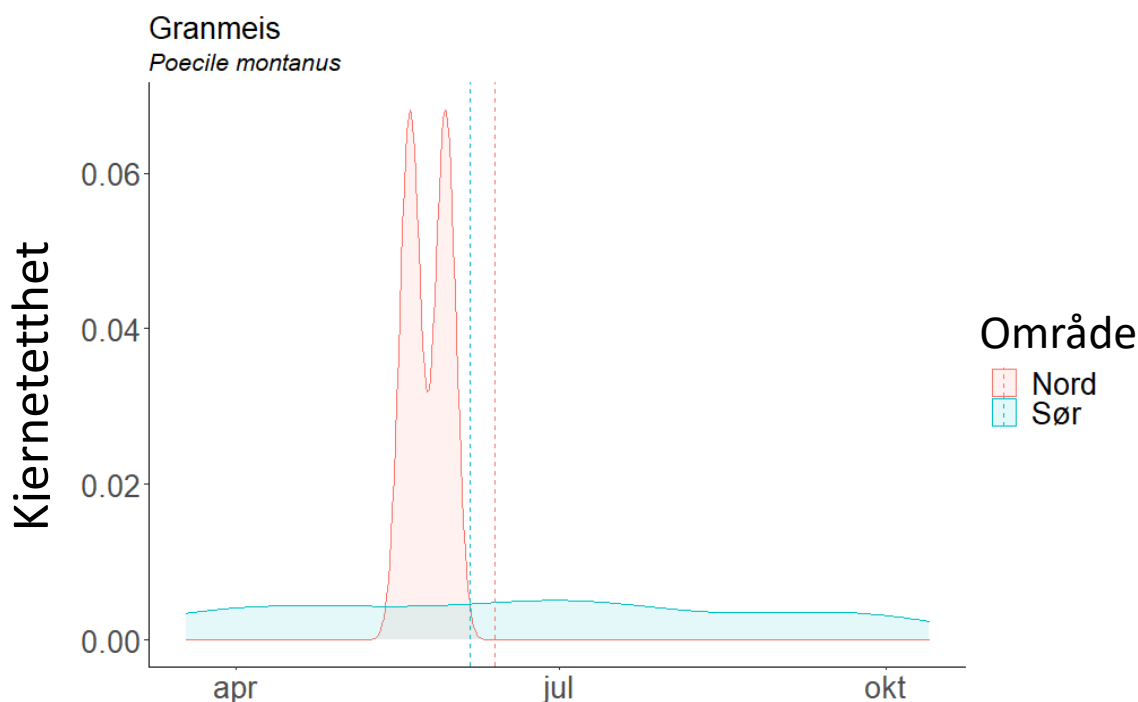
Figur 2.5 og 2.6 viser kun den estimerte kjernetetthetskurven for de daglige registreringene av henholdsvis bjørkefink (*Fringilla montifringilla*) og granmeis (*Poecile montanus*). Figur 2.5 viser de daglige observasjonene av bjørkefink, en migrerende art som har en begrenset hekkeutbredelse til Fennoskandia og Nord-Sibir. Denne arten er derfor truet av klimaendringer, ettersom dens habitatkrav i hekkeperioden (fjellbjørkeskog) trekker seg tilbake og krymper mot nord og går høyere opp i fjellene. Våre data viser at arten først påvises i sør om våren, som forventet med en trekkende art, deretter i Midt-Norge, og senere i sesongen i Nord-Norge. De stiplede vertikale linjene viser datoen for Norsk hekkefugloverbåking undersøkelsene på den sørlige, sentrale og nordlige lokaliteten i henholdsvis blått, grønt og rødt. Disse kurvene viser at vinduet for å finne arten varierer med breddegrad, noe som også er tatt med i Norsk hekkefugloverbåking undersøkelsene (stiplede vertikale linjer). Det er imidlertid verdt å merke seg at mens akustisk

overvåking fanget opp arten på alle tre lokalitetene, var arten ikke oppdaget i Norsk hekkefugl-overvåking på den sørlige lokaliteten. Dette er mest sannsynlig fordi Norsk hekkefuglovervåking prosjektet har fokus på hekkende arter og bjørkefink ikke hekker på dette stedet i Sør-Norge. I Sør-Norge har bjørkefinken begrenset tilgang på hekkehabitat og er kun funnet i fjellskog. Den er imidlertid en vanlig hekkefugl også i lavlandet i Nord-Norge. Norsk hekkefuglovervåking fokuserer på vanlige hekkefugler og tidfester dermed tellingen for å treffe den optimale aktivitetstoppen for de vanligste artene (bjørkefink vil stort sett kun finnes i fjellskogsruiter). Den akustiske overvåkingen på den sørlige lokaliteten fanget sannsynligvis opp migrerende individer på vei mot mer nordlige eller mer høyereliggende hekkeplasser enn lokale hekkende individer (siden det ikke ble oppdaget senere av Norsk hekkefuglovervåking). Vårt funn er likevel viktig ettersom det gir innsikt i fenologien til denne arten, som er avgjørende for å vurdere år-til-år og langsiktige virkninger av drivere for bestandsendringer, inkludert værvariasjoner og klimaendringer. Vi fant at det i hekkesesongen 2022 var to perioder med høy aktivitet (høyere antall registreringer) av arten på den nordlige lokaliteten. Norsk hekkefuglovervåking undersøkelsen ble utført under den andre perioden og observatøren kunne dermed sannsynligvis anslå antall par på denne lokaliteten med høy grad av sikkerhet. Data over flere år vil gjøre det mulig for oss å lære mer om artens fenologi og vurdere om dataene i Norsk hekkefuglovervåking undersøkelsene virkelig er representative for populasjonen på de ulike lokalitetene.



Figur 2.5 Kernel tetthetsestimerting for bjørkefink, en nordlig art som er truet av klimaendringer. Strekene viser når Norsk hekkefuglovervåking undersøkelser var foretatt.

I figur 2.6 viser vi estimerte tetthetskurver for granmeis, en rødlistet art i kategorien sårbar (VU). Vi var i stand til å finne arten på alle tre lokalitetene, men kun en forekomst av arten på lokaliteten i Midt-Norge (25. april) og det var dermed ikke mulig å beregne kjernetetthetskurver. I tillegg oppdaget vi arten i det nordlige området, som ikke ble fanget opp av Norsk hekkefuglovervåking undersøkelsen, og ga ekstra, utfyllende informasjon om tilstedeværelsen av arten på dette stedet. De stiplede vertikale linjene viser datoen for Norsk hekkefuglovervåking undersøkelsen. Figuren viser et misforhold mellom når Sound of Norway registrerte lyden av arten og når Norsk hekkefuglovervåking undersøkelsen ble gjennomført på den nordlige lokaliteten. I den sørlige lokaliteten viser tetthetskurven en mer eller mindre konstant intensitet av registreringer (tilstedeværelse) av granmeis, og dermed bør Norsk hekkefuglovervåking undersøkelsen kunne estimere tilstedeværelse og bestand av arten på den sørlige lokaliteten.



Figur 2.6. Kernel tetthetsestimat for granmeis, en art som er rødlistet i Norge. Strekene viser når Norsk hekkefugloverbåking undersøkelser var foretatt.

Avslutningsvis kan man ut fra disse resultatene fastslå at akustisk overvåking utfyller Norsk hekkefugloverbåking dataene med svært viktig informasjon. Norsk hekkefugloverbåking data gir rom for populasjonsestimater og langsiktige trender for vanlige hekkefugler. Akustisk overvåking kan legge til informasjon om artens tilstedeværelse utenfor det lille vinduet når Norsk hekkefugloverbåking gjennomføres, for sjeldne/mindre rike og/eller nattaktive arter, som ikke er godt representert under den vanlige hekkefugloverbåkingsordningen. Dessuten gir akustisk overvåking svært verdifull innsikt i tidsmessige mønstre og fenologi. Ved å samle inn data over flere år vil vi kunne vurdere hvilke miljøfaktorer som driver potensielle endringer i fenologien. Slike endringer har vidtrekkende konsekvenser for bestandsdynamikken til fugler, og av særlig interesse for sjeldne og rødlistede arter med ugunstig bestandsstatus og fallende trender. Også nordlige arter trekker seg tilbake mot nordlige breddegrader som et svar på klimaendringer. I denne sammenhengen kan akustisk overvåking legge til mer informasjon om hvordan arter reagerer på miljøendringer (inkludert klimaendringer) ved å endre deres fenologi og/eller deres utbredelse. Til slutt kan denne metoden legge til informasjon fra avsidesliggende områder eller sjeldne habitater som kanskje ligger utenfor hoved dekningsområder av Norsk hekkefugloverbåking.

3 Akustisk overvåking i sanntid av motorferdsel i Norsk natur

Naturen påvirkes stadig mer av menneskelig aktivitet, og motorferdsel er en aktivitet som det hittil har vært vanskelig å dokumentere og kontrollere.

Miljødirektoratet, ved Statens naturoppsyn (SNO), har laget en prioriteringsliste over typer av kjøretøy – og andre gjenstander som avgir høy lyd – som det var interessant for dem å overvåke. Listen er som følger: (1) snøskutere, (2) biler og lastebiler, (3) traktorer, (4) ATV-er, (5) vannskutere, (6) skytevåpen, (7) helikoptre, (8) droner, (9) motorsager og (10) fly.

Motorferdsel kan forstyrre dyreliv direkte på grunn av støy, eller indirekte gjennom at mennesker tar seg inn i områder det vanligvis oppholder seg få eller ingen personer. Kjøretøyene kan også forårsake skade på terrenget. I tillegg er ulovlig kjøring med snøskutere og ATV-er i terrenget svært vanskelig å oppdage og dokumentere.

Akustisk overvåking kan tilby en løsning for å dokumentere motorferdsel i naturen og påvise effekter på dyr og fugler med naturlig vokalisering. Lydloggere tar opp lyd kontinuerlig døgnet rundt og sender informasjonen over mobilnettverket nesten i sanntid. Løsningen kan registrere og informere om når motorferdselen skjer og i hvor stor grad. Når store mengder data tas opp kontinuerlig og lagres, er det imidlertid behov for automatiserte metoder for å analysere opptakene.

I 2022 satte NINA og SINTEF i gang et internt prosjekt for å utvikle et system som ved hjelp av maskinlæring oppdager snøskutere i lydopptak fra naturen. I dette kapittelet presenterer vi hvordan systemet er bygd opp og de første resultatene.

3.1 Utvikling av en automatisk snøskuterdetektor

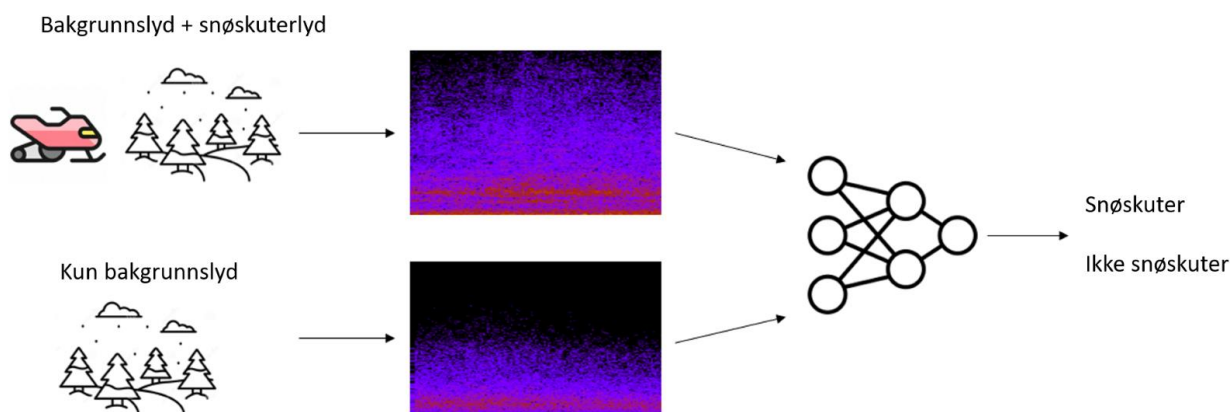
1. Utvikling av modellen

Målet med studien var å bruke kunstig intelligens til å gjenkjenne snøskuterlyd i opptak fra norsk natur. Vi har trent opp et konvolusjonelt nevralt nett til å svare på om et lydopptak inkluderte snøskuterlyd eller ikke.

For å utvikle en slik modell, trenger vi et sett med treningsdata og et sett med testdata. I dette tilfellet besto treningsdata av opptak som inneholder snøskuterlyd, og opptak uten snøskuterlyd. Så ble modellen matet med informasjon om hva som faktisk er lyder av snøskuter. Treningsdata besto av data samlet fra forskjellige kilder med mye snøskuterlyd. Lydopptakene ble gjort ved Skileiken i Bymarka og en populær snøskutersti i Hattfjelldal kommune i påsken med mye snøskutertrafikk. Etter at lyddataene var samlet inn, ble de gjennomgått manuelt ved å høre gjennom hele opptaket og markere snøskuterlyd. I tillegg ble det benyttet lydopptak fra tidligere arbeid i SINTEF, fra passerende snøskutere med ulike hastigheter og motortyper. Til sammen ble disse dataene treningsdatasettet for prosjektet.

2. Anvendelse av modellen

Modellen fungerer ved å mate inn et sett med lyddata (Figur 3.1). Opptaket kan være flere timer langt, og på forhånd vet vi ikke om det inneholder snøskuterlyd eller ikke. I systemet deles lyddata først opp i sekvenser på tre sekunder. Disse blir så transformert til en visuell fremvisning av lyden som kalt spektrogram (en sekvens av korttids frekvensspektra framstilt som bilde se Figur 3.1). Alle spektrogrammene som representerer tre sekunders sekvenser av lydopptaket, blir etter det ført gjennom modellen. Modellen analyserer disse hver for seg og predikerer om de enkelte sekvensene inneholder snøskuterlyd eller ikke (Figur 3.1).



Figur 3.1. Oversikt over hvordan modellen analyserer lydopptak og klassifiserer om det var snøskuterlyd i opptaket eller ikke.

Kjernen i systemet er et konvolusjonelt nevralt nett. Nevralnettet blir i noen tilfeller 'lurt' av vindstøy, som den da klassifiseres som lyd fra snøskuter. Derfor har systemet i tillegg et siste prosessingssteg: en vinddetektor, som bare brukes på de segmenter hvor nevrale nettet har oppdaget snøskuterstøy.

For å teste systemet, ble 33.1 timer data fra Yellowstone datasettet manuelt merket. Dette betyr at alle tidsintervaller hvor en snøskuter var hørbar har blitt notert. I tillegg har også andre hørbare motorlyder blitt merket: helikopterstøy, flystøy, og bilstøy.

Det er en kraftig skjevfordeling i mengde opptak med og uten snøskuter. Opptak med snøskutere forekommer mye sjeldnere enn opptak uten snøskuter. Det vil si at man ikke kan bruke begrep som nøyaktighet (som allerede blir høy, selv om man bruker et naivt system som aldri detekterer snøskuter), eller andre ytelsesmål som ikke tar hensyn til skjevfordelingen. I stedet for det, er det naturlig å bruke begrepene presisjon (engelsk: 'precision', hvor stor andel var faktisk en snøskuter, når systemet sa at det var det) og dekning (engelsk: 'recall', hvor stor andel snøskuterhendelser av alle snøskuterhendelser i testsettet klarte systemet å avdekke?).

Det er enkelt å få høy presisjon når man tåler lav dekning, eller motsatt, men et snøskuterdeteksjonssystem som fungerer bra, skal ha en balanse mellom disse hvor begge er høyest mulig. Det er derfor vanlig å ta harmonisk gjennomsnittet av presisjon og dekning, for å samle begrepene i et begrep hvor begge to er antatt som like viktig: F1-score.

For å regne ut presisjon og dekning (som begge trengs for å beregne F1-score), må man først regne ut antall falsk positive resultater, antall falsk negative resultater, og antall sanne positive resultater. Systemet vurderer hvert lydsegment (tre sekunder lang) for seg, men fra et ytelsesperspektiv er det viktigst at den klarer å oppdage forbikjøringer. Det er for eksempel ikke naturlig å 'straffe' modellen om den klarer å oppdage at det er en snøskuter på veg, før personen som manuelt merket testsettet klarte å høre dette. Derfor har vi beregnet antall sanne positive resultater ut ifra om det er overlap mellom intervallene som systemet markerer som snøskuterhendelser, og manuelt taggedde intervallene. Siden en snøskuter trenger en del tid for å kjøre forbi mikrofonen, ble alle intervallene som systemet oppdaget som snøskuterhendelser, men som ikke varte i mer enn seks sekunder, filtrert bort.

Om vi bare ser på snøskuter hendelser får systemet et F1-score av 0.79 på testsettet (presisjon: 0.71 og dekning: 0.88). Dette betyr at systemet klarte å finne nesten 90 % av alle snøskuterhendelser, men for ca. hver tredje/fjerde oppdaget hendelse, var en av dem faktisk ikke fra en snøskuter forbikjøring. Når vi ser nærmere på disse falske positive resultater, så ser vi at i minst 16 % (og opp til 26 %) av tilfellene, oppdaget systemet hendelser som manuelt ikke hadde blitt

merket, men som, basert på kontroll-lytting vha flere personer, likevel viste seg å være snøskuterforbikjøringer. Dette betyr at presisjon av systemet i virkeligheten ligger høyere (se Tabell 3.1).

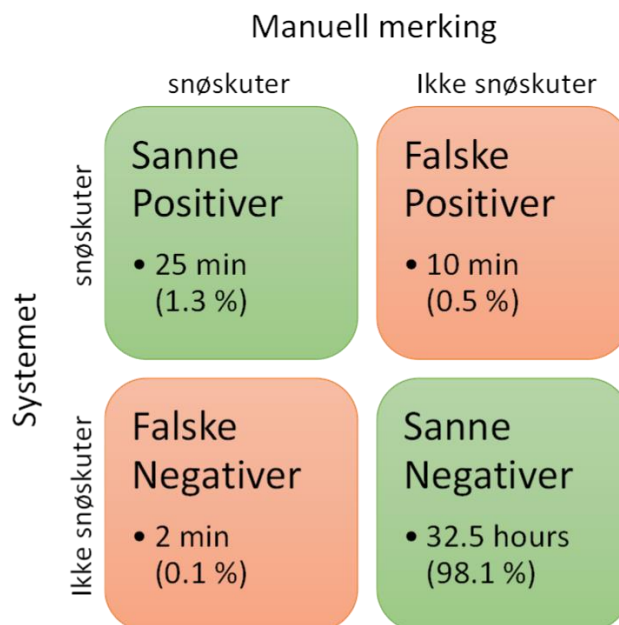
Tabell 3.1. Manuell evaluering av falske positive intervaller fra systemet. Systemet reagerer på en del motorlyd som ikke er fra snøskutere, men klarte også å finne 3 sikre (pluss to usikre) snøskuterforbikjøringer som ikke hadde blitt oppdaget ved manuell merking.

Manuell kommentar	Antall falske positive	Andel
Ikke motorlyd	5	26 %
Helikopter	5	26 %
Snøskuter	3	16 %
Fly	2	11 %
Bil	2	11 %
Definitivt motorlyd, muligens snøskuter	1	5 %
Definitivt motorlyd, enten snøskuter eller helikopter	1	5 %

En stor del av falske positive resultatene kommer fra at systemet reagerer på andre type motorstøy (biler, helikopter, og fly). Dette er som forventet, siden systemet ikke har trent på andre type motorstøy og det har dermed ikke lært å skille mellom de forskjellige typer støy som ligner hverandre mye mer enn typiske lyder fra natur versus snøskutere.

I sin nåværende form vil modellen derfor gi et greit grunnlag for å oppdage flere former for motorlyder i natur, selv om den er best på snøskutere. Når systemet tas i bruk, vil det automatisk samle data som kan brukes til å utvide treningsgrunnlaget. Dette betyr at det i fremtiden vil være mulig å lære modellen å skille mellom forskjellige motorer, f.eks, mellom en snøskuter, en drone og en ATV.

I bare noe få tilfeller, reagerte systemet på naturlige hendelser. Figur 3.2 viser hvor godt systemet klarte å finne de få snøskuterhendelser i store mengder med data.



Figur 3.2. Forvirringsmatrise (engelsk: 'confusion matrix') for systemet. Matrise viser hvor ofte hvilke typer feil oppstår.

Det er også viktig å nevne at modellen har blitt trent på Norsk data, mens testdatasettet var fra USA (Yellowstone – se 3.1.3). Det at testdatasettet er hentet fra et annet land (hvor man kan forvente andre bakgrunnslyder og skuter-modeller) gjør at ytelse presentert her for systemet er et konservativt estimat: ved bruk i Norge er ytelse forventet til å være minst like god, om ikke bedre.

3. Anvendelse av et langtids akustisk datasett

NINA har fått tilgang til en langtids dataserie med akustiske opptak fra Yellowstone Park, USA. Opptakene er innsamlet i løpet av vintersesongen fra 20 lokaliteter over perioder på mellom to uker og tre år (Figur 3.3). Akustiske data ble samlet kontinuerlig (døgnet rundt) i hele opptaksperioden.

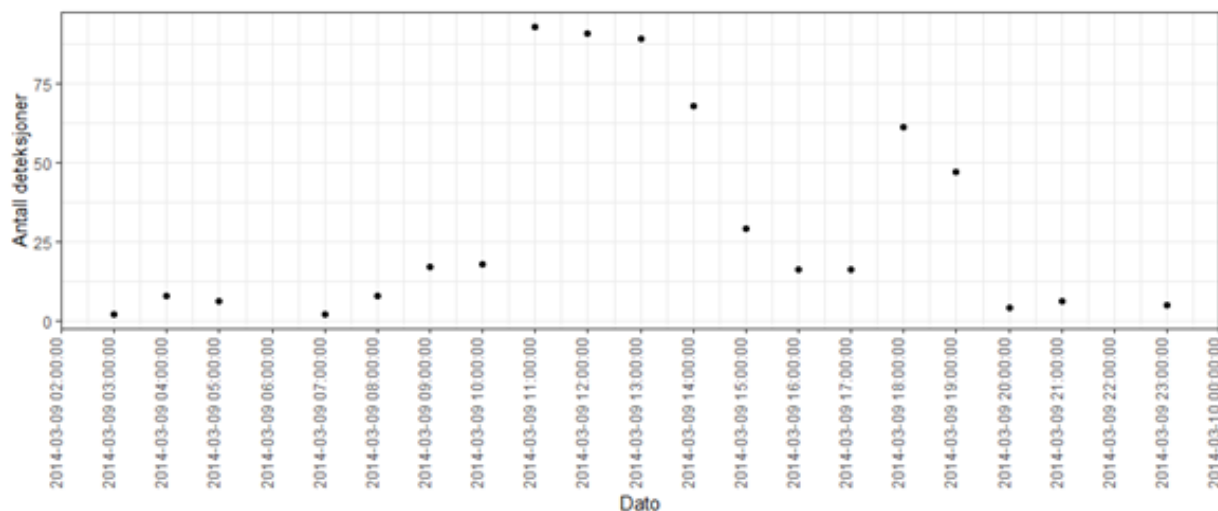


Figur 3.3. Kart over Yellowstone park og plasseringen av lydloggerne

Planen er at disse dataene skal danne grunnlaget for en publikasjon i et tidsskrift. Derfor legger vi i denne rapporten mest vekt på å evaluere systemytelse og nytteverdi.

Alle data fra Yellowstone park fra mars måneden i periode 2010-2017 ble kjørt gjennom modellen, og opptak som inneholdt snøskuter ble identifisert. Siden lydopptakene er delt opp i sekvenser på tre sekunder når de blir analysert av modellen, er det mulig å dokumentere snøskuterkjøring med høy tidspresisjon. For å teste dette, valgte vi 36 timer fra en tilfeldig periode og lokalitet for å se nærmere på mønsteret for snøskuterkjøring gjennom et døgn. Figur 3.4 viser ett døgn med kontinuerlig lydopptak. Snøskuter aktivitet er høyest midt på dagen, og lavest om natten.

Det er ikke mulig å trekke bastante konklusjoner ut fra et så begrenset datasett som presentert i Figur 3.4, men det er lovende at registreringer av snøskuter følger et naturlig mønster.

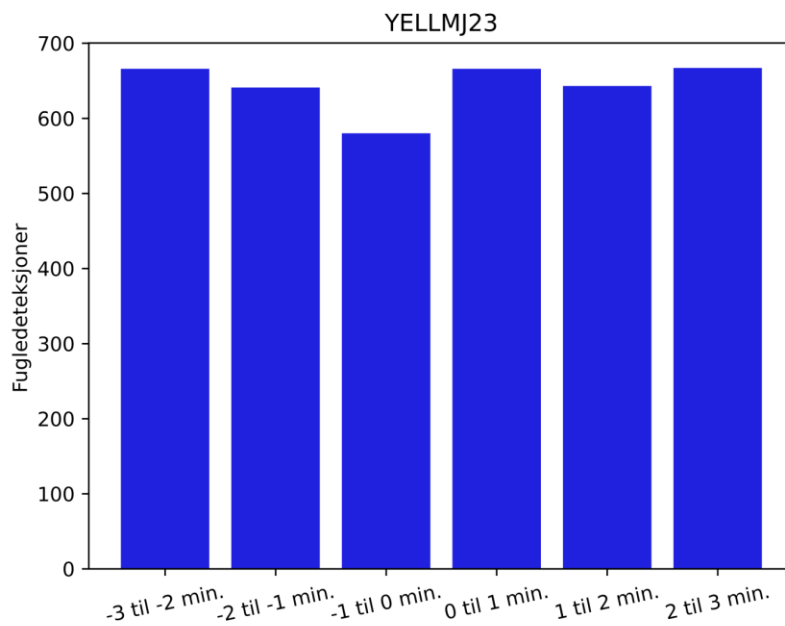


Figur 3.4. Registrering av snøskutere ved en lokalitet i Yellowstone National Park, USA, gjennom en periode på 24 timer. For å undersøke hvordan snøskutere kan påvirke fugler har vi talt frekvensen av fugledeteksjoner før og etter hver deteksjon av snøskuterpasering. Fugledeteksjonene ble talt i flere ett-minutts intervaller rundt hver passering og det samme ble gjentatt med fem-minutts intervaller.

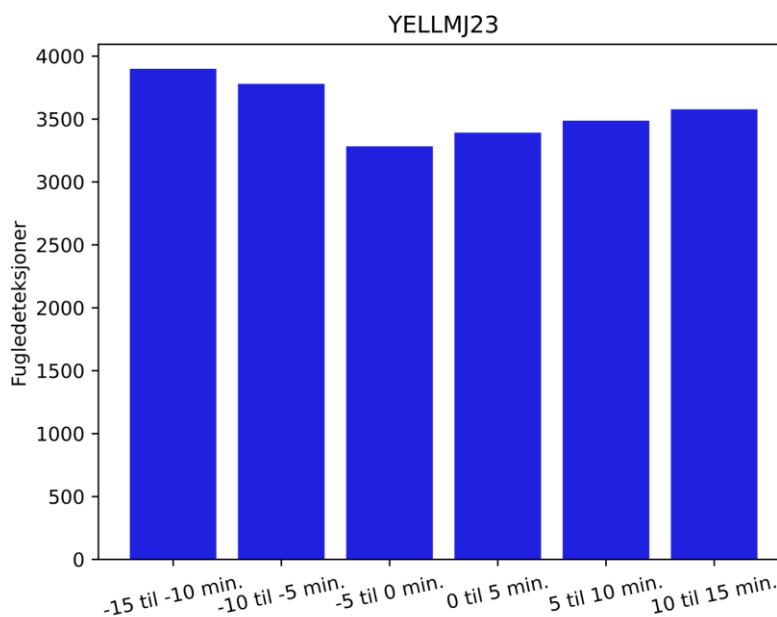
Et utvalg av arter med pålitelig deteksjon i BirdNET for Yellowstone ble utåkt.. Disse er Black-crowned Night-Heron, Bohemian Waxwing, Common Goldeneye, Clark's Nutcracker, American Three-toed Woodpecker, Downy Woodpecker, Gray-crowned Rosy-Finch, Mountain Chickadee, Sharp-tailed Grouse, Western Wood-Pewee, og White-winged Crossbill.

Analysen av sang ved snøskuterpasering ble så utført på data fra mars, fra lokasjonen YELLMJ23, hvor vi har data fra 2010 til 2017, med unntak i 2015. Vi ser et mønster med reduksjon i frekvensen av sang opp mot selve passeringen og deretter en gradvis gjenvinning (Figur 11).

Noen studier tyder på at menneskeskapt støy kan endre fuglenes reproduksjon og bosettingsmønstre, noe som kan påvirke fuglesamfunn og interaksjoner (Injaian et al., 2018). Snøscooterlyder, ved å maskere fuglekommunikasjon og endre antall fugleanrop gjennom dagen (figur 3.5), kan bidra til en endring i fuglesamfunn. Livekel er det nødvendig med flere studier for å bekrefte denne påstanden.



(A)



(B)

Figur 3.5. Antall fugledeteksjoner (A) 3, 2 og 1 minutter før og etter en snøskuterpassering og (B) 15, 10 og 5 minutter før og etter en snøskuterpassering. Den røde linjen indikerer passeringen av snøskuteren. Data var samlet fra Yellowstone National Park.

Dette prosjektet har utviklet et verktøy for å kunne overvåke snøskuteraktivitet. Modellen har tilstrekkelig presisjon og nøyaktighet og fungerer bra som et utgangspunkt å bygge videre på, både for bruk og for metodeutvikling for videre tilpassing.

Vi ser for oss to hovedbruksområder. Det første er for varsling av ulovlig snøskuter- eller ATV-kjøring i terrenget i nær sanntid. Det andre er å kartlegge og dokumentere påvirkning av

motorferdsel på naturen. I teksten under, presenterer vi noen forslag for videre bruk av motorferdseldetektoren.

4 Status for autonom akustisk naturovervåking ved årsskiftet 2022-2023

4.1 Status for akustisk naturovervåking i Norge

- Et nasjonalt pilotprosjekt av autonom akustisk overvåking med Bugg-systemet er gjennomført.
 - o 76 746 timer med data samlet fra 30 lokaliteter i hele Norges lengde.
 - o Systemet har fungert bra, og vi har høstet erfaringer for videreutvikling.
- System for dataflyt (data pipeline) videreutviklet. Automatisert analyse av lyddata kan nå skje i sanntid for:
 - o 61 fuglearter
 - o Menneskestemmer
 - o Snøskutere (med kort utviklingstid for tilpasning til andre motorlyder)
- Kontinuerlig akustisk overvåking samkjørt med prosjektet Norsk hekkefuglovervåking
 - o Kontinuerlig akustisk overvåking har gitt ny, komplementær informasjon om fenologi og tilstedeværelse av fuglearter som er sjeldne eller vanskelige å oppdage.
 - o Kontinuerlig akustisk overvåking viser at timing av taksering i prosjektet Norsk hekkefuglovervåking stort sett fungerer bra for å nå maksimalt artsmangfold, men valgte tidspunkt resulterer i at noen arter blir utelatt.

4.2 Status for akustisk naturovervåking internasjonalt

- Norge har implementert den første pilot autonom akustisk naturovervåking prosjekt på nasjonalt nivå. Det eneste andre nasjonale akustiske naturovervåkingsprosjekt vi vet om er Australian Acoustic Observatory (Roe et al. 2021). Dette har en stor dekning av lydloggerne (360 totalt), men lydloggerne er ikke autonome og må ha tilsyn for å bytte batteri og minnekort.
- Det er stor aktivitet internasjonalt for å utvikle metoder for dataanalyse som vil forbedre dagens bruk av akustisk overvåking for tilstedeværelse av arter. I utviklingsarbeidet legges det vekt på å kunne observere relativ abundans, lydtype (å skille forskjellige lydtyper, som sang og alarm, og individer) og annen adferdsmessig fenologi.
- Internasjonalt legges det også vekt på å utvikle akustisk naturovervåking, slik at den kan bidra med data der tradisjonelle metoder har datahull, f.eks. for å identifisere arter som er sjeldne eller vanskelige å oppdage, overvåking i fjerntliggende områder eller på tidspunkter når det er vanskelig å gjennomføre tradisjonell overvåking (f.eks. om natten).
- Mange land har også kommet i gang med større infrastrukturprosjekter med mål om å utvikle nye, digitale løsninger for å overvåke biomangfold i nasjonal skala. Akustisk overvåking er en hovedkomponent i disse prosjektene (se ARISE prosjekt <https://www.arise-biodiversity.nl/> og AMMOD prosjekt <https://ammod.de/> som eksempler).

5 Generelle anbefalinger for forvaltningen og veien videre

I denne rapporten peker vi på muligheter for å bruke dagens teknologi innen akustisk overvåking i forvaltning av norsk natur. Passiv akustisk overvåking er en kostnadseffektiv metode, og gir muligheter til å levere data på økosystemer i stor skala over lang tid med høy kvalitet. Metodikken har gått gjennom en kraftig utvikling, og passiv akustisk overvåking er blitt et verdifullt verktøy i evidensbasert naturforvaltning.

Basert på våre resultater, anbefaler vi i å integrere akustisk overvåking i aktiv naturforvaltning, hvor den kan bidra med ny og utfyllende informasjon til forvaltningens eksisterende behov. I tillegg har akustikk et betydelig potensial som kan utnyttes ved målrettet videreutvikling av metodikken. Totalt peker disse anbefalingene på hvordan akustisk overvåking kan brukes mest mulig effektivt i forvaltningen av norsk natur.

1. Fortsatt samkjøre prosjektene Sound of Norway og Norsk hekkefuglovervåking over flere år

Samkjøring av prosjektene Sound of Norway og Norsk hekkefuglovervåking i pilotskala i 2022 har gitt gode resultater. Samarbeidet har gitt mer informasjon om fenologi og arter som er sjeldne/vanskelig å oppdage og verdifulle data om timing av Norsk hekkefuglovervåking-taksering. En videreutvikling av pilotprosjektet til et fullt prosjekt, med dekning på flere habitater eller områder, kan føre til nye, viktige resultater. Norsk hekkefuglovervåking har et langtidsdatasett som viser trender over tid. Akustisk naturovervåking har ikke langtidsserie eller stor romlig dekning, men vil gi nye observasjoner og typer informasjon. Ved å kombinere disse to komplementære datasettene over flere år, vil det bidra til bedre forståelse av økologi og bestander av hekkefugl i Norge.

2. Vektlegge arter som er sjeldne, fremmede eller vanskelig å oppdage

Vi anbefaler å sette i gang et pilotprosjekt med vekt på å identifisere arter som er sjeldne, fremmede eller vanskelig å oppdage. Prosjektet bør inkludere målrettet utsetting av lydloggere for å få opptak av noen nøkkelarter der data mangler fra andre overvåkingsprogrammer (f.eks. nattlige arter), utvikling/tilpassing av automatiske deteksjonsmodeller for å muliggjøre automatisk gjenkjenning av lyd(er) fra flere arter enn det som er godkjent i prosjektet per i dag og endelig analyse av samlede observasjoner. Dette vil tillate integrering av disse artene i Sound of Norway prosjektets eksisterende system for dataflyt (data pipeline), slik at disse artene kan overvåkes på alle steder der systemet er utplassert, både når disse artene er i fokus, og der lydene blir tatt opp i andre prosjekter.

3. Iverksette måling av menneskelig påvirkning på naturen gjennom motorferdsel i eksisterende naturovervåkingsprosjekter

Vi anbefaler å integrere målinger av lyd forårsaket av støy fra mennesker i eksisterende overvåkingsprogrammer, for å undersøke hvordan naturen påvirkes av menneskeskapt aktivitet. Å måle menneskets aktivitet på økosystemer og biologisk mangfold er nøkkelen til å forstå og dempe de negative effektene av menneskeskapt endringer. Type og omfang av forstyrrelser forårsaket av mennesker varierer over tid (for eksempel jakt om høsten og kjøring med snøscooter om vinteren.) Konsekvensene av de ulike typene av forstyrrelser kan påvirke ulike deler av økosystemet spesielt. Å skape et nyansert bilde av forstyrrelser forårsaket av mennesker over tid, er derfor viktig for å se hvordan økosystemer og biologisk mangfold responderer. I denne studien har vi vist at det er mulig å oppdage og skille motorlyd fra økosystemenes naturlige lydbilde.

Mange eksisterende programmer for naturovervåking kan over tid dra nytte av å måle forstyrrelser skapt av mennesker. Det gjelder både overvåking av biologisk mangfold, som det norske insektovervåkingsprosjektet, tidlig oppdagelse og varsling av fremmede arter i Norge-prosjektet og arealrepresentativ naturovervåking (ANO). ANO, for eksempel, er et nasjonalt overvåkingsprogram med et stort nettverk av overvåkingsflater i hele fastlands-Norge. Målet er at disse flatene skal bidra med en nøytral og helhetlig beskrivelse av status og endringer i ulike naturtyper i hele landet. Utplassering av et akustisk overvåkingsnettverk på noen av lokalitetene kan bidra med en finskala måling av støy fra mennesker og menneskelig aktivitet som kan gi en ny innfallsport for å måle menneskeskapte forstyrrelser. I tillegg kan lydopptakene også bli brukt til å kvantifisere annet dyreliv, f.eks. fugler på ANO lokaliteter, og gi tilleggsinformasjon i periodene mellom undersøkelsene, som skjer hvert femte år.

Ved å kombinere modeller for stemmegjenkjenning og motorferdsel med metoder som gir kontinuerlig data om dyrenes respons, som telemetri (f.eks. av villrein eller ryper) eller lydopptak (f.eks. ryper), kan effekten av menneskelig aktivitet dokumenteres på fin skala for hvert møte mellom dyr og mennesker. Dette gir forvaltningen verdifull informasjon for å kunne evaluere hvordan nøkkelarter påvirkes av menneskelig press. Vi anbefaler å integrere måling av lyd som en tilleggsaktivitet til pågående prosjekter.

4. Utvikle og teste et system for varsling av ulovlig motorferdsel i naturen i sanntid

Lydloggerteknologien vi har utviklet kan drives av solceller eller batterier. Utstyret kan monteres for å stå gjennom en sesong, eller det kan tas med og settes ut for mer kortvarige kontroller. For eksempel kan teknologien bidra til å overvåke større områder i løpet av en dag, ved at mannskap fra SNO blir varslet om hvor i området det er aktivitet og så kan bevege seg dit. Vi anbefaler et pilotprosjekt for å teste og tilpasse nåværende system til SNO sine bruksområder. Det er mulig for eksempel å undersøke utstyrets batterikapasitet/behov, operasjonsradius for lydloggerne, mulighet for å registrere antall skutere som passerer, hvordan vi unngår at utstyret saboteres og hvordan datahåndteringssystemet kan tilpasses for å forkorte tiden fra skuteren faktisk passerer i området til dette blir varslet.

5. Kartlegge fritidsbruk av naturen

I tillegg til å hjelpe oss å forstå hvordan økologien i et område påvirkes av forstyrrelser fra mennesker, kan lydmåling av menneskelig aktivitet være en effektiv måte for å kartlegge turisme og fritidsbruk av naturen. Det har kommet flere snøskuterstier i senere år. Ved for eksempel å få oversikt over aktivitetsmønsteret, antall brukere og tid på døgnet, kan forvaltningen sørge for at stiene tilfredsstiller nødvendige krav og at trafikken styres på en passende måte. Svalbard kan, for eksempel, ha nytte av å overvåke turistaktiviteter ved hjelp av lyd ettersom bruken av snøscooter til fritid har økt de siste årene. Riktig overvåking kan bidra til å handtere denne trafikkøkningen mer effektivt.

6 Referanser

- Cretois, B., Rosten, C.M. & Sethi, S.S. 2022. Voice activity detection in eco-acoustic data enables privacy protection and is a proxy for human disturbance. *Methods in Ecology and Evolution* 13: 2865-2874. doi:<https://doi.org/10.1111/2041-210X.14005>
- Hill, A., Prince, P., Covarrubias, E.P., Doncaster, P., Snaddon, J. & Rogers, A. 2018. Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution* 9: 1199-1211. doi:<https://doi.org/10.1111/2041-210x.12955>
- Injaian, Allison S., Lauren Y. Poon, and Gail L. Patricelli. "Effects of experimental anthropogenic noise on avian settlement patterns and reproductive success." *Behavioral Ecology* 29.5 (2018): 1181-1189.
- Kålås, J. A., & Husby, M. (2002). Ekstensiv overvåking av terrestre fugl i Norge. NINA-Oppdragsmelding, 740, 25.
- Roe, P., Eichinski, P., Fuller, R.A., McDonald, P.G., Schwarzkopf, L., Towsey, M., Trusking, A., Tucker, D. & Watson, D.M. 2021. The Australian Acoustic Observatory. *Methods in Ecology and Evolution* 12(10): 1802-1808. doi:<https://doi.org/10.1111/2041-210X.13660>
- Rosten, C.M. & Fossøy, F. 2020. Bruk av lyd til overvåking av norsk natur - en mulighetsstudie 1925. Norsk institutt for naturforskning
- Sethi, S.S., Fossøy, F., Cretois, B. & Rosten, C.M. 2021. Management relevant applications of acoustic monitoring for Norwegian nature – The Sound of Norway. Norwegian Institute for Nature Research
- Stowell, D. 2022. Computational bioacoustics with deep learning: a review and roadmap. *PeerJ* 10:e13152. doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.13152>
- Thompson, W. 2013. Sampling Rare or Elusive Species: Concepts, Designs, and Techniques for Estimating Population Parameters. Island Press

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-5010-8

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger