

RAPPORT

NYTTE OG KOSTNADER VED BRUK AV DNA-BASERT METODIKK OG MILJØ-DNA I MILJØOVERVÅKING



Foto: Preben Danielsen

MENON-PUBLIKASJON NR. 90/2021

M-2115 | 2021

KRISTIN MAGNUSSEN OG STÅLE NAVRUD



Forord

Dette prosjektet er gjennomført på oppdrag for Miljødirektoratet der våre kontaktpersoner har vært Sunniva D. Aagard og Liv Tone Robertsen (fra 1.1.2021) og Knut Anders Kjelaas Johansen (fram til 31.12.2020).

Spesiell takk til representanter for NTNU Vitenskapsmuseet, Universitetsmuseene i Oslo og Bergen, NINA, NIVA, Norce og Veterinærinstituttet som har bidratt med sin kunnskap og erfaringer om innsamling, lagring og bruk av referansemateriale og miljø-DNA. Takk også til ansatte i Equinor og i Miljødirektoratet som har blitt intervjuet og bidratt med sin kunnskap om DNA-basert metodikk og miljø-DNA i ulike anvendelser.

Prosjektet er gjennomført av Menon senter for miljø- og ressursøkonomi (MERE) med Kristin Magnussen som prosjektleder, og Ståle Navrud som sparringpartner og kvalitetssikrer.

Oslo, oktober 2021

Kristin Magnussen
prosjektansvarlig

Innhold

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	4
1. BAKGRUNN OG PROBLEMSTILLINGER	12
1.1. Bakgrunn	12
1.2. Målsetting, problemstillinger og avgrensinger	12
1.3. Viktige begreper	13
2. METODE OG DATA	15
2.1. Samfunnsøkonomisk metode	15
2.2. Datagrunnlag	17
3. KOSTNADER VED INNSAMLING, BEARBEIDING OG LAGRING AV REFERANSEMATERIALE OG -SEKVENSER FOR ARTER	19
3.1. Referansemateriale og -sekvenser for arter	19
3.2. Kostnader ved innsamling, bearbeiding og lagring av referansemateriale og -sekvenser for arter	20
4. KOSTNADER VED INNSAMLING, BEARBEIDING OG LAGRING AV REFERANSEMATERIALE OG -SEKVENSER FOR BESTANDER	27
4.1. Referansemateriale og -sekvenser for bestander	27
4.2. Kostnader ved innsamling, bearbeiding og lagring for bestander	27
5. NYTTEN AV REFERANSEMATERIALE OG -SEKVENSER I MILJØOVERVÅKING OG -KARTLEGGING	32
5.1. Hva er nytten av referansedata for miljøforvaltningen	32
5.2. Nyttevirkninger knyttet til innsamling av ny informasjon om arter, bestander og økosystem	33
5.3. Økt nytte ved å analysere og ta i bruk kunnskapen i overvåking og kartlegging	34
5.4. Nye metoder gir muligheter for spin-offs	36
6. EKSEMPLER PÅ NYTTE OG KOSTNADER VED BRUK AV DNA-BASERT METODIKK VED MILJØKARTLEGGING OG -OVERVÅKING	38
6.1. Innledning	38
6.2. DNA-basert metodikk ved nasjonal insektovervåking	38
6.3. Miljø-DNA ved kartlegging og overvåking av fremmedfisk og lakseparasitten <i>Gyrodactylus salaris</i>	45
6.4. Miljø-DNA ved overvåking etter vannforskriften	50
7. REFERANSER	55

Sammendrag og konklusjoner

Formål

Målet med dette prosjektet er å komme fram til anslag for størrelsesorden av den samfunnsøkonomiske nytten av referansemateriale med DNA-sekvenser, med vekt på bruk av slikt materiale i miljøforvaltningen. Utredningen skal også anslå de samfunnsøkonomiske kostnadene ved innsamling, lagring og bruk av slikt materiale.

Analysen skal inngå som del av grunnlaget for å kunne utnytte tilgjengelige ressurser på en mest mulig kostnadseffektiv måte, i tråd med føringene for Miljødirektoratets arbeid med ny miljøteknologi som DNA-basert metodikk og miljø-DNA.

Bakgrunn

Innsamling og ivaretagelse av arter og referansemateriale for arter er grunnleggende for taksonomisk forskning og utvikling, og nytteverdien av samlingene har ofte vært ansett å ligge i at dette er en kilde til læring og kunnskap om naturen. Utstilling av arter har derfor vært en viktig del av folkeopplysningsoppdraget for de naturhistoriske museene i en årrekke. Mye av det en tar for gitt nå, er forankret i denne nitidige oppbyggingen av kunnskap om arter, deres taksonomiske slektskap, og de fysiske individene som «er» arten og beskrivelser og bilder etc. som følger med. Denne kunnskapen og dokumentasjonen er helt grunnleggende for at vi i det hele tatt kan snakke om ulike arter med ulike navn, at en for eksempel en kråke (*Corvus cornix*) er nettopp det fordi et individ som ser slik ut, er lagret og beskrevet i tidligere tider. I den senere tid har dokumentasjon av artenes DNA, som også knyttes til det samme type-individet, åpnet nye, store muligheter for enkelt å gjenkjenne ulike arter. Ved analyse av miljø-DNA-prøver og gjenkjennelse av DNA-sekvenser i store, tilgjengelige databaser kan man raskt identifisere ulike arter man har samlet inn i overvåkingsprosjekter eller på andre måter. Dette åpner nye muligheter, men disse mulighetene er fullstendig avhengig av at det finnes et etablert og sikkert system som gir mulighet for gjenkjennelse av arter. Det vil gi nytte i form av kostnadsbesparelser knyttet til overvåking av arter, biologisk mangfold og økosystemer. Mens nytten knyttet til bruk av referansemateriale med DNA-sekvenser ofte fremheves, kan det imidlertid være lett å glemme at den er helt avhengig av at «noen» tar kostnadene ved å samle inn, ivareta og tilgjengeliggjøre informasjonen.

I denne rapporten starter vi derfor med å se på kostnadene knyttet til å samle inn, ivareta og tilgjengeliggjøre referansemateriale, inkludert DNA-sekvenser, for arter og bestander. Deretter diskuterer vi hvilken nytte miljøforvaltningen kan ha av dette materialet. Vi gir også eksempler på bruk av miljø-DNA og DNA-basert metodikk knyttet til ulike kartleggings- og overvåkingsoppgaver og sammenligner kostnader ved bruk av tradisjonelle metoder med DNA-baserte metoder.

Kostnader ved innsamling, bearbeiding og lagring av referansemateriale med DNA-sekvenser for arter

Det er mange oppgaver og dermed kostnadsposter forbundet med å samle inn og tilgjengeliggjøre referansemateriale og -sekvenser for nye arter. Første oppgave er å samle inn objekter av arten (og planlegge innsamlingen). Deretter skjer etterarbeid med sortering og identifisering; klargjøring for og gjennomføring av DNA-baserte analyser, inkludert kvalitetssikring og publisering; samt kostnader til å rapportere digitale data. I tillegg påløper kostnader til å lagre data fysisk (fysiske eksemplarer av arten og/eller vevsprøver), kostnader til å lagre digitale data, og kostnader til å tilgjengeliggjøre data.

Basert på innhentet informasjon fra universitetsmuseene og andre institusjoner har vi estimert totale kostnader til innsamling, bearbeiding og tilgjengeliggjøring av referansemateriale med DNA-sekvenser til å ligge mellom ca. 2 000 kroner og 150 000 kroner per ny art i systemet. Det er altså stor variasjon. Arter og økosystemer med lave kostnader er f.eks. vanlige arter blant karplanter, insekter og andre invertebrater i «vanlige» miljøer som man ikke behøver reise langt eller jobbe hardt for å samle inn. I den andre enden av kostnadsskalaen er arter i

vannmiljø, og særlig marine dypvannsområder. Det er særlig kostnader til innsamling som varierer mellom arter. For vannlevende organismer som krever dykking, fartøy med grabber, eller andre redskaper for å få tak i materiale på dypt vann, kan innsamlingskostnaden være opp til eller over halvparten av de totale kostnadene. For lett tilgjengelige karplanter og insekter, kan innsamlingskostnaden utgjøre en liten del av totalkostnaden. Man kan forvente at innsamlingskostnadene per art kan øke noe fremover, ettersom vi må anta at de vanligste artene allerede er samlet inn slik at det er de sjeldnere artene som ikke finnes «overalt» som gjenstår.

Mens innsamling, bearbeiding og dokumentasjon av en art i all hovedsak er en engangskostnad (en investering) som varer i lang tid så sant referansematerialet tas godt vare på, påløper lagringskostnadene for materialet kontinuerlig så lenge materialet skal lagres. Det gjelder både selve objektet eller vevsprøven og DNA-ekstraktet; i tillegg til lagringen digitalt. Det foreligger ikke gode oversikter over lagringskostnadene per art, blant annet fordi arter og referansemateriale lagres på mange ulike måter. Til dels skjer dette i rom som er «til overs» eller uansett inngår i leiekostnadene for institusjonens bygg uten at det er spesifisert hva kostnaden er, mens noe materiale for noen av institusjonene lagres i eksterne, leide lokaler. Basert på beste anslag ut fra den informasjonen vi har, estimeres lagringskostnadene for prøver av en art til ca. 80 kroner per år, eller ca. 1600 kroner i nåverdi (ved antatt analyseperiode 40 år og 4 prosent diskonteringsrente). Kostnadene til lagring av arter varierer noe mindre enn øvrige kostnader per art, men kan variere avhengig av artens størrelse dersom hele individet skal tas vare på. Vevsprøve og DNA-ekstrakt er imidlertid av samme størrelse uavhengig av størrelsen på arten, og det kan anslås en gjennomsnittskostnad per art.

I tillegg til store variasjoner i kostnadsanslag for ulike arter, særlig i innsamlingskostnader knyttet til ulike artsgrupper og økosystemer; er det stor usikkerhet i de kostnadsestimatene som er hentet inn og benyttet i beregningene. Usikkerheten har blant annet sammenheng med at institusjonene som bærer disse kostnadene bare i begrenset grad beregner kostnader for hver oppgave, og at f.eks. innsamling av artsmateriale ofte skjer som del av andre prosjekter. I tillegg rapporteres arbeidstiden samlet og ikke spesifisert på ulike oppgaver. Lagringskostnadene er ofte en del av større kostnader til lokaler, og fremgår ikke direkte av institusjonenes regnskap.

Med forbehold om usikkerhet og stor variasjon, har vi gjort noen anslag for kostnader til å samle inn og ta vare på referansemateriale med DNA-sekvenser for der artene vi allerede har samlet slikt materiale for, og for de norske artene som fortsatt mangler.

En oppsummering av en del viktige kostnadsanslag er vist i tabell S1.

Tabell S1. Kostnadsestimater for innsamling, bearbeiding, lagring og tilgjengeliggjøring av referansemateriale og -sekvenser for arter. Oppgitt i gjennomsnitt per art og samlet for alle arter som finnes i referansedatabasen og de resterende norske arter som foreløpig ikke finnes i referansedatabasen.

Kostnadspost	Beløp i kroner	Kommentar
Kostnader per art		
Gjennomsnittlig kostnad til innsamling, bearbeiding, fram til lagring per art	Gjennomsnitt: ca. kr 11 450	Varierer mye, helt fra ca. 2000 kr (for enkelt tilgjengelig terrestriske insekter og karplanter) til kr 150 000 kr (for en del marine arter)
Gjennomsnittlig kostnad (nåverdi) til lagring per art (fysisk objekt, DNA-sekvens og digitalt)	Kr 1600	Lagres i 40 år til en årlig kostnad av 80 kr per art.
Kostnader for de ca. 40 000 artene som finnes i referansedatabaser i dag		
Kostnader (nåverdi) for innsamling, lagring mm. av alle norske arter som finnes i referansedatabasen i dag	Ca. 460 mill. kr (80 mill.kr – 2, 6 milliarder kr.)	Anslag varierer mye, avhengig av om vi antar at kostnaden for hver art tilsvarer gjennomsnittlig, laveste eller høyeste kostnader for hver art.
Kostnader til lagring, årlig	3,2 mill.kr	Totalt for dagens innsamlede ca. 40 000 arter
Kostnader til lagring, nåverdi (40 år, 4% diskonteringsrente)	64 mill.kr	Totalt for dagens innsamlede ca. 40 000 arter
Kostnader for de ca. 20 000 artene som ikke finnes i referansedatabasen i dag		
Kostnader (nåverdi) for innsamling og bearbeiding av resterende norske arter, som ikke finnes i referansedatabasene i dag	Ca. 260 mill. kr (40 mill. kr – 1,3 milliarder kr)	Anslag varierer mye, avhengig av om vi antar at kostnadene for hver art tilsvarer gjennomsnittlig, laveste eller høyeste kostnad til ivaretagelse per art.
Kostnader til lagring, nåverdi (40 år, 4% diskonteringsrente)	32 mill.kr	Totalt for de ca. 20 000 artene som mangler i dagens referansedatabaser

Kostnader ved innsamling, bearbeiding og lagring av referansemateriale med DNA-sekvenser for bestander

I hovedsak inngår de samme oppgavene og dermed kostnadspostene ved innsamling av referansemateriale med DNA-sekvenser for bestander. Vi har derfor vurdert tidsbruk/kostnader for de samme oppgavene. En vesentlig forskjell er imidlertid at referansematerialet for bestander nesten alltid samles inn som ledd i et annet prosjekt, og at det samles inn mye mer materiale for hver art. Mens referansemateriale for en art vanligvis inneholder materiale fra 3-5 individer, kan referansemateriale for bestander inneholde materiale fra flere tusen individer, og det samles ofte inn i en årrekke. Vi vurderer det som mindre relevant å beregne kostnader for innsamling av referansemateriale for bestander, da disse varierer helt med hvilken art, hvor mange lokaliteter, hvor mange prøver, over hvor lang tid osv. det skal samles inn.

Bearbeiding av materialet innebærer mye av det samme arbeidet per prøve som for en art, men det er altså mange flere prøver som skal bearbeides. Det er også mye mer materiale som potensielt skal lagres. Det er imidlertid liten systematikk i hva som lagres. Det er i stor grad opp til hver institusjon, og til dels også ulike forskere ved institusjonen, hvor viktig de synes det er å ta vare på materialet. Ofte lagres materialet en viss tid for så å bli kastet fordi institusjonen ikke har plass til å ta vare på alt. Det kan også virke som om det er lite systematikk med hensyn til hva som skal lagres; om det for eksempel er hele individet eller bare vevsprøver, i tillegg til DNA-ekstrakt. Dersom hele individet lagres, kan det være svært plasskrevende. Det gjelder for eksempel når det er større pattedyr som tas vare på, men også for vannprøver eller insektprøver fra insektfeller på glass.

Kostnadene til lagring varierer dermed mye, og det gir liten mening å beregne en «gjennomsnittlig lagringskostnad per bestand». Vi kan imidlertid anslå noen kostnader til lagring av referansemateriale, basert på beregninger i en søknad til forskningsrådet om å etablere et felles deponeringssystem for referansemateriale for bestander. De har anslått totale kostnader til investering, og drift til 100 millioner kroner (som her antas å representere nåverdien av investering og drift), og kan deponere ca. 1 million prøver, noe som gir en nåverdi av kostnaden per prøve på 100 kroner. Det kan virke lavt anslått sammenlignet med årlige lagringskostnader for arter, og i en annen sammenheng er det anslått at deponeringskostnader for en tiårsperiode burde være 1500 kroner per prøve. For en bestandsprøve som for eksempel inneholder 1400 prøver, vil totalkostnaden for å lagre denne prøven være i størrelsesorden 140 000 – 2 100 000 kroner for å lagre prøvene i en tiårsperiode. Dersom

det samles inn like mye året etter, blir kostnaden den samme for de prøvene osv. Det betyr at det er store lagringskostnader knyttet til bestandsprøver, og det vil kreves en god plan for å vurdere hvor mye og hva som skal lagres.

Kostnader knyttet til referansemateriale for bestander varierer mye og er beheftet med betydelig usikkerhet. Innsamling av materiale er ofte del av andre prosjekter, og kan være vanskelig å fastsette. Når det gjelder bearbeiding og spesielt lagring, er det særlig omfang av materiale som skal lagres som har stor betydning for kostnadene.

Hva er nytten av referansedata for miljøforvaltningen?

Potensielle nyttevirksomheter av referansemateriale med DNA-sekvenser, kan systematiseres som vist i Tekstboks S1.

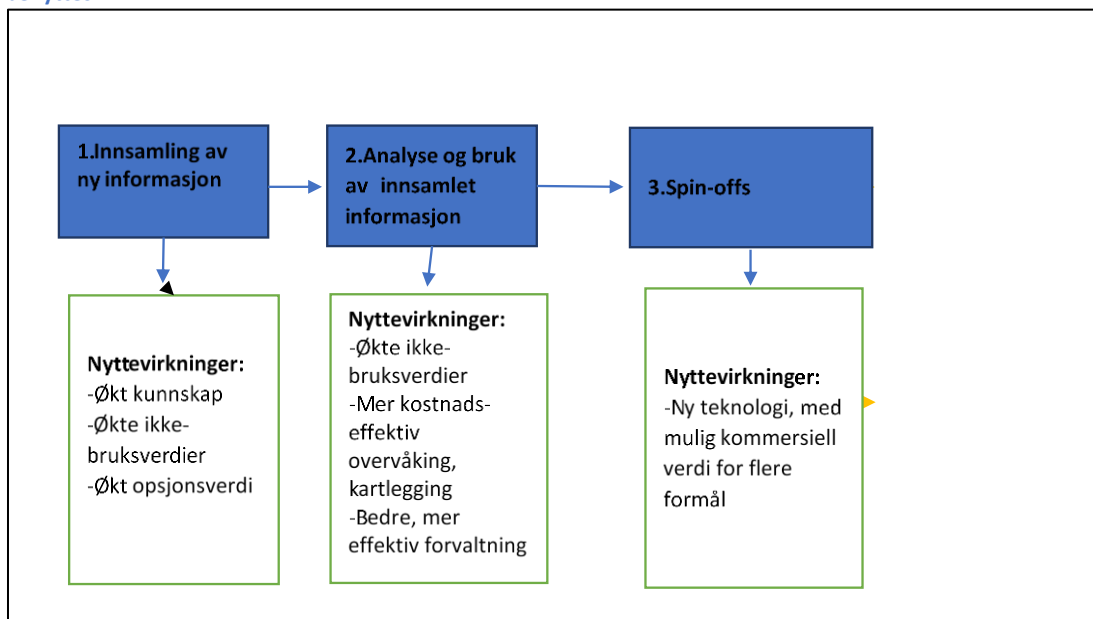
Tekstboks S.1. Oversikt over mulige nyttevirksomheter av referansemateriale med DNA-sekvenser

1. *Innsamling av ny informasjon i form av referansemateriale med DNA for arter og bestander gir nyttevirksomheter i form av:*
 - Økt kunnskap om arter, bestander og økosystemer
 - Økte ikke-bruksverdier ved at man får økt kunnskap og kjennskap
 - Økte opsjonsverdier i form av muligheter for å utnytte kunnskapen i fremtiden
2. *Analyse og bruk av innsamlet informasjon gir nyttevirksomheter i form av:*
 - Økte ikke-bruksverdier ved at man får ytterligere kunnskap og kjennskap
 - Muligheter for mer kostnadseffektiv overvåking, kartlegging mv.
 - Bedre, mer effektiv forvaltning basert på mer kunnskap
3. *Nye måter for innsamling av informasjon gir muligheter for spin-offs, som kan gi nyttevirksomheter i form av:*
 - Muligheter for teknologisk utvikling ved automatisk prøvetaking, roboter, osv.

Innsamling av informasjon i form av referansemateriale med DNA gir mer eller mindre automatisk en del nyttevirksomheter, i form av økt kunnskap om arter, bestander og økosystemer. Dette gir også økte ikke-bruksverdier, og økte opsjonsverdier, fordi innsamlingen og ivaretagelsen gir mulighet til å utnytte informasjonen en gang i fremtiden.

Data med DNA-sekvenser for arter og bestander i referansedatabaser gir imidlertid også mulighet til å analysere og bruke den innsamlede informasjonen i miljøforvaltningen, og det er her de største nyttevirksomhetene ligger for miljøforvaltningen. Analyse og bruk av materiale øker også kunnskap og ikke-bruksverdier, men vi har sett særlig på de mulighetene som ligger i å ta i bruk materialet for mer kostnadseffektiv overvåking og kartlegging. I tillegg til at overvåking og kartlegging i mange tilfeller kan gjøres mer kostnadseffektivt, slik at man kan få «mer overvåking og kartlegging per krone», kan DNA-sekvensinformasjon fra miljø-DNA-prøver også gi mer informasjon og kunnskap om arter, bestander og økosystemer. Dette igjen gir mulighet for bedre forvaltning basert på mer inngående kunnskap om naturen som skal forvaltes. I neste instans kan disse nye metodene for innsamling og analyse, bidra til innovasjon og «spin-offs», som kan være interessante for miljøforvaltningen, men også for et bredere marked. Disse sammenhengene kan illustreres som i figur S1.

Figur S1. Oversikt over mulige nyttevirksomheter av referansemateriale med DNA-sekvenser, avhengig av hvordan materialet benyttes.



Ved å ta i bruk den nye informasjonen øker nytteverdiene

Selv om man samler inn informasjon om arter i et referansebibliotek og på den måten får bedre kunnskap om arter og bestander, er det ikke gitt at samfunnet har adekvate tiltak, eller setter i gang slike tiltak. For at samfunnet skal få full nytte av kunnskapen fra referansebibliotekene, betinger det at man tar i bruk kunnskapen som fremskaffes, og man må ha muligheter til å gjennomføre bedre eller tidligere tiltak, eller ta i bruk bedre og/eller billigere metoder for eksempel for overvåking. Dersom man ikke gjør det, sitter man igjen med den kunnskapen selve biblioteket/databasen gir. Det er grunn til å anta at samfunnet etablerer et referansebibliotek med DNA-sekvenser fordi man ønsker å bruke kunnskapen, men det er ikke gitt at man faktisk gjør det.

Nye metoder kan gi spin-offs

Det å ta i bruk DNA-baserte metoder kan skape spin-off-effekter. Det kan skje ved å ta i bruk metoder i en annen sektor enn der den ble initiert. Det er også pekt på at muligheten for å ta prøver på andre måter, f.eks. ved vannprøver i stedet for grabbeprøver i sedimenter, har avfødt idéen om automatisk prøvetaking. Det jobbes også med automatisk prøvetaking, utvikling av «prøvetakings-kit» osv.

Potensielle nyttevirksomheter som ikke er vurdert

Bruk av DNA-basert metodikk og miljø-DNA kan gi nyttevirksomheter forbundet med bioprospektering og kommersielle aktiviteter knyttet til dette. Slike nyttevirksomheter er ikke inkludert i denne utredningen. Det kan videre være ulike nyttevirksomheter eller ulik størrelse på nyttevirksomhetene avhengig av hvordan data deles. Dette ligger også utenfor mandatet til denne utredningen og vurderes ikke videre.

Eksempler på bruk av miljø-DNA for overvåking og kartlegging

Miljø-DNA er som hovedregel ikke tatt i bruk i overvåkingen utover uttesting, slik at den ordinære overvåkingen skjer med tradisjonelle metoder ved morfologisk identifikasjon av organismene. Unntaket er programmet for insektovervåking der kun DNA-basert metodikk benyttes for analyse. Dette betyr at kostnadstallene vi har innhentet og vurderinger av fordeler (nytte) og ulemper (kostnader) er basert på pilotprosjekter og forventninger om hvordan «de nye» metodene vil fungere. Det kan gjøre at man både er for optimistisk og for pessimistisk i anslagene og vurderingene. Vurderingene som gjøres, vil derfor være avhengig av dem vi har snakket med og

hvordan de vurderer de ulike metodene, og vi har også sett at det varierer en del hvordan de ulike metodene vurderes. Det er gjennomgående for alle vi har intervjuet, både i forvaltning og forskning, at man ser muligheter for bedre og mer effektiv forvaltning basert på mer og til dels annen informasjon enn den man får i dag. Samtidig er det noe ulikt hvordan man vurderer hvor langt fram i tid man må før DNA-basert metodikk fullt ut kan erstatte dagens overvåkings- og kartleggingsmetoder. Dette henger også sammen med hva metoden skal brukes til, hvilke arter eller organismegrupper det er snakk om og hvilket habitat eller økosystem som skal kartlegges eller overvåkes. Det er f.eks. stor forskjell på om man skal kartlegge om en viss art finnes i et økosystem (f.eks. en sjelden art som elvemusling *Margaritifera margaritifera*, eller en regional fremmed art som gjedde eller en parasitt som *Gyrodactylus salaris*) eller om formålet er å kartlegge endringer i en bestand, f.eks. ved overvåking av insekter.

Det er langt enklere å finne gode metoder for innhenting av data (f.eks. når og hvor prøver skal tas), identifisere gode primere og sikker bestemmelse av én enkelt art, enn av – i prinsippet – alle insekter som finnes i et visst område. Det er langt enklere å gjennomføre førstnevnte oppgave med DNA-basert metodikk enn sistnevnte. Det er også lagt ned betydelig jobb i å sammenligne miljø-DNA-metoder med tradisjonelle metoder for førstnevnte oppgave, f.eks. for fremmede fiskearter. Samtidig er det, særlig for dem som ikke jobber med genetikk til vanlig, overraskende hvor vanskelig det kan være å kunne fastslå eksakt hvilken art som har lagt igjen sine gener i en vannprøve. Det er derfor et betydelig arbeid som må gjøres for sikker bestemmelse på artsnivå, også for kjente og veletablerte fremmede fiskearter i norske vannforekomster. Man oppdaget også f.eks. at primere utviklet for å identifisere kanadiske populasjoner eller arter ikke nødvendigvis fungerte godt/tilfredsstillende for populasjonene i Norge. Dette betyr at ikke all erfaring og kunnskap som ligger i utviklingen av en innsamlingsprotokoll kan brukes/overføres til andre land og verdensdeler, selv om artene er de samme.

Insektovervåking representerer på mange måter et ytterpunkt i bruk av DNA-basert analyse i overvåking da det finnes svært mange insektarter som fanges inn via ulike felletyper. Det ville knapt være mulig å gjennomføre insektovervåking med artsbestemmelse ved bruk av tradisjonelle metoder, fordi morfologisk identifisering ville være så tidkrevende. Siden det er mange ulike slekter og familier av insekter, vil det også kreve at en rekke eksperter settes i sving for artsbestemmelse, og det er tid- og ressurskrevende. Samtidig er innsamling av materiale en stor kostnad både ved tradisjonell metode og ved DNA-basert metodikk. Feller må settes opp og tømmes med jevne mellomrom i begge tilfeller. Ved sammenligning av artsidentifikasjon ved de to metodene, fant forskerne at ingen av metodene ga identifikasjon av alle arter. Det er mulig det kunne vært oppnådd ved morfologisk bestemmelse, men det ville tatt svært lang tid. Artsbestemmelsen via DNA-basert metodikk vil avhenge av hvilke arter det til enhver tid finnes referansesekvenser for i de databasene som benyttes. Det er all grunn til å anta at stadig flere arter vil finnes der slik at antall arter som kan identifiseres, vil øke. Det er også grunn til å anta at kostnadene til DNA-metastrekkoding (og andre metoder for artsgjenkjennelse) vil bli lavere og metodene sikrere på sikt. Slik sett er det grunn til å anta at DNA-basert metodikk stadig vil bli gunstigere med hensyn til kostnader og nytte i form av artsgjenkjennelse.

Er tradisjonelle metoder eller DNA-baserte metoder best og mest kostnadseffektive?

Både insektovervåkingseksempelet og de andre eksemplene som er presentert, viser at det ikke alltid er gitt hvilken metode som er billigst per i dag. Prøvetaking i felt er ofte en stor kostnadspost ved innsamling av materiale for kartlegging og overvåking. Dersom man må bruke omtrent like lang tid i felt på å samle inn prøver med tradisjonelle metoder som med DNA-basert metodikk, er det mindre å hente på å bruke DNA-basert metodikk som alternativ. Det er derfor først og fremst hvis man også kan redusere kostnadene til prøvetaking at DNA-basert metodikk kan redusere de totale kostnadene. Hvis det skal tas såkalte «sparkeprøver» på bunnen for å samle inn arter i en innsjø, må antagelig samme person bruke like mye tid uavhengig av analysemetode. Dersom man i stedet kan ta en enkel vannprøve, som i tillegg kan tas av personer lokalt basert på en standard prøvetakingsmetode, kan man redusere kostnadene til prøvetaking, og dermed for DNA-basert metodikk som sådan. Det vil da avhenge av hvilke analyser som skal gjøres, hvilken metode som er billigst. Det er lett å tenke seg at bestemmelse ved bruk av DNA-basert metodikk alltid vil være billigst, sammenlignet med bruk av en

«kostbar taksonom». Men dersom man skal påvise en fremmed fisk (f.eks. gjedde eller sørv) i et vann, kan de som er på stedet og trekker garnet, umiddelbart se om den aktuelle arten finnes der og om det er andre, lignende arter. Dersom man i stedet sender en vannprøve til et laboratorium, går man glipp av denne umiddelbare artsidentifikasjonen. For å påvise en eller noen få velkjente arter, iallfall av større organismer, kreves det ikke langvarige morfologiske undersøkelser. Litt generaliserende, kan vi derfor si at man vil ha størst nytte-kostnadsvirkning av å ta i bruk DNA-basert metodikk for kartlegging og overvåking, der DNA-basert metodikk også innebærer at innsamlingskostnadene kan reduseres ved enklere prøvetaking, og der det er relativt mange arter som er tidkrevende å bestemme morfologisk, men enkelt å identifisere ved DNA-sekvenser.

DNA-baserte analyser er fortsatt under utvikling, men har stort potensiale

Alle vi har snakket med understreker at vi fortsatt er på forsøksstadiet, og at det vil kreve tid og penger å utvikle DNA-basert metodikk og protoller for miljø-DNA-prøver til å bli god nok på alle områder der den kan tenkes å bli brukt, samtidig som den gir store muligheter til å fremskaffe mye mer informasjon om hvert enkelt økosystem enn vi har i dag. Denne økte informasjonen må også kunne tas i bruk for at vi skal ha nytte av den i dag. Mer informasjon gir imidlertid en opsjonsverdi som gjør at man kan utnytte denne økte informasjonen en gang i fremtiden. Vi har da også eksempler på at det å ha tatt vare på referansemateriale i form av fysiske eksemplarer av arter fra langt tilbake i tid, i dag gir oss mulighet til ny kunnskap basert på at vi nå har nye analysemetoder som miljø-DNA tilgjengelig. Tilsvarende kan det tenkes at vi en gang i fremtiden, uten at vi ser eller kan fastsette verdien av det nå, oppdager nye bruksområder som gir nye nyttevirksomheter av miljø-DNA-prøvene vi samler inn nå. Det er også eksempler og muligheter på kommersielle verdier ved at det å ta i bruk miljø-DNA som prøvetakingsmetode og DNA-basert metodikk kan skape spin-off-effekter. Det gjelder både ved å ta i bruk metoder i en annen sektor enn der den ble initiert, f.eks. ved at metoder brukt på marine sedimenter i petroleumssektoren kan brukes i andre marine næringer, slik som havbruksnæringen. Men det er også pekt på at muligheten for å ta prøver på andre måter, f.eks. ved vannprøver i stedet for grabbeprøver i sedimenter, har avfødt idéen om automatisk prøvetaking. Dette igjen gir muligheter for kontinuerlig analyse og rapportering av resultater, og «varsko» eller «alarm» dersom ulike grenseverdier overskrives osv. I og med at det er kostbart å innhente prøver f.eks. fra marine sedimenter, og at det tar tid å analysere prøvene, gir det incentiver til å finne nye og mindre kostnadskrevende metoder for innsamling og analyse. Det kan f.eks. være tekniske løsninger med automatisk prøvetaking med en «slange» som sendes ut for å ta prøver med jevne mellomrom fra en fast stasjon, en båt, en ROV e.l. Det jobbes også med automatisk prøvetaking, utvikling av «prøvetakingskit» som kan benyttes av legfolk som vil samle inn prøver, osv.

En ulempe med dagens DNA-baserte metoder er at de i liten grad kan brukes til kvantifisering av absolutte antall eller andeler av ulike arter. I noen grad kan man få fram andeler, men ikke absolutte tall. Det er også en svakhet ved de tradisjonelle metodene, men der kan det gå an å telle organismer som finnes i en spesiell prøve eller forekomst.

Referansebibliotek er grunnleggende, men av ulik betydning for ulike anvendelser

Vi har ovenfor gjengitt kostnader for å samle inn referansemateriale- og sekvenser for arter og bestander, og betydelige kostnader er brukt og vil trenge framover for å fullføre kartleggingen. Slik kartlegging og innlegging i tilgjengelige databaser er viktig for å kunne ta i bruk og utvikle DNA-baserte metoder i overvåking og kartlegging. Det er imidlertid forskjell på hvor viktig kartlegging av «flest mulig» arter er for ulike formål. Dersom man skal kartlegge eller overvåke én art, er det ikke behov for å ha en fullstendig database med oversikt over DNA-sekvenser for alle arter. Man trenger bare DNA-sekvens og primer for den arten man skal kartlegge og/eller overvåke. Hvis man skal overvåke insekter eller andre organismer i et økosystem, trenger man derimot en database som helst inneholder alle relevante organismer som kan finnes der. Dette løses ofte med at man identifiserer relevante indikatorarter, f.eks. indekser knyttet til vannforskriften, som da utgjør et sett med forhåndsdefinerte arter som skal overvåkes.

Ulike metoder har ulike fordeler og ulemper i ulike anvendelser

Det å ta i bruk DNA-baserte metoder gir altså muligheter for stor nytte og en potensiell reduksjon i kostnader på sikt, men det er fortsatt et utviklingsarbeid som må til. Det er også viktig at det å ta i bruk miljø-DNA som prøvetakingsmetode kan gi bedre og mer effektiv forvaltning fordi det gir mulighet til å fremskaffe mer og bedre informasjon. Det betyr imidlertid ikke at man ikke lenger trenger annen kunnskap enn det en får gjennom svar på en miljø-DNA-analyse. Det vil fortsatt trenge kunnskap om økosystemer og arter, og ikke minst tolkning av de resultatene som miljø-DNA-analysen gir.

Som en av våre informanter uttrykte det: *«Dersom man skal vurdere samfunnsøkonomisk utbytte av de enkelte metodene, kommer vi ikke utenom å snakke om de ulike tilnærmingenes fordeler og ulemper. Fordelen med miljø-DNA er blant annet at man ikke nødvendigvis trenger å kunne flere metoder for å få et resultat for flere organismegrupper. Det betyr likevel ikke at resultatet man får med miljø-DNA uten videre er representativt for den enkelte organismegruppe i den aktuelle vannforekomsten. Prøvetakingsstrategi, altså valg av antall stasjoner, stasjonsplassering, prøvetaking på den enkelte stasjon, valg av analyser av livsmedium eller eksempelvis sprit fra innsamlet prøve er noe vi må snakke mye mer om, og som har direkte betydning for beregningene av nytte og kostnader. Som fiskebiolog vil du se en vannlokalitet annerledes enn en ekspert på begroingsalger, eller en som ser etter et praktisk sted å dyppe slangen for å pumpe vann. Valg man tar ved prøvetaking har betydning for resultatet – og dermed vurderingen man gjør av lokalitetens økologiske tilstand. I tillegg vil personell med erfaring legge merke til, og kunne dokumentere forhold som er avgjørende for tolkningen av resultatet når de er i felt. Et feilaktig resultat på grunnlag av feil valg av prøvetakingsstrategi og manglende kobling mellom observasjoner i felt og resultater kan bli dyrt for samfunnet. Bedømmes lokaliteten for strengt fordi resultatet ikke klarte å fange opp den reelle diversiteten eller dokumentere den naturlige tilstanden i lokaliteten kan det utløses krav om tiltak som kan koste mye penger. Bedømmes lokaliteten for snilt, fordi man ikke klarte å dokumentere påvirkningen, oppfyller vi ikke formålet med undersøkelsene og vi risikerer store kostnader på sikt.»*

Vi anbefaler å kartlegge kostnader og måloppfyllelse ved bruk av miljø-DNA i ulike sammenhenger

Med unntak av kostnader og måloppfyllelse ved bruk av DNA-baserte og tradisjonelle metoder ved etablering av program for insektovervåking, er det i liten grad gjort systematiske undersøkelser og sammenligninger av kostnader og måloppnåelse ved bruk av tradisjonelle metoder og DNA-baserte metoder. Det er gjort en del sammenligninger av metodenes evne til å oppdage fremmede arter, lakseparasitten *G. salaris*, osv., men dette er i liten grad kombinert med kartlegging som gir muligheter for å sammenligne kostnader ved de ulike metodene. Vi har sett i denne utredningen at de ulike metodene kan være ulike både med hensyn til kostnader og nytte i ulike anvendelser.

Vi anbefaler derfor at man fremover også legger inn muligheter for å sammenligne kostnader, måloppnåelse og nytte ved bruk av ulike tradisjonelle og DNA-baserte metoder for kartlegging og overvåking i ulike anvendelser. Med relativt liten ekstra innsats for å kartlegge og sammenligne kostnader ved metodene, kan man få et mye bedre grunnlag for å vurdere effektivitet, måloppnåelse, nytte og kostnader i ulike anvendelser.

1. Bakgrunn og problemstillinger

1.1. Bakgrunn

I miljøforvaltningens gjennomgang av forskningsbehov er det fremhevet at det har vært en enorm utvikling av molekylære metoder og DNA-teknologi, men at det er behov for utviklingsarbeid før disse metodene eventuelt kan tas i bruk, for eksempel i overvåking. Miljødirektoratets instruks presiserer at bruk av ny teknologi og nye metoder skal vurderes for alle overvåkingsprogram og at direktoratet skal fremme utvikling av miljøteknologi på etatens ansvarsområder og sikre bruk av ny teknologi og kostnadseffektive løsninger i kartleggings- og overvåkingsarbeidet.

Miljø-DNA er definert som en prøve med kompleks miks av DNA fra ulike organismer, det vil si alt DNA vi kan finne i en spesifikk miljøprøve, uavhengig av hvilket substrat prøven kommer fra og hvilke arter den inneholder. Miljø-DNA er derfor i utgangspunktet uspesifikt og representerer ideelt sett alle arter i et gitt økosystem (Finstad et al. 2020). Miljø-DNA er en prøvetype, ikke en metode, og kan komme fra prøver både av vann, jord og luft. Ofte inkluderes også DNA fra avføringsprøver og bulkprøver i definisjonen, f.eks. planktonprøver eller malaisefelleprøver (av insekter), bestående av flere individer fra mange arter.

Bruk av DNA-strekkoding til identifikasjon av arter er avhengig av referansemateriale og referansesekvenser som lagres i henholdsvis offentlig tilgjengelig naturhistoriske samlinger og vitenskapelig museer, og i globale databaser. Slike datasett krever kvalitetssikring av eksperter på artsgruppen (systematikk og taksonomi), og kravene for publisering ved beskrivelse av en ny art for vitenskapen følger internasjonale koder.

For referansemateriale (individer med korresponderende DNA-sekvenser) fra bestander er situasjonen noe mindre standardisert, og for data generert fra rene miljø-DNA-prøver finnes det foreløpig ingen nasjonal eller internasjonal offentlig plattform for lagring. Her er det store mengder data som vil bli generert fremover under ulike overvåkingsprogram.

Som ledd i sitt arbeid med å vurdere nye teknologier med bruk av DNA-baserte metoder, for kartlegging og overvåking, ønsker Miljødirektoratet i dette prosjektet å få en første oversikt over samfunnsøkonomiske nytte- og kostnadsvirkninger, ved ulike nye metoder og nivåer for innsamling, bruk og lagring av DNA-referansemateriale og miljøovervåking.

1.2. Målsetting, problemstillinger og avgrensinger

Målet med dette prosjektet er å identifisere nytte- og kostnadsvirkninger og i den grad det er mulig komme med anslag for størrelsesorden av den samfunnsøkonomiske verdien av referansemateriale, referanse- og overvåkingsdata, samt innsamlede prøver med utgangspunkt i DNA-sekvenser generert fra miljø-DNA-prøver. Utredningen skal også anslå kostnadene ved innsamling, lagring og bruk av slikt materiale.

Analysen er gjennomført for *følgende type data, omtalt som «nivå»*.

Nivå 1: Referansemateriale for arter i offentlige samlinger og referansesekvenser (DNA-sekvenser) fra referansemateriale for arter i offentlige samlinger i offentlig tilgjengelige databaser

Nivå 2: Referansemateriale for bestander benyttet ved kartlegging og overvåking og referansesekvenser (DNA-sekvenser) fra referansemateriale for bestander

Nivå 3: Overvåkingsdata, det vil si DNA-sekvenser fra miljø-DNA-prøver, fra overvåkingsprogram og innsamling og lagring av referanseprøver, dvs. miljø-DNA-prøver, innsamlet i forbindelse med overvåking for lagring over lengre tid.

Spørsmål som skal vurderes

I oppdraget er det reist en del spørsmål som så langt som mulig skal besvares, knyttet til verdien av referansedata for miljøforvaltningen, knyttet til nytten/verdien og kostnader ved å samle inn slikt materiale:

- Bruksverdier: hvilken verdi har data fra kartleggings- og overvåkingsprosjekt i regi av forvaltningen?
- Informasjonsverdi: bidrar data fra kartlegging og overvåking til bedre/mer treffsikker forvaltning? Har alle data like stor verdi? Hvorfor er det nyttig at vi produserer disse dataene og hva kan de brukes til?
- Tilleggsverdi: Er vi sikre på at ulikt datamateriale fra kartlegging og overvåking har en bruksverdi? Er dette en fornuftig måte å innhente og lagre informasjon på? Hvordan sikrer vi maksimal verdi av innhentede data?
- Kommersiell verdi: er det mulig å kvantifisere verdi fra kartlegging og overvåking med miljø-DNA med tanke på næringsinteresser nå og fremover? Her er også forventet verdi og opsjonsverdi relevante å diskutere
- Hva er kostnadene ved innsamling, lagring og bruk av slikt materiale

Avgrensinger

I samråd med Miljødirektoratet ønsket vi i utgangspunktet å gjøre analysen så omfattende som mulig. Vi har derfor valgt en bred tilnærming der vi forsøker å gi et grovt kostnadsestimat for innsamling, lagring og bruk av henholdsvis arter og bestander sett under ett. Men vi oppgir også mer detaljerte tallstørrelser for utvalgte arter/artsgrupper/økosystemer der det er tilgjengelig og kan gi oss ekstra informasjon. For nivå 3, innsamling og bruk av miljø-DNA i overvåking og kartlegging, har vi i samråd med oppdragsgiver avgrenset oss til å illustrere nytte og kostnader ved bruk av et utvalg eksempler (case).

DNA-basert metodikk kan gi nyttevirksomheter knyttet til bioprospektering og kommersielle aktiviteter knyttet til dette. Slike nyttevirksomheter er ikke inkludert i denne utredningen. Det kan også være ulike nyttevirksomheter eller ulike størrelser på nyttevirksomhetene avhengig av hvordan data deles. Dette ligger også utenfor mandatet til denne utredningen og vurderes ikke videre.

Bruk av DNA-basert metodikk og analyse av miljø-DNA-prøver er fortsatt på utprøvningsstadiet, og det foreligger svært begrenset samlet informasjon om nytte og kostnader ved slik bruk, både nasjonalt og internasjonalt. Vi har derfor i stor grad måttet innhente egne kostnadstall og gjøre egne anslag basert på informasjon vi har kunnet innhente med relativt små ressurser. Det vil derfor være behov for å bore videre både i kostnads- og nytteanslag. Det er også begrenset erfaring med bruk av miljø-DNA i større omfang fordi det fortsatt i liten grad er tatt i bruk utover uttesting, piloter og som tillegg til andre overvåkingsmetoder. Grunnlaget for å gjøre nytte- og kostnadsanslag er derfor begrenset, og man bør oppdatere anslagene når man har fått mer praktisk erfaring. Det kan være at man per i dag undervurderer visse kostnadsposter i «teknologioptimismens» navn, og/eller det kan være at man overvurderer (andre) forhold som man vil finne enkle og billige løsninger på om få år. På et felt som er i så rivende utvikling som dette, er det all grunn til å tro at både teknologi- og kostnadsbildet vil endre seg, kanskje betydelig, i løpet av noen år.

1.3. Viktige begreper

Det er mange begreper knyttet til miljø-DNA og referansemateriale. En del av de sentrale begrepene som er viktige i denne rapporten er forklart i tekstboks 1.1.

Generelt om miljø-DNA

Miljø-DNA (environmental DNA, eDNA): Miljø-DNA er definert som en kompleks miks av DNA fra ulike organismer, det vil si alt DNA vi kan finne i en spesifikk miljøprøve, uavhengig av hvilket substrat prøven kommer fra og hvilke arter den inneholder. Miljø-DNA er derfor i utgangspunktet uspesifikt og representerer ideelt sett alle arter i et gitt økosystem.

Miljø-DNA er en prøvetype, ikke en metode, og kan komme fra prøver både av vann, jord og luft. Ofte inkluderes også DNA fra avføringsprøver og bulkprøver, f.eks. planktonprøver eller malaisefelleprøver (av insekter), bestående av flere individer fra mange arter som miljø-DNA. Vi legger en slik vid definisjon til grunn i denne rapporten.

Markør: Et navngitt DNA-fragment. Kan, men må ikke, være en del av et gen

Primer: Et kort, syntetisk enkelttrådet DNA-fragment som binder seg til et utvalgt område på mål-DNA (markør) under PCR. Nødvendig for at enzymet polymerase skal kopiere utvalgt markør.

Probe: Et kort, syntetisk enkelttrådet DNA-fragment med fluoriserende merking som binder seg til utvalgt område på mål-DNA (markør) under PCE. Øker spesifisiteten og kan brukes i tillegg til primer i qPCR og ddPCR for å påvise og kvantifisere en genetisk markør.

Påvirkning av enkeltarter (species-specific detection)

qPCR (quantitative Polymerase Chain Reaction): Kvantitativ PCR. Metode som måler relativ DNA-mengde av en markør i en prøve.

ddPCR (droplet digital Polymerase Chain Reaction): Dråpe digital PCR. Metode som måler absolutt DNA-mengde (antall kopier) av en markør i en prøve.

Beskrivelse av artssamfunn

DNA-strekkoding (DNA barcoding): Bruk av et kort, standardisert DNA-fragment til identifisering av enkeltarter

DNA-metastrekkoding (DNA metabarcoding): Benyttes til å påvise flere arter samtidig, og beskriver hele eller deler av artssamfunnet. Metoden bygger på muligheten til å identifisere arter ved bruk av standardiserte biter av arvestoffet (DNA-strekkoding) med artsgenerelle primere. En forutsetning for å bruke DNA til å identifisere arter, er at det finnes referansedatabaser med DNA-sekvenser («strekkoder») for kjente arter.

Begreper knyttet til referansebibliotek

Referansebibliotek/referansedatabase: Database som inneholder DNA-sekvenser (DNA-strekkoder) fra identifiserte individer av kjente arter eller høyere taksonomisk nivå (f.eks. slekt, familie).

Referansesekvens: DNA-sekvens fra et individ identifisert til art eller høyere taksonomisk nivå. En DNA-referanse til arten/taksonet.

Referansemateriale/beleggmateriale: Det fysiske individ som DNA-sekvensen, observasjonen og identifikasjonen stammer fra. Må oppbevares sikkert og være tilgjengelig for eksaminering og resultatet skal være etterprøvbart.

2. Metode og data

2.1. Samfunnsøkonomisk metode

Formålet med oppdraget er å angi nytte- og kostnadsvirkninger, og om mulig, størrelsesorden for henholdsvis kostnader og nytte ved DNA-basert metodikk og nye teknologier. Vi skal altså ikke gjennomføre en full samfunnsøkonomisk analyse, men vi vil likevel følge opplegget i samfunnsøkonomiske analyser, i tråd med veiledere og retningslinjer fra DFØ (2018) og Finansdepartementet (2021) for å sikre at nytte og kostnad som fremkommer er i tråd med samfunnsøkonomisk metode, slik at de eventuelt senere kan inngå i en samfunnsøkonomisk nytte-kostnadsanalyse (NKA). For Miljødirektoratet er det viktig å velge kostnadseffektive teknologier, men det er også vesentlig å samle informasjon om størrelsesorden av *nytten* av å samle inn data, og spesielt av om det er noen «ekstra» nytte knyttet til å samle og lagre data fra de nye teknologiene. Vi vurderer det derfor slik at nytte-kostnadsanalyse (NKA) er mest relevant. Vi inkluderer også en beskrivelse av kostnadseffektivitetsanalyser (KE) fordi slike analyser kan være egnet til å vurdere hvilken teknologi som er samfunnsøkonomisk mest fordelaktig for å oppnå en viss målsetting.

I en NKA verdsettes nytte- og kostnadsvirkninger i kroner så langt det er faglig forsvarlig ut fra et hovedprinsipp om at en virkning er verdt det befolkningen samlet er villig til å betale for å oppnå den. Dersom betalingsvilligheten for alle nyttevirkningene av tiltaket er større enn summen av kostnadene, defineres tiltaket som samfunnsøkonomisk lønnsomt. Kostnadene til et prosjekt skal prinsipielt gjenspeile verdien av det man må gi opp av andre ting for å gjennomføre prosjektet (verdien som ressursene kan skape i beste alternative anvendelse).

I en del tilfeller, som i dette tilfellet for verdien av miljødata, kan det være vanskelig å måle alle virkningene i kroner. I slike tilfeller kan man gjennomføre en NKA basert på de virkningene man finner det faglig forsvarlig å verdsette. Det er viktig at manglende verdsetting av noen virkninger ikke fører til at disse virkningene tones ned når analysen presenteres. Slike ikke-prissatte virkninger bør fortrinnsvis tallfestes i fysiske størrelser, vurderes kvalitativt og tas med i en samlet vurdering av tiltakets samfunnsøkonomiske lønnsomhet. Det er imidlertid et mål med analysen å komme fram til størrelsesorden for nytteverdien, målt i kroner.

Kostnadseffektivitetsanalyser (KE) benyttes dersom alle tiltakene som skal sammenlignes har like nyttevirkninger, slik at det ikke er nødvendig å verdsette nytten i kroner for å rangere tiltakenes samfunnsøkonomiske lønnsomhet. Denne analyseformen betyr at man rangerer tiltak etter «kostnad per effektenhet» og finner det tiltaket som vil realisere ønsket mål til lavest kostnad. I en samlet vurdering av det mest kostnadseffektive tiltaket, skal også eventuelle ikke-prissatte kostnadsvirkninger tas med.

Det er opplagt at NKA vil ha sin fordel fordi vi da enkelt kan sammenligne samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved ulike tiltak (måter å samle informasjon på). Samtidig er det like klart, at det vil være svært krevende å få verdsatt alle nyttevirkninger av å innhente, bruke og lagre referansemateriale.

Det må sies at det også er krevende å tallfeste *kostnadene* ved å innhente, bruke og lagre referansemateriale, fordi det i liten grad er gjennomført kostnadsberegninger av slike tiltak i Norge. I tillegg er det knyttet usikkerhet til både kostnader og nytte, og det må derfor legges vekt på gode usikkerhetsanalyser.

I tekstboks 2.1 beskrives trinnene i en nytte-kostnadsanalyse. Vi vil ikke gjennomføre alle disse trinnene i denne utredningen, men fokusere på trinn 3 og 4 med identifisering, spesifisering, kvantifisering, og om mulig prissetting, av henholdsvis kostnads- og nyttevirkninger.

Tekstboks 2.1: Trinnene i en nyttekostnadsanalyse – i denne rapporten er fokus på trinn 3 og 4

1) Beskrive problemet og formulere mål

- Gjør rede for bakgrunn og begrunnelse for at analysen utføres.
- Beskrive nullalternativet (også kalt referansealternativet), dvs. situasjonen i dag og videre utvikling som kan forventes uten tiltaket. Alle alternative tiltak skal vurderes i forhold til referansealternativet.

2) Identifisere og beskrives relevante tiltak

- Beskrive tiltaket/prosjektet
- Foreta avgrensinger mot tilgrensende prosjekter, videreutvikling av prosjektet, osv.

3) Identifisere virkninger – kartlegge alle nytte- og kostnadsvirkninger

- Identifisere og beskrive alle fordeler og ulemper (nytte og kostnader) ved prosjektet.
- Spesifisere hvilke grupper som berøres av virkningene og i hvilket omfang de blir berørt. Med grupper kan menes staten/det offentlige, en bestemt næring, innbyggere, osv.

4) Tallfeste og verdsette virkninger

- Tallfeste fordeler (nytte) og ulemper (kostnader) så langt det er mulig ved bruk av en passende måleenhet. Det er også viktig å anslå hvor mange personer (i ulike grupper) som berøres, og gjerne også romlig hvor virkningene inntreffer.
- Verdsette virkninger i kroner der dette er mulig og meningsfullt. Verdien av de ressursene som anvendes i tiltaket settes lik verdien av ressursene i beste alternative anvendelse. I en samfunnsøkonomisk analyse benyttes kalkulasjonspriser for å verdsette fordelene og ulempene. I praksis innebærer dette ofte at man (eventuelt med enkle justeringer) kan benytte observerte markedspriser. Det er imidlertid utviklet en rekke teknikker for også å fastsette kroneverdier på virkninger som ikke uten videre kan verdsettes med utgangspunkt i markedspriser.
- Inkludere de virkningene som ikke meningsfylt kan verdsettes i kroner ved å benytte metoder for vurdering av ikke-prissatte virkninger, for eksempel metoden kalt pluss-minus-metoden i DFØ (2018).

5) Vurdere samfunnsøkonomisk lønnsomhet

- Beregne nåverdien av samlet nytte og kostnad (samlede fordeler og ulemper) – fra oppstarttidspunkt til analyseperiodens slutt. Anslagene for fremtidige virkninger neddiskonteres med en diskonteringsrente, fastsatt av Finansdepartementet.
- Dersom alle relevante nytte- og kostnadselementer er verdsatt og netto nåverdi er positiv, er tiltaket samfunnsøkonomisk lønnsomt.
- Gi en grundig beskrivelse av de virkningene som det er vanskelig, ikke faglig forsvarlig eller ønskelig å verdsette i kroner, eksempelvis ved bruk av metoden for ikke-prissatte virkninger, inkludert tidsforløp for disse effektene.
- Sammenstille prissatte og ikke-prissatte virkninger i den endelige nyttekostnadsanalysen. Dette kan for eksempel gjøres ved bruk av en form for break-even-analyse, som beskrevet for praktisk bruk, blant annet i Vegdirektoratet (2018).

6) Gjennomføre usikkerhetsanalyse

- Gjennomføre en usikkerhetsanalyse for å finne ut hvor robust lønnsomheten av prosjektet er for endringer i forutsetninger og virkninger.

7) Beskrive fordelingsvirkninger

- Beskrive virkningene av prosjektet for hver av de berørte gruppene

8) Gi en samlet vurdering og anbefale tiltak

2.2. Datagrunnlag

Kostnader

Kostnadene ved innhenting, lagring og bruk av materiale for de ulike delene, er estimert basert på informasjon om de ulike oppgavene som er nødvendige for henholdsvis samle inn, lagre og sikre bruk av referansemateriale for arter og bestander, samt innhenting og bearbeiding ved kartlegging og overvåking.

Vi har innhentet og satt sammen informasjon om kostnader fra flere kilder for å beregne kostnader, særlig:

- Litteraturgjennomgang: Det foreligger lite dokumentasjon av kostnader til å samle inn og ta vare på arter og populasjoner, mens det foreligger et fåtall publikasjoner som behandler kostnader generelt eller (reduerte) kostnader ved bruk av miljø-DNA-prøver og annen DNA-basert metodikk som benytter seg av at det finnes referansemateriale om arter og bestander. Det er funnet mest relevante kostnadsdata i tidligere norske rapporter om ulike mulige metoder og teknologier for henholdsvis insektovervåking og tidlig varsling av fremmede insekter og karplanter.
- Den andre hovedkilden til informasjon om kostnader knyttet til arter, bestander og kartlegging/overvåking ved bruk av nye teknologier, er aktuelle institusjoner/fagmiljøer i Norge, som besitter kostnadsinformasjon om ulike deler av innhenting, analyse, bruk og lagring av data for ulike artsgrupper og miljøer (planter, dyr, terrestrisk, limnisk, marint osv.). Innsamling av informasjon er gjort ved en kombinasjon av utsendt spørreskjema der sentrale institusjoner ble bedt om å fylle ut spesifiserte kostnadstall, og oppfølgende samtaler på Teams/telefon. Vi startet dette arbeidet med intervjuer med NTNU Vitenskapsmuseet (NTNU-VM), Naturhistorisk museum ved Universitetet i Oslo og Universitetsmuseet i Bergen. NTNU-VM, som leder for NorBOL, har hatt en sentral rolle i innhenting av kostnadstall. Representanter for sentrale forskningsinstitutter som Norsk institutt for naturforskning (NINA), Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norce og Veterinærinstituttet (VI) har også bidratt med viktig informasjon, og vi har innhentet informasjon fra Artsprosjektet i regi av Artsdatabanken.

Nyttevirkninger

Ved vurdering av nyttevirkingene av referansemateriale og -sekvenser, er det nyttig å systematisere i de ulike komponentene som inngår i total samfunnsøkonomisk nytteverdi (Total Economic Value, TEV). Den samfunnsøkonomiske nytteverdien består av bruksverdier (knyttet til direkte og indirekte bruk av innsamlet materiale), ikke-bruksverdier (knyttet til at innsamlet materiale gir økt kunnskap) og opsjonsverdier (knyttet til muligheter til å utnytte materiale og kunnskap i fremtiden).

- For å identifisere og beskrive relevante nyttevirkninger av referansemateriale/sekvenser og DNA-basert metodikk har vi gjort en litteraturgjennomgang, særlig knyttet til norske eksempler. Et svært viktig tillegg til litteraturgjennomgangen er eksempler gitt i intervjuer med representanter i NorBOL-nettverket. Forskere ved NTNU-VM, Naturhistorisk museum ved Universitetet i Oslo, Universitetsmuseet i Bergen, Norce, Veterinærinstituttet, NIVA, NINA, og Equinor har bidratt med å identifisere nyttevirkninger, og hva de kan bety, både absolutt, og sammenlignet med mer tradisjonelle måter for å kartlegge og overvåke miljøet.
- For selve verdivurderingen har vi gjort en gjennomgang av vitenskapelige publikasjoner og grå litteratur. Det er imidlertid ikke funnet noen fagfelleverderte artikler om verdsetting av nytten av miljø-DNA, men det er funnet en gjennomgang av bruk av miljø-DNA i overvåking
- Det er dermed ingen relevante anslag å hente, utover tidligere arbeid som er gjennomført for Miljødirektoratet, der Menon som underleverandør til NINA gjennomførte en samfunnsøkonomisk

nytte-kostnadsvurdering av ulike metoder henholdsvis for innsamling og analyse knyttet til insektovervåking og tidlig varsling av fremmede arter (Åström et al. 2020; Jacobsen et al. 2020).

- For å vurdere nytte og kostnader for overvåking og kartlegging ved henholdsvis DNA-basert metodikk- og mer tradisjonelle metoder ved bruk av morfologisk bestemmelse (utover insektovervåkingseksempellet), har vi i utvalgte case samlet inn informasjon og kostnadsdata fra forskningsinstitutter som har gjennomført begge typer overvåking, og basert på denne informasjonen beregnet kostnader og nytte (i form av sparte kostnader) ved ulike overvåkingsmetoder.

3. Kostnader ved innsamling, bearbeiding og lagring av referansemateriale og -sekvenser for arter

3.1. Referansemateriale og -sekvenser for arter

Per i dag er det ca. 2 millioner beskrevne arter på verdensbasis, mens det er antatt at det finnes ca. 8-10 millioner arter. DNA-strekkoder for en rekke av disse artene finnes i internasjonale referansesystem, som Barcode of Life Data Systems (BOLD) og NCBI GenBank, mens informasjonen om DNA-dataene (metadata) lagres i andre internasjonale referansesystemer.

Ved sist rapporterte kunnskapsstatus for arts mangfoldet i Norge (Elven og Sjøli 2016) var det påvist 43 705 arter i Norge. Av disse var 65 prosent i dyreriket, og insekter utgjør den største gruppen med over 18 000 arter. Det er anslått at det finnes ca. 60 000 arter i Norge. Ifølge opplysninger vi har innhentet, finnes det referansemateriale som inkluderer DNA-sekvenser for ca. 41 000 arter i landet per i dag, hvorav ca. 23 000 finnes i de fire store universitetsmuseenes samlinger.

Man har minst siden Linnés tid samlet inn arter og referanseeksemplarer (også kalt type-individer) som beskriver en art. Disse er samlet rundt om i verden, ofte i landenes sentrale vitenskapelige/naturhistoriske museer. Tidligere var referanseeksemplaret typisk bevart på glass med sprit, og som insekt på nåler eller som utstoppede pattedyr og fugler. I den senere tid har man i tillegg tatt i bruk oppbevaringsmåter der individet eller vevsprøve og DNA-sekvens oppbevares nedfrosset til minus 20 grader i fryser, eller til minus 80 grader i store, såkalte ultrafrysere for å kunne bevare DNAet. Dette er en sikrere bevaringsmetode for mange arter, men er ikke egnet for eksempel for alle mikroorganismer. Nedfrysing brukes for å bevare artenes DNA, som har blitt en viktig del av referansematerialet i den senere tid, særlig etter årtusenskiftet.

Det er beskrevet omforente prosedyrer for hvordan arter skal samles inn, bestemmes, dokumenteres og oppbevares. Navngiving av nye arter for vitenskapen er regulert av konvensjoner som beskriver ulike kriterier som må oppfylles for at et nytt artsnavn skal være gyldig. Dette innebærer blant annet at en artsdiagnose, en liste over typemateriale og hvor dette er oppbevart må publiseres på et varig medium (f.eks. i et tidsskrift). Naturhistoriske samlinger i ulike land har en viktig rolle i oppbevaringen av typemateriale av arter og referansemateriale som dokumenterer artsfunn og databaseregistrerte DNA-sekvenser. DNA-sekvensene med tilhørende informasjon oppbevares helst i internasjonale, offentlige databaser som NCBI GenBank¹ og BOLD², mv.

De naturhistoriske samlingene i Norge og ellers i verden har en viktig rolle i arbeidet med dokumentasjon av arter. Disse samlingene er offentlig tilgjengelige samlinger, med et utstrakt internasjonalt samarbeid. I Norge finnes de naturhistoriske samlingene først og fremst ved de fire store universitetsmuseene; NTNU Vitenskapsmuseet, Naturhistorisk museum ved Universitetet i Oslo, Universitetsmuseet i Bergen og Norges arktiske universitetsmuseum i Tromsø. Disse samlingene inneholder et spesifisert antall referanseeksemplarer som gir grunnlag for beskrivelsen av arten, men andre eksemplarer som er lagret, er også viktige som referansemateriale for bestander.

Det har i flere år vært prosjekter som har hatt som formål å samle inn referanseeksemplarer med referansesekvenser for flere arter i Norge. Gjennom NorBOL er det samlet inn anslagsvis 3 500 arter per år i perioden fra 2014 og fremover til 2019 da Forskningsrådets støtte til NorBOL ble avsluttet. Artsprosjektet, i regi av Artsdatabanken, har siden starten i 2009 støttet prosjekter, særlig for å få beskrevet og dokumentert sjeldne

¹ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>

² <http://www.boldsystems.org/>

arter i norsk natur, og siden 2012 også støttet NorBOL med DNA-strekkoding av norske arter. Gjennom en periode på ca. 10 år, er det samlet inn ca. 3000 nye arter i regi av Artsprosjektet. Disse artene er samlet inn av ulike institusjoner, både universitetsmuseene og instituttsektoren, mens materialet som er samlet inn, i all hovedsak oppbevares av museene.

Basert på estimer over antall arter som finnes, og de som allerede er samlet inn, er det fortsatt behov for å samle referansemateriale og -sekvenser for flere arter fremover. Våre informanter mener at man i prinsippet bør få kartlagt alle arter som finnes i landet. Blant de dårligst kjente artsgruppene nevnes insekter, marine invertebrater, encellede alger, sopp og lav. Derest kommer uavklarte artskomplekser innen truede arter (Rødlisten) og fremmede arter.

3.2. Kostnader ved innsamling, bearbeiding og lagring av referansemateriale og -sekvenser for arter

3.2.1. Ulike trinn i innsamling, bearbeiding og lagring for arter

Ulike oppgaver som medfører kostnader

Vi vil her anslå størrelsesorden for kostnadene ved innsamling, bearbeiding/dokumentasjon og lagring av referansedata for arter (inkludert referansemateriale og DNA-sekvens). Kostnadene knyttet til innsamling, ivaretagelse og lagring kan inkludere følgende kostnadsposter, knyttet til ulike oppgaver som inngår. Oppgavene, og ikke minst hvor stor andel de utgjør av de totale kostnadene knyttet til referansematerialet for en art, vil variere til dels betydelig mellom arter/artsgrupper og økosystemet de hentes fra.

Det kan være ulike måter å kategorisere oppgaver og kostnader på. En relativt detaljert liste over oppgaver er listet opp punktvis nedenfor:

- (i) Kostnader ved å samle inn objekter som potensielt kan brukes til DNA-analyse
- (ii) Kostnader ved etterarbeid, sortering og identifisering:
 - a. Kostnader ved *eventuelt* å grovsortere og sortere arter og artsgrupper for nærmere bestemmelse. Dette er spesielt aktuelt i tilfeller der det tas prøver som kan romme mange arter, f.eks. bunnprøver fra innsjøer og hav, insektfeller o.l.
 - b. Kostnader ved å analysere data for hver art i laboratoriet for å bestemme arten, plassere den taksonomisk, sjekke om den er «ny» osv. og klargjøre dokumentasjon av arten (selv individet, en vevsprøve, og dokumentasjon)
- (iii) Kostnader ved å klargjøre for og å utføre DNA-baserte analyser på innsamlet materiale, inkludert kvalitetssikring/publisering
- (iv) Kostnader ved å rapportere digitale data
- (v) Kostnader ved å lagre data fysisk (fysiske eksemplarer og vevsprøver)
- (vi) Kostnader per i dag ved å lagre digitale data
- (vii) Kostnader ved å tilgjengeliggjøre data (fysiske eksemplarer, prøver og digitale data; inkluderer ikke kostnader til lagringsplass).

Trinnene som er beskrevet over, er noenlunde de samme for ulike arter, artsgrupper og økosystemer, men særlig noen av trinnene kan innebære svært forskjellige kostnader for ulike arter, noe vi vil illustrere i omtalen nedenfor.

Innsamling av materiale

Innsamling kan litt forenklet tenkes å skje ved å finne en bille i bakgården eller bunndyr fra grabbprøver i arktiske farvann, og kostnadene ved innsamling blir dermed svært forskjellige. Det er også slik at det ofte samles inn mange arter på samme tokt eller innsamlingsprosjekt, og det samles ofte inn arter som del av et annet prosjekt, slik at det kan være vanskelig å si nøyaktig hva som skal tilskrives innsamling av referansemateriale, og hvor mange arter «tokt-kostnaden» skal deles på.

De dyreste innsamlingstoktene, er antagelig innsamling av arter i dyphavet, samt for store marine pattedyr. Havgående forskningsfartøy som benyttes til tokt på storhavet, kan ha en driftskostnad per døgn på opptil 0,5-1 million kroner ved bruk av avansert utstyr som fjernstyrte robotfartøy for å undersøke havbunnen. I tillegg kommer lønn og andre kostnader til forskerne om bord. Disse kostnadene kan også bli høye fordi det er snakk om lange reiser fram til undersøkelsesområdene og lange perioder for innsamling av materiale. Det er imidlertid vanlig at forskere fra flere prosjekter er med på samme tokt, hvor noen samler arter til referansemateriale mens andre kartlegger eller forsker på andre forhold i samme havområde. Dermed kan kostnaden ved et enkelt innsamlingsprosjekt bli lavere enn den totale drifts- og lønnskostnaden ved toktet.

Det er også kostbart å samle inn arter som lever i vann og som krever dykking for å hente dem opp, fordi det kreves mye forskertid for å gjennomføre dykk forskriftsmessig i henhold til HMS-krav (som blant annet krever at det må være minst to sammen på dykket). Også store pattedyr kan være arbeidskrevende og dermed kostbare å samle inn prøver fra.

Blant de billigste å samle inn er normalt insekter, planter og sopp i nærmiljøet. Da slipper man å reise langt, og man kan enkelt få med seg mange arter i løpet av en innsamlingsøkt. Dersom en søker etter spesifikke arter, kan det imidlertid bli mer arbeids- og kostnadskrevende også for disse artsgruppene.

En rekke artsgrupper har et kostnadsnivå mellom disse øvre og nedre nivåene, f.eks. marine virvelløse dyr og fugler. Også terrestriske virvelløse dyr kommer i en slik mellomgruppe for innsamlingskostnad dersom de må samles inn fra steder som krever at forskere og/eller teknisk personale må reise et stykke for innsamling. Da påløper det arbeidstid ved reise og overnatting mv. som øker kostnadene.

Innsamlingskostnadens andel av totalkostnaden vil derfor variere svært mye mellom ulike arter, artsgrupper og økosystemer. En stor del av kostnadene er knyttet til arbeidskostnader for forskere og eventuelt andre som bidrar med innsamlingen. I tillegg kommer ofte noen reisekostnader, avhengig av hvor langt man må reise for å finne artene, samt eventuelt kostnader til utstyr for innsamling, som skip med grabb, nett til fangst av fugler, insektfeller osv.

Litt enkelt og generelt, kan man anta at kostnadene til innsamling vil øke fremover, fordi vi har samlet inn mange av de vanligste artene i de enklest tilgjengelige økosystemene, slik at det er de sjeldnere artene i mindre tilgjengelige økosystemer som gjenstår.

Etterarbeid, sortering og identifisering

Når artsprøver, for eksempel i form av «grabbprøver» fra dyphavet eller insektfeller på land er samlet inn, foretas det gjerne først en grovsortering i artsgrupper, slekter osv. Dette kan gå raskt eller sakte, avhengig av hvor mange arter som er samlet inn og hvor enkle eller vanskelige de er å plassere i det taksonomiske system. I andre tilfeller trengs ikke dette trinnet dersom man for eksempel samler inn spesielle artsgrupper som kalkalger, eller større fuglearter osv.

Det skjer imidlertid oftest en mer detaljert finsortering der eksperter på artsgrupper sorterer innen artsgruppen. Dette er ekspertbasert og kan også ta kort eller lang tid, avhengig av om man må fly inn eksperten fra andre steder i Norge og fra andre land, samarbeide om prøver med nasjonale og internasjonale eksperter, eller har eksperten i egen institusjon.

Sorteringen og identifiseringen kan derfor være svært arbeidskrevende eller gå ganske raskt. Blant arter som vanligvis har lave kostnader knyttet til dette etterarbeidet er for eksempel karplanter, godt kjente sopper og virvelløse dyr. I midtre kostnadssjikt kan vi finne godt kjente grupper som trenger noe preparering, som for eksempel terrestriske virveldyr, noen insektgrupper og marine invertebrater. For taksonomisk vanskelige artsgrupper, for eksempel mikroskopiske virvelløse dyr, en del sopper og lav er det nødvendig med mer tidkrevende preparering, og kostnadene blir dermed høyere.

Artene som skal inn i samlinger ved museene, blir behandlet fysisk for å sikre ivaretagelse for fremtiden, og det lages en beskrivelse som følger arten, og som viser hvor den er samlet inn, av hvem, inkluderer bilder og beskrivelser, osv. Det fysiske arbeidet med prøven kan ta anslagsvis fra en time og opp til et dagsverk per art.

Klargjøring av prøve og DNA-sekvensering (eller annen DNA-analyse)

På laboratoriet blir prøver klargjort for DNA-sekvensering, eller eventuelt annen DNA-analyse. Det lages vanligvis 3-5 prøver per art for referansematerialet for arter. Dette tallet kan også variere, men det er altså i de aller fleste tilfeller snakk om mer enn én vevsprøve og DNA-prøve per art. Det går relativt raskt å klargjøre prøver for DNA, mens det koster fra under 100 kroner til ca. 1000 kr å få gjort en DNA-analyse. En del institusjoner gjør DNA-analyser selv, mens mange sender bort prøvene til spesialiserte laboratorier (både i Norge, og i utlandet hvor det oftest er billigere).

Klargjøring av prøver, både vevsprøver og DNA-ekstrakter som skal brukes til DNA-prøver, blir vanligvis gjort av personale på laboratorier. Kostnader ved å utføre DNA-baserte analyser på innsamlet materiale, inkludert kvalitetssikring/publisering vil ha noe ulike kostnader pga. ulike behov for metodikk, markører og tilrettelegging for DNA-analyse/kvalitetssikring. Kostnadene er lavest for insekter og virveldyr, middels for marine virvelløse dyr og planter, og høyest for encellede organismer.

Klargjøring for digital lagring

For arter som er nye for vitenskapen, følger deretter en betydelig oppgave som er forskerarbeid knyttet til å bestemme arten taksonomisk, kontrollere at den faktisk ikke er beskrevet tidligere, finne korrekt navn etter navnekonvensjoner og så dokumentere i form av en vitenskapelig artikkel med fagfelleevaluering at dette er en ny art. Et arbeid som kan ta fra anslagsvis ett til noen få ukeverk, men også helt opp til noen månedsverk.

Lagring av fysiske prøver

Enten det er en ny art for verden, eller for Norge, skal den tas vare på for ettertiden. Eksemplarene som utgjør referansearten (eventuelt vevsprøven av arten) oppbevares på ulike måter, mens DNA-ekstrakt og vevsprøver vanligvis oppbevares i ultrafryseskap som holder minst minus 80 grader Celsius.

Lagring av digitale data

Selve strekkoden av DNA-sekvensen oppbevares i internasjonale databaser, for eksempel European Nucleotide Archive (ENA) i Europa, GenBank i USA og BOLD i Canada. Metadata som følger objektene, er digitalisert i universitetsmuseenes samlingsbase og gjort tilgjengelig gjennom Artskart og Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

Kostnadene ved å samle inn, sortere, bearbeide og dokumentere artene er engangskostnader, som gir arter bevart i lang, lang tid. Dette er dermed å betrakte som en form for investeringskostnad som kan avskrives over 100 år eller lenger. Lagringskostnadene er delvis investeringskostnader i form av lagerrom og ultrafryseskap (med levetid på ca. 10 år), og delvis driftskostnader i form av strømutfgifter, ettersyn/vedlikehold av lagerrom osv. som påløper hvert år så lenge arten/prøvene oppbevares.

3.2.2. Beregning av kostnader

Basert på anslagene for ulike trinn i innsamling og bearbeiding nevnt i kapittel 3.2.1, kan vi estimere en gjennomsnittskostnad per art, og et nedre og øvre intervall for kostnader per art.

Basert på informasjon fra våre informanter ved museene og øvrige institusjoner, kan kostnadene til å samle inn, bearbeide, sortere og ta vare på materialet fram til publisering av ny art, variere fra under 10 000 kroner til ca. 150 000 kroner. Mesteparten av dette er arbeidskostnader, men også noe til reise og utstyr.

Artsprosjektet i regi av Artsdatabanken har i en periode på ca. 10 år brukt ca. 196 millioner kroner og samlet inn 3000 nye arter, i tillegg til at det har samlet kunnskap om eksisterende arter, slik at det egentlig blir et overestimat å fordele totale kostnader bare på de nye artene. I tillegg inngår noe tid til workshops, møter o.l. i disse kostnadene. Men som et røft estimat gir dette en kostnad på ca. 65 000 kr per art. Det er noe usikkerhet og noe varierende hvorvidt dette inkluderer alt arbeid med å innhente, bearbeide og lagre referansematerialet, fordi prosjektene i stor grad gjennomføres av forskningsinstitusjoner, der publisering i vitenskapelige tidsskrifter også kan bli finansiert via andre kilder.

Vi ser at de totale kostnadene per art har stor variasjon fra ca. 10 000 til ca. 150 000 kroner. Arter av typen karplanter og insekter er (ofte) i nedre del av kostnadsintervallet, mens f.eks. marine invertebrater i dyphavet er i det øvre. Det er også forskjeller innen artsgrupper. For eksempel er det mindre ressurskrevende å samle inn «vanlige» arter som finnes mange steder, enn å samle inn sjeldne arter, som bare finnes i enkelte, kanskje delvis ukjente områder, visse tider av året, osv. Det kan også være ulike kostnader knyttet til artsbestemmelse, DNA-sekvensering, publisering osv.

Det er kostnader til innsamling som bidrar aller mest til variasjonen i kostnadene. I øvre kostnadslag ligger limniske og marine arter, der totale kostnader fram til lagring kan ligge på anslagsvis 100-150 000 kroner per art, og der ca. halvparten (og kanskje vel så det) er knyttet til innsamlingskostnader. For planter, sopp, lav, og terrestriske invertebrater er kostnadene i nedre del av intervallet, og innsamlingskostnaden for disse utgjør en mindre andel av totalkostnaden.

I tabell 3.1 har vi satt opp hovedoppgavene i innsamling, bearbeiding og lagring av referansemateriale med DNA-sekvenser for arter, og et anslag for gjennomsnittskostnad og øvre og nedre estimat for hver oppgave, samt eksempler på artsgrupper som typisk er i nedre, midtre og øvre kostnadssjikt for hver oppgave.

Tabell 3.1. Anslag for kostnader per referanseart med DNA-sekvens, gjennomsnitt (nedre – øvre anslag i parentes) og eksempler på artsgrupper i ulike kostnadssjikt for hver oppgave/kostnadspost. Anslag fra prosjekter ved NTNU-VM*.

Arbeidsoppgave/ kostnadspost	A: Anslått gjennomsnittlig kostnad per referanseart for hver arbeidsoppgave (nedre – øvre anslag i parentes)	Eksempler på artsgrupper i nedre (N), midtre (M), øvre (Ø) kostnadssjikt i kolonne A	Kommentar
Innsamlingskostnader per art	Ca. 2100 kr (<1 - >100 000)	N: insekter, planter sopp i lokale miljøer M: marine virvelløse dyr, fugler, terrestre virvelløse dyr som krever reising Ø: store marine pattedyr	Engangskostnad
Kostnader per art til etterarbeid, sortering og identifisering	Ca. 7500 kr (100 – 20 000)	N: Karplanter, godt kjente sopper og virvelløse dyr M: godt kjente grupper som trenger noe preparering, som terrestre virvelldyr, noen insektgrupper, marine invertebrater Ø: taksonomisk vanskelige artsgrupper som mikroskopiske virvelløse dyr, noen sopper og lav	Engangskostnad
Kostnader per art for å utføre DNA-analyser på innsamlet materiale	Ca. 750 kr (500-1000)	N: insekter, virveldyr M: marine virvelløse dyr, planter Ø: encellede organismer	Engangskostnad Prisforskjeller mellom organismegrupper skyldes ulike behov for metodikk, markører og tilrettelegging for DNA- analyse/kvalitetssikring
Kostnader ved å rapportere digitale data per art	Ca. 1100 kr	Ingen forskjell mellom artsgrupper	Engangskostnad
Gjennomsnittlig engangskostnad fram til lagring	Ca. 11 450 kr		
Kostnader per år per art ved å lagre fysiske data (fysiske eksemplarer og prøver)	65 kr (1-1000)	N: Insekter, små invertebrater, planter, sopp M: mellomstore virveldyr Ø: store virveldyr	Årlig i hele lagringsperioden. Prisforskjeller skyldes i hovedsak størrelse på objekt og lagringsform (tørt, sprit, slides, type fryser etc.)
Kostnader per år per art til å lagre digitale data	12 kr	Ingen prisforskjell mellom artsgrupper	Årlig i hele lagringsperioden
Kostnader per år ved å tilgjengeliggjøre data (fysiske eksemplarer, digitale prøver)	2	Ingen forskjell mellom artsgrupper	Årlig i hele lagringsperioden. Avhenger av etterspørsel

*Anslaget inkludere ikke kostnader til beskrivelse av nye arter

Basert på prosjekter ved NTNU-VM kan gjennomsnittskostnader per art fram til lagring estimeres til ca. 11 450 kroner (avrundet til 11 500 kroner), med en variasjon fra ned mot 2000 kroner og opp til ca. 130 000 kroner. Basert på Artsprosjektet, anslo vi kostnadene til ca. 65 000 per art. Atter andre anslag for innsamling og bearbeiding av arter fra ferskvann og marine dyphav, har estimert kostnadene per art til henholdsvis ca. 100 000 og 150 000 kroner. Det er altså et svært stort spenn - og stor usikkerhet - i kostnadsanslagene.

Hvis vi bruker kostnadsanslaget per art fra Artsprosjektet, til å si noe om anslåtte kostnader som er brukt til å samle inn og behandle de ca. 40 000 artene som finnes i norske samlinger, får vi et anslag for totale kostnader for artene som finnes i referansebibliotek i dag: 65 000 kroner/art * 40 000 arter, tilsvarer i størrelsesorden 2,6 milliarder kroner.

I og med at Artsprosjektet har hatt som formål å samle inn dårlig kjente artsgrupper, kan det være grunn til å anta at dette er et overestimat, fordi man sannsynligvis har startet med å samle inn materiale fra arter som er enkelt tilgjengelig og enkle å bestemme taksonomisk. Hvis vi legger gjennomsnittlig anslag fra NTNU-VM til grunn, blir anslaget for totale kostnader ved å samle inn og bearbeide dagens samling ca. 460 millioner (avrundet fra 458 millioner kroner; 11 450 kroner/art * 40 000 arter). Et nedre anslag for alle kostnadsposter i NTNU-VMs oversikt (ca. 2000 kroner per art) gir et tilsvarende samlet kostnadsanslag på ca. 80 millioner kroner.

Dette gir et svært stort variasjonsrom for kostnader til innsamling og bearbeiding; fra 80 millioner til 2,6 milliarder. Vår vurdering er at 2,6 milliarder vil være et for høyt anslag, fordi det inkluderer kostnadsanslag for mange vanskelig tilgjengelige arter, og delvis også kostnader som ikke er direkte knyttet til innsamling og bearbeiding (som workshops o.l.). På den annen side er det laveste estimatet antagelig et underestimat, fordi dagens samlinger også inneholder arter som det er kostnadskrevende å samle inn, slik som vannlevende organismer, store pattedyr osv. Det beste estimatet er antagelig ca. 460 millioner kroner, som er basert på gjennomsnittskostnader for NTNU-VM. Dette kan imidlertid også være et underestimat fordi det i mindre grad inkludere de mest kostnadskrevende artsgruppene, så vidt vi kan se.

Vi kan også bruke tallet for innsamling og bearbeiding av referansemateriale for arter til å si noe om antatt kostnad til innsamling av flere arter fremover. Hvis vi antar at det skal samles inn referansemateriale for ca. 20 000 arter, som er det estimerte antallet arter som enda ikke er registrert i Norge, blir kostnadene med samme forutsetninger som ovenfor, et sted mellom 230 millioner og 1,3 milliarder kroner (basert på 20 000 arter og 11450-65 000 kroner per art. Det kan være grunn til å anta at kostnadene for de resterende artene er høyere enn gjennomsnittet for de artene som allerede er samlet inn, slik at 230 millioner kan være noe lavt, mens 1,3 milliarder antagelig fortsatt er for høyt.

Dette er å anse som investeringskostnader i den forstand at det er engangskostnader (iallfall på veldig lang sikt hvis arter og prøver tas godt vare på).

Ivaretagelse for fremtiden fordrer imidlertid forskriftsmessig oppbevaring, for DNA-materiale og vevsprøver på lagre og i fryser med spesifikk temperatur, og andre klimatiske forhold. De fleste institusjonene har mye lagring i egne lokaler, inkludert fryser i egne lokaler, og noen har i tillegg leide lokaler med fryser. Det vanlige er da at de leier lokaler og drifter fryserne selv. Det kan derfor være vanskelig å anslå eksakte kostnader til lager, fordi det brukes arealer som disponeres av institusjonen, og fryser kan stå i ganger og «kott» osv. Ifølge NTNU-VM er kostnadene til lagring i underkant av 65 kroner per art per år for prøver med gjennomsnittsstørrelse, 12 kroner for lagring av digitale prøver per art per år og 2 kroner per art per år for hver art, til sammen ca. 80 kroner per år per art for lagring og tilgjengeliggjøring. Dette inkluderer da et visst antall prøver i gjennomsnitt per art (For referansebiblioteket med DNA-strekkoder, anslagsvis 3-5 prøver per art³).

Basert på enkle beregninger av kostnader til kjøp av ultrafryser, levetid, strømforbruk, service og lagerkostnader, kommer vi til noe lavere kostnader, men vi legger til grunn kostnadene fra NTNU-VM.

Det er ikke opplagt hva som er analyseperioden for lagring av referansemateriale, fordi dette er svært langsiktige prosjektet, slik at «all fremtid» kanskje er mest dekkende. Vi vil likevel legge til grunn en 40-års periode, som ofte brukes i nyttekostnadsanalyser. Da blir nåverdien av lagrings- og tilgjengeliggjøringskostnadene per art ca. 1600 kroner per art. Dersom vi legger en lenger periode til grunn, betyr det økte kostnader. Selv om artene skal tas

³ De fleste arter beskrives med mange flere individer – nye arter har typisk 1-50 individer per art i sin typeserie. Tallene vi har oppgitt refererer seg til hvor mange individer av hver art man ønsker å strekkode.

vare på, kan det imidlertid ha kommet nye lagringsmetoder om 40 år, slik at vi ikke finner det hensiktsmessig å beregne kostnader for lenger tidshorisont.

Vevsprøver og DNA-sekvenser er like store for alle arter, og det er plass til mange titalls tusen i én fryser. Ifølge opplysninger fra universitetsmuseet i Oslo, kan et 760 liters frysenskap inneholde inntil 46 332 vevsprøver (2 ml), mens det er plass til 69 696 enkeltprøver (DNA-ekstrakt). Det lagres gjerne flere prøver av hver art, men kostnadene til selve lagringen av vevsprøver og DNA er likevel begrenset. I tillegg til selve fryseren, trengs lokaler fryserne kan stå i og sikkerhetsforanstaltninger blant annet for å ta materiale ut og inn av fryserne, service osv. Dersom man skal lagre hele individet, for eksempel større vertebrater, eller har større samlinger av mange individer, kan kostnadene til lager bli adskillig høyere. Dette er særlig aktuelt ved lagring av materiale fra bestander, og vi kommer tilbake til dette i kapittel 4.

Årlige kostnader til lagring av dagens samling på ca. 40 000 arter blir med antagelsene beskrevet ovenfor ca. $(40\,000 \text{ arter} \cdot 80 \text{ kr/art}) = 3,2$ millioner kroner.

Nåverdien av lagring (som er verdien i dag av lagring i 40 år fremover) blir med samme antagelser anslagsvis 64 millioner kroner $(= 40\,000 \text{ arter} \cdot 1600 \text{ kr/art})$.

Dette er tallet for fortsatt lagring av dagens referansemateriale. Hvis det skal økes med 20 000 arter, som skal lagres på samme måte, blir nåverdien av kostnadene anslagsvis 50 prosent høyere.

4. Kostnader ved innsamling, bearbeiding og lagring av referansemateriale og -sekvenser for bestander

4.1. Referansemateriale og -sekvenser for bestander

Referansemateriale og -sekvenser for bestander (populasjoner) innebærer at man har flere prøver av hver art, for eksempel fra ulike steder i landet, innsamlet til ulike tider, osv. Bestandsmateriale består også av fysisk materiale i form av arten, enten hele dyret eller planten eller organismen selv, eller eventuelt vevsprøver av arten, og DNA-referansesekvens. Slikt materiale er ofte samlet inn for ulike formål, for eksempel gjennom lange tidsserier for overvåking av vann, skjellprøver fra laks, eller fra overvåking av rovdyr, der man f.eks. har genmateriale for (antagelig) hver eneste ulv som finnes i landet. Man har også mye materiale fra hjortevilt, fra sjøfugl osv. Objektene, eller vevsprøver fra disse, gir med dagens DNA-teknologi, mulighet til å finne ut mye mer om bestandene enn det man nødvendigvis var klar over da materialet ble samlet inn. Samtidig skjer det nå – og vil skje fremover – mye mer innsamling av slikt materiale. Dette gir mange muligheter for bruk i fremtiden, men byr også på noen utfordringer, ikke minst med tanke på lagring og dermed kostnader til lagring.

Bestandsmaterialet lagres i stor grad hos instituttene som gjennomfører overvåkingsprosjekter eller andre prosjekter som medfører innsamling av slikt materiale. Noen institusjoner tar vare på prøvene en stund, men har ikke selv lagringsplass, og kvitter seg derfor med prøvene etter en viss tid. Andre tar vare på mye materiale, og bekoster lagringen selv, fordi de ser at dette er viktig materiale som kan gi muligheter for å forske videre på ulike problemstillinger i fremtiden – og uten at man alltid vet i dag hva materialet kan brukes til. Det er imidlertid ingen etablert praksis for alle, eller (vanligvis) klare krav ved utlysning av prosjekter til at slikt materiale skal tas vare på over lang tid, eller hvor og hvordan materialet eventuelt skal lagres og dokumenteres. Det er dermed hovedsakelig opp til hver enkelt institusjon, deres lagringsmuligheter, og deres vurdering av hvor viktig eller nyttig det er å ta vare på materiale for ettertiden.

Det er sjeldent helt nye arter som samles inn som bestandsmateriale. Ofte overvåkes jo arter som er godt kjent, men det kan også være at man for eksempel oppdager nye arter ved prosjekter som har et annet formål. Slike bestands-DNA er også egnet til genetisk forskning, og er generelt viktigere for genetisk forskning enn rent taksonomisk. Man kan også oppdage flere nye arter blant materiale fra noe man trodde var én art, eller man kan oppdage at det man tidligere har registrert som flere, beslektede arter i realiteten er én og samme art eller noen få arter.

4.2. Kostnader ved innsamling, bearbeiding og lagring for bestander

Oppgavene og dermed kostnadspostene, ved å innhente, bearbeide og lagre referansemateriale for bestander er i hovedsak de samme som for referansearter, men siden det sjelden er snakk om helt nye arter (for vitenskapen), utgår oftest trinnet med dokumentasjon og publisering av artsdata. Når det innhentes data for kjente arter, er det vanligvis mindre arbeid med grovsortering, bestemmelse osv. slik at man oftest kan gå rett fra innhenting av bestandsdata til bearbeiding på laboratorier for klargjøring av de fysiske prøvene av arten (objekt eller eventuelt vevsprøve). Det er imidlertid normalt flere prøver som må klargjøres, fordi det skal tas vare på en rekke prøver, ikke bare én eller 3-5 prøver som er ønsket for en art. Som et eksempel samles det inn ca. flere tusen laks for å ta prøver av forekomst av *Gyrodactylus salaris* i norske vassdrag årlig. Et annet eksempel er at det samles inn ekskrementprøver for alle ulver som finnes i Norge hvert år, anslagsvis 1400 prøver per år. Det blir dermed mange prøver som skal analyseres og eventuelt bearbeides og lagres.

4.2.1. Ulike trinn i innsamling, bearbeiding og lagring

Det kan være ulike måter å kategorisere oppgaver og kostnader på. Vi tar utgangspunkt i samme liste over oppgaver som for arter, men med litt annet innhold for noen av oppgavene:

- (i) Kostnader ved å samle inn objekter fra bestander som potensielt kan brukes til DNA-analyse
- (ii) Kostnader ved etterarbeid, sortering og identifisering:
 - a. Kostnader ved *eventuelt* å grovsortere og sortere for nærmere bestemmelse.
 - b. Kostnader ved å analysere data for hvert eksemplar av arten i laboratoriet og klargjøre dokumentasjon av bestanden (selve individet og/eller vevsprøve, og dokumentere)
- (iii) Kostnader ved å klargjøre for og å utføre DNA-baserte analyser på innsamlet materiale, inkludert kvalitetssikring/publisering
- (iv) Kostnader ved å rapportere digitale data
- (v) Kostnader ved å lagre data fysisk (fysiske eksemplarer og prøver)
- (vi) Kostnader per i dag ved å lagre digitale data
- (vii) Kostnader ved å tilgjengeliggjøre data (fysiske eksemplarer, prøver og digitale data; ikke kostnader til lagringsplass).

Innsamling av materiale

Innsamling av populasjonsdata kan også skje på mange ulike steder fra «bakgården» til dyphavet, og kostnadene til innsamling blir dermed ganske forskjellige. Det kan også være at det skal samles inn prøver fra samme art fra flere steder og til ulike tidspunkt. Som eksempler blir det samlet inn anslagsvis 1400 prøver fra ulv årlig, og disse prøvene samles inn der ulven ferdes i løpet av året. Det betyr at innsamlingskostnaden blir høy. Et annet eksempel er overvåking av parasitten *G. salaris* på laksefisk, der det samles inn 30 laksefisk fra hver av en rekke lokaliteter, anslagsvis 5000 – 6000 fisk årlig.

Innsamlingen skjer imidlertid ofte som del av et annet prosjekt, slik at det kan være vanskelig å si nøyaktig hva som skal tilskrives innsamling av referansemateriale. Det er også svært ulike måter å organisere innsamlingen av materialet på – fra at forskere og teknisk personale er ute i felt og samler inn, til at man for eksempel hyrer inn lokale fiskere eller andre som tar prøver og sender inn etter nærmere retningslinjer. Det kan dessuten være slik at det samles inn materiale til flere prosjekter samtidig, særlig dersom forskere er ute i felt. Dette vanskeliggjør også identifisering av nøyaktige kostnader til dette innsamlingsarbeidet.

Innsamlingskostnadens andel av totalkostnaden vil derfor variere mye mellom populasjoner og økosystemer, og det er lite hensiktsmessig å operere med en «gjennomsnittskostnad».

Etterarbeid, sortering og identifisering

Populasjonsprøvene består gjerne av kjente arter, og de kan da gå direkte til å bli tatt hånd om fysisk for å sikre ivaretagelse av de fysiske eksemplarene som skal lagres, mens et visst antall prøver av materialet blir klargjort/sendt for DNA-sekvensering eller for andre DNA-analyser. Det fysiske arbeidet med klargjøring kan også ta kort eller lang tid. I laksefisk-eksempelet som ble nevnt over, skal for eksempel 5-6000 laks screenes under lupen for å se om det oppdages *G. salaris*.

Klargjøring av prøver og DNA-sekvensering (eller annen DNA-analyse)

På laboratoriet blir prøver klargjort for DNA-sekvensering, eller eventuelt annen DNA-analyse. Det tar relativt kort tid å ekstrahere DNA fra prøver, mens det koster fra noen hundrelapper til ca. en tusenlapp å få gjort en DNA-sekvensering. En del institusjoner gjør DNA-analyser selv, mens mange sender bort prøvene.

Klargjøring av prøver, både vevsprøver og preparering for DNA-ekstraktet som skal brukes til DNA-prøver blir vanligvis gjort av personale på laboratorier. Kostnader ved å utføre DNA-baserte analyser på innsamlet materiale, inkludert kvalitetssikring vil ha noe ulike kostnader pga. ulike behov for metodikk, markører og tilrettelegging for DNA-analyse/kvalitetssikring.

Klargjøring for lagring

Prøver som skal tas vare på for ettertiden skal lagres, både de fysiske prøvene av individene (hele objektet eller en vevsprøve) og DNA-sekvensen. Dette krever noe klargjøring, som beskrevet for arter.

Lagring av digitale data

Det er ikke klare retningslinjer for hvordan digitale data for bestander skal oppbevares, og våre opplysninger tyder på at de vanligvis lagres lokalt hos hver enkelt institusjon.

Lagring av fysiske prøver

Som for artsmaterialet lagres dette materialet på ulike måter, blant annet kjølelager, vanlige fryserer (-20 C) og ultrafryserer (-80 grader C). Det er imidlertid ikke klare rutiner for hvor mye som skal lagres, hvordan det skal lagres og hvor lenge det skal lagres, når det gjelder populasjoner, og dette varierer mye. Ofte er det avhengig av hvor god lagringsplass institusjonen har, hvilke muligheter den enkelte forsker ser for videre bruk av materiale osv. Informantene sier at mye blir kastet 2-3 år etter at prosjektet hvor det samlet inn er avsluttet, for å få plass til nytt bestandsmateriale.

Mens kostnader til å samle inn, og bearbeide prøvene fra populasjonene er engangskostnader, som gir prøver bevart i lang, lang tid, altså en form for investeringskostnad som kan avskrives over et visst antall år, avhengig av hvor lenge prøven tas vare på, påløper lagringskostnadene hvert år så lenge prøvene oppbevares.

4.2.2. Beregning av kostnader

Kostnader til innsamling og bearbeiding

Det store spørsmålet som avgjør kostnadene knyttet til innsamling, bearbeiding og lagring av materiale knyttet til populasjoner er hvor mange individer og prøver som skal samles inn, hvor mange steder det samles inn og hvor enkelt eller vanskelig tilgjengelig disse er, og hvor mange prøver som skal analyseres og lagres. Det er ikke noe fasitsvar på dette. Det vil avhenge av formålet med innhentingen, og kjennetegn ved bestanden det skal innhentes populasjonsdata for. Når man samler inn populasjonsdata om villaks for å sammenligne med oppdrettslaks og vurdere om oppdrettslaksen har spredt seg til ulike vassdrag, må man ha prøver av stamlaksen i hvert vassdrag. Det er da blant annet antall vassdrag som avgjør hvor mange prøver som må samles inn og bearbeides, i tillegg til at man må ha et visst antall individer for å kunne vurdere forskjeller i genmaterialet.

For bestandsdata er det i stor grad slik at materialet samles inn som ledd i andre prosjekter, og det kan diskuteres hvilke kostnader som skal tilskrives innsamling av referansemateriale som sådan. Det skjer ofte som ledd i langsiktig overvåking, og kostnader til overvåking og innsamling av miljø-DNA-prøver, vil vi ta med i del 3 av prosjektet (jf. kapittel 5 og 6) der dette diskuteres nærmere.

Man kan imidlertid tenke seg at innsamling av materiale fra overvåking skjer uten at materialet tas vare på med tanke på ivaretagelse for fremtiden, noe som kan gi overvåkingresultater, men som ikke muliggjør videre utnyttelse av innsamlet materiale. Vi ser det derfor som mest rimelig å legge til grunn at innsamlingskostnadene er knyttet til andre formål (med unntak av eventuelle prosjekter som har som hovedformål å samle inn referansemateriale for bestander). De kostnadene vi vil inkludere er dermed knyttet til bearbeiding av materialet i laboratorier (fysisk individ/vevsprøve) og DNA-sekvensering, samt lagring.

Hvor stort dette arbeidet er, avhenger igjen i stor grad av hvor mange prøver som innsamles og skal tas vare på. Det vil variere mellom ulike arter/artsgrupper/økosystemer og hva som er formålet med innsamlingen. Som eksempler har vi nevnt ulv der det har vært et poeng å ha full oversikt over alle individer, og der det samles inn ca. 1400 ulveprøver (ulveekskrement) hvert år som skal tas vare på, mens det samles inn anslagsvis 5000-6000 laks for kontroll av forekomst av *G. salaris* i ulike vassdrag.

Kostnader til lagring

Den andre store kostnadsposten, nettopp fordi det kan dreie seg om mange prøver, er lagringskostnaden. Bestandsprøver som blir bevart for fremtiden, oppbevares i prinsippet på samme måte som artsprøver. Det vil si for eksempel i lagre med store fryser, men fordi omfanget er større, blir lagringsbehovet per populasjon mye større enn per art. Som nevnt allerede, er det imidlertid stor variasjon i hvor mye som lagres i dag.

For de prøvene som skal bevares, fordres det imidlertid forskriftsmessig oppbevaring, på samme måte som for referansemateriale for arter. Det er i hovedsak instituttsektoren som samler inn store mengder data fra bestander. De benytter ofte ulike lagringslokaler, ofte lagres mye på mer og mindre dedikerte arealer i egne lokaler, inkludert rom med fryser, men også på kontorer, boder osv. I tillegg har en del institutter leide lokaler med fryser. Dessuten oppbevares prøver på tørrlager, sprit, slides, glass med vannprøver, osv. Kostnader til lagring er i utgangspunktet de samme per prøve som for arter. Forskjellen er at det kan bli et mye større antall prøver, og at det ser ut til å være vanligere å ta vare på større deler av objektet (arten).

Hvis vi legger til grunn ca. 80 kroner for sekvensering per objekt/individ (ifølge opplysninger fra UiO), og i tillegg antar noe tid til ekstraksjon, kan vi anslå en kostnad på i størrelsesorden 150 – 350 kroner per prøve.

For ulveprøver, der det i henhold til opplysninger fra NINA samles inn anslagsvis 1400 prøver per år, kan kostnaden for ekstraksjon og DNA-analyser estimeres til i størrelsesorden: $(1400 \text{ prøver} \cdot 150\text{-}350 \text{ kr/prøve}) = \text{ca. } 210\,000 - 500\,000 \text{ kroner per år.}$

Hvis disse skal lagres i form av DNA-prøver på små rør (1ml) som antatt for arter, blir kostnaden i størrelsesorden 10 kroner/prøve, men dersom man i tillegg skal ta vare på materialet prøven stammer fra, i tilfelle ulv er dette ulveekskrement, mens det for andre kan være hele objekter, som kan være små eller store. For insekter kan det være glass med «insektsuppe» som DNA-materiale hentes fra osv. Hvis vi ser bort fra de største prøvene, som antagelig ikke tas vare på først og fremst med tanke på DNA, kan vi anta en kostnad til lagring per prøve på ca. 30 kroner (basert på kostnader for lagring per art, når vi antar at det lagres i gjennomsnitt 3 objekter/prøver per art). Kostnadene for lagring av ulveprøver (vevsprøver og DNA-prøver) kan da anslås til $30 \text{ kr/objektprøve} \cdot 1400 = 42\,000 \text{ kroner per år,}$ noe som tilsvarer ca. 840 000 kroner i nåverdi (når vi antar 4 prosent diskonteringsrente og 40 års analyseperiode). I tillegg kommer altså kostnader til å lagre selve prøvene.

I et samarbeid mellom de fire store universitetsmuseene og NIBIO er det søkt Forskningsrådet om å etablere og drifte et deponeringshotell for DNA-materiale, kalt «Naturbiobanken» (NORBINA). Der er det anslått at man for en kostnad på ca. 100 millioner kroner kan etablere og drifte et slikt system i ti år, med plass til ca. 1 million prøver. Det er imidlertid lagt inn en del egeninnsats fra institusjonene som søker, som ikke er inkludert i de 100 millionene. Det er heller ikke klart hva som er kostnader til henholdsvis investering og drift i denne kostnaden, men hvis vi antar at dette er nåverdien, og uten merverdiavgift, kan nåverdien per prøve som skal deponeres, anslås til ca. 100 kroner per prøve (100 millioner kroner dividert med 1 million prøver). Dette er antagelig lavt, og andre anslag antyder at kostnaden for å deponere en prøve i en 10-årsperiode vil være i størrelsesorden 1500 kroner per prøve. Dette er da å anse som en nåverdi for lagring i 10 år, men vi må anta at mange prøver skal lagres i adskillig lenger tid, og noen kanskje i kortere tid.

Dette viser også at kostnaden til lagring av bestandsdata vil avhenge i hovedsak av hvor mange prøver som skal lagres, og for hvor lenge. Det spesielle med bestandsdata er dessuten at det i tillegg til å være mange prøver også ofte samles inn år etter år, slik at det over tid blir svært mange prøver..

Hvis vi igjen går tilbake til «ulveekskrement-eksempelet» og villaks med mulig *G. salaris*-infeksjon, ser vi at de årlige prøvene som samles inn, vil koste i størrelsesorden (hvis vi antar 1400 prøver for ulv og 5 000 for laks):

Ulv: $200\text{--}1500 \text{ kr/prøve} \times 1400 \text{ prøver} = 280\,000 - 2\,100\,000$ i nåverdi for å lagre i 10 år, eller en gjennomsnittsverdi på ca. 1,2 millioner kroner.

Villaks: $200\text{--}1500 \text{ kr/prøve} \times 5000 \text{ prøver} = 1\,000\,000 - 7\,500\,000$ i nåverdi for å lagre i 10 år, eller en gjennomsnittsverdi på ca. 4,25 millioner kroner.

I forbindelse med Veterinærinstituttets flytting til Ås, er det under etablering et helautomatisk fryselager for prøver, der det skal automatiseres innlegging og uthenting av prøver. Utover bygningen, som vi ikke har kunnet innhente kostnaden for, er det estimert at selve automatiseringen vil koste ca. 20 millioner kroner (eks mva.) i investering. I tillegg vil det kreve 1-2 årsverk til drift, i tillegg til strømkostnader mv. hvis vi enkelt antar at automatiseringen vil ha en levetid på 20 år, samt noen driftskostnader og service, samt 1,5 årsverk, vil kostnaden til drift av fryselageret være i størrelsesorden 2-3 millioner kroner per år

Det er stor usikkerhet knyttet til fremtidige lagringskostnader for prøver fra bestandsundersøkelser. Som nevnt henger det i svært stor grad sammen med hvor mange prøver som skal bearbeides og eventuelt lagres. Det er ikke rimelig å legge til grunn at hele dyr/individer skal bevares som del av referansemateriale, selv om det kan argumenteres for at fremtidige muligheter kan gjøre det interessant å gå tilbake til prøven.

Det er imidlertid også klart at det er store kostnader knyttet til å ta vare på bestandsmateriale for fremtiden, og mens materialet nå ofte tas vare på en viss tid, og kastes etter litt tilfeldig varighet, vil det være ønskelig å ha en klarere plan for hva som skal tas vare på, og vurdere kostnadene ved dette.

5. Nytten av referansemateriale og -sekvenser i miljøovervåking og -kartlegging

5.1. Hva er nytten av referansedata for miljøforvaltningen

I dette kapittelet identifiserer og beskriver vi nyttevirksomheter for miljøforvaltningen av referansedata med DNA-sekvenser. Hva er nytten av at referansemateriale er tilgjengelig? Og hva er «ekstra-nytt» av at det foreligger DNA-sekvenser fra dette referansematerialet? Man har bygd opp artssamlinger med referansedata helt siden opplysningstiden, så verdien av den type samlinger kan man si har vært kjent i svært lang tid, og faktisk er også flere av individene som er bevart som type-individ for arter svært gamle. Det (relativt) nye er at det er knyttet DNA-sekvenser til individene som representerer arten. Fordi DNA forringes over tid, er de fleste sekvenserte individer av relativ ung alder (0-15 år).

Potensielle nyttevirksomheter av referansemateriale med DNA-sekvenser, kan systematiseres som i Tekstboks 5.1.

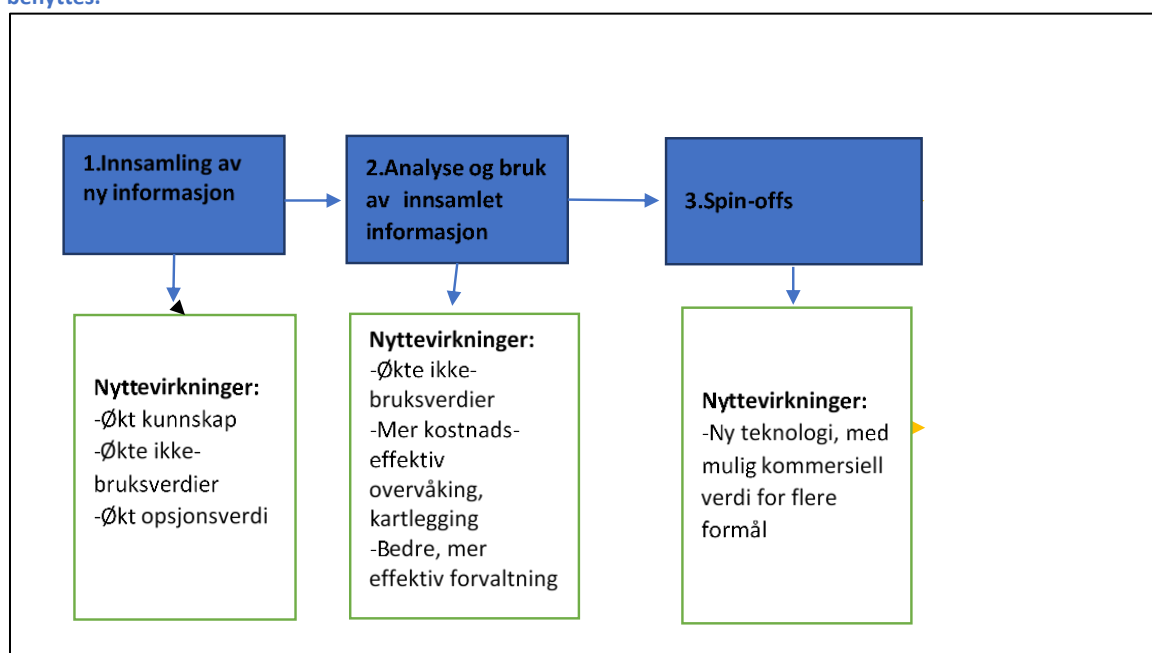
Tekstboks 5.1. Oversikt over mulige nyttevirksomheter av referansemateriale med DNA-sekvenser

1. *Innsamling av ny informasjon i form av referansemateriale med DNA for arter og bestander gir nyttevirksomheter i form av:*
 - a. Økt kunnskap om arter, bestander og økosystemer
 - b. Økte ikke-bruksverdier ved at man får økt kunnskap og kjennskap
 - c. Økte opsjonsverdier i form av muligheter for å utnytte kunnskapen i fremtiden
2. *Analyse og bruk av innsamlet informasjon gir nyttevirksomheter i form av:*
 - a. Økte ikke-bruksverdier ved at man får ytterligere kunnskap og kjennskap
 - b. Muligheter for mer kostnadseffektiv overvåking, kartlegging mv.
 - c. Bedre, mer effektiv forvaltning basert på mer kunnskap
3. *Nye måter for innsamling av informasjon gir muligheter for spin-offs, som kan gi nyttevirksomheter i form av:*
 - a. Muligheter for teknologisk utvikling ved automatisk prøvetaking, roboter, osv.

Innsamling av informasjon i form av referansemateriale med DNA gir mer eller mindre automatisk en del nyttevirksomheter, i form av økt kunnskap om arter, bestander og økosystemer. Dette gir også økte ikke-bruksverdier, og økte opsjonsverdier, fordi innsamlingen og ivaretagelsen gir mulighet til å utnytte informasjonen en gang i fremtiden.

Data med DNA-sekvenser for arter og bestander i referansedatabaser gir imidlertid også mulighet til å analysere og bruke den innsamlede informasjonen i miljøforvaltningen, og det er her de største nyttevirksomhetene ligger for miljøforvaltningen. Analyse og bruk av materiale øker også kunnskap og ikke-bruksverdier, men vi har særlig fokusert på de mulighetene som ligger i å ta i bruk materialet for mer kostnadseffektiv overvåking og kartlegging. I tillegg til at overvåking og kartlegging i mange tilfeller kan gjøres mer kostnadseffektivt, slik at man kan få «mer overvåking og kartlegging per krone», kan DNA-basert metodikk også gi mer informasjon og kunnskap om arter, bestander og økosystemer. Dette igjen gir mulighet for bedre forvaltning basert på mer inngående kunnskap om naturen som skal forvaltes. I neste instans kan disse nye metodene for innsamling og analyse, bidra til innovasjon og «spin-offs», som kan være interessant for miljøforvaltningen, men også for et bredere marked. Disse sammenhengene kan illustreres som i figur 5.1.

Figur 5.1. Oversikt over mulige nyttevirksomheter av referansemateriale med DNA-sekvenser, avhengig av hvordan materialet benyttes.



Selv om man samler inn informasjon om arter i et referansebibliotek og på den måten får bedre kunnskap om arter og bestander, er det ikke gitt at samfunnet har adekvate tiltak, eller setter i gang slike tiltak. For at samfunnet skal få full nytte av kunnskapen fra referansebibliotekene, betinger det at man tar i bruk kunnskapen som fremskaffes, og man må ha muligheter til å gjennomføre bedre eller tidligere tiltak, eller ta i bruk bedre og/eller billigere metoder for eksempel for overvåking. I noen tilfeller kan det også være snakk om kostnadsbesparelser ved å unngå lite effektive tiltak. Dersom man ikke tar i bruk kunnskapen i forvaltningen, sitter man igjen med den kunnskapen selve biblioteket/databasen gir. Det er grunn til å anta at samfunnet etablerer et referansebibliotek med DNA-sekvenser fordi man ønsker å bruke kunnskapen, men det er ikke gitt at man gjør det.

Det å ta i bruk DNA-basert metodikk kan skape spin-off-effekter, for eksempel ved å ta i bruk nye metoder i en annen sektor enn der den ble initiert. Det er også pekt på at muligheten for å ta prøver på andre måter, f.eks. ved vannprøver i stedet for grabbeprøver i sedimenter, har avfødt idéen om automatisk prøvetaking.

Det kan også være nyttevirksomheter knyttet til bioprospektering og kommersielle aktiviteter knyttet til dette. Slike nyttevirksomheter er ikke inkludert i denne utredningen. Det kan også være ulike nyttevirksomheter eller ulike størrelser på nyttevirksomhetene avhengig av hvordan data deles. Dette ligger også utenfor mandatet til denne utredningen og vurderes ikke videre.

5.2. Nyttevirksomheter knyttet til innsamling av ny informasjon om arter, bestander og økosystem

Innsamling og ivaretagelse av arter og referansemateriale for arter er grunnleggende for taksonomisk forskning og utvikling, og verdien av samlingene har ofte vært ansett først og fremst som en kilde til læring og kunnskap om naturen. Utstilling av arter har derfor vært en viktig del av folkeopplysningsoppdraget for de naturhistoriske museene i en årrekke. Mye av det en tar for gitt nå, er forankret i denne nitidige oppbyggingen av kunnskap om arter og deres taksonomiske slektskap. De fysiske individene som «er» arten og beskrivelser og bilder som følger med, er helt grunnleggende for at vi i det hele tatt kan snakke om ulike arter med ulike navn. I den senere tid har dokumentasjon av artenes DNA, som også knyttes til det samme type-individet, åpnet nye, store muligheter for enkelt å gjenkjenne ulike arter. Med bruk av DNA og gjenkjennelse av DNA-sekvenser i store, tilgjengelige

databaser, kan man raskt identifisere ulike arter man har samlet inn i overvåkingsprosjekter eller på andre måter. Dette åpner nye muligheter, men disse mulighetene er avhengig av at det finnes et etablert og sikkert system som gir mulighet for gjenkjennelse av arter. Vi vil komme tilbake til det, og blant annet hvilke besparelser det kan gi knyttet til overvåking av arter, biologisk mangfold og økosystemer senere. Men det er viktig å slå fast at mens nytten knyttet til bruk av referansemateriale ofte fremheves, kan det være lett å glemme at denne nytten for samfunnet er avhengig av at «noen» tar kostnadene ved å samle inn, ivareta og tilgjengeliggjøre informasjonen.

Nytten av referansematerialet avhenger blant annet av kvaliteten på innhentet data og informasjon og hvordan data og informasjon oppbevares, forvaltes og anvendes. Innsamling (og lagring) av informasjon har en mulig fremtidig nytteverdi vi ikke kan forutsi i dag. Denne opsjonsverdien følger direkte av at data samles inn og ivaretas på en god måte for ettertiden. Siden den mulige fremtidige bruken og verdien av denne bruken ikke kan forutsies i dag, er det vanskelig å anslå størrelsen på den. Det er likevel rimelig å anta at opsjonsverdien vil være større, desto bedre kvalitet informasjonen har. Med kvalitet mener vi eksempelvis i hvilken grad hver art eller bestand entydig kan identifiseres, hvor godt grunnlagsmateriale og oppbevaring er og hvor tilgjengelig resultater og dokumentasjon er (både for norske og utenlandske brukere).

Den økte kjennskapen og kunnskapen om arter og bestander kan øke ikke-bruksverdiene knyttet til arter og bestander, fordi flere mennesker vet om dem. Ikke-bruksverdier knyttet til arter kan oppstå ved at folk blir informert, for eksempel i et naturprogram eller i en betinget verdsettingsstudie, slik man gjorde for eksempel ved verdsetting av kaldtvannskoraller i Norge (Aanesen et al. 2015). Verdien ligger derfor først og fremst i at vitenskapsfolk/forskere får mer informasjon om artene, som så kan formidles til folk.

En viktig del av verdien av miljøgoder er folks verdsetting av at godet eksisterer (Krutilla 1967), altså godets ikke-bruksverdi. Det følger av dette at mer informasjon om arters og bestanders eksistens (om flere arter, populasjonsstørrelser, e.l.) øker ikke-bruksverdien til artene. På den måten har referansedata en nyttevirkning gjennom å øke verdien av artene. Dette fordrer at den innsamlede informasjonen formidles. Desto flere personer den formidles til, jo sterkere er nyttevirkingen.

5.3. Økt nytte ved å analysere og ta i bruk kunnskapen i overvåking og kartlegging

Selv om man samler inn informasjon om arter i et referansebibliotek og på den måten får bedre kunnskap om arter og bestander, er det ikke gitt at samfunnet har adekvate tiltak, eller setter i gang slike tiltak. For at samfunnet skal få full nytte av kunnskapen fra referansebibliotekene, betinger det at man tar i bruk kunnskapen som fremskaffes, og man må ha muligheter til å gjennomføre bedre eller tidligere tiltak, eller ta i bruk bedre og/eller billigere metoder for eksempel for overvåking. Dersom man ikke gjør det, sitter man igjen med den kunnskapen selve biblioteket/databasen gir. Det er grunn til å anta at samfunnet etablerer et referansebibliotek med DNA-sekvenser fordi man ønsker å bruke kunnskapen, men det er ikke gitt at man gjør det. Per i dag har vi kunnskap om at mange arter, blant annet insektarter, er i nedgang og at naturtyper de er avhengige av, forsvinner, men det settes bare i begrenset grad i verk tiltak.

For forvaltningen er noen av de største nyttevirkningene ved referansemateriale for arter og bestander knyttet til muligheter mer kostnadseffektiv overvåking og kartlegging, blant annet av truede arter og fremmede arter ved bruk av DNA-basert metodikk, der forekomsten og tilgjengeligheten til referansematerialet er avgjørende for å utløse nyttevirkningene. Mer kostnadseffektiv overvåking og kartlegging betyr at man kan få mer overvåking og kartlegging for samme beløp, og dermed redusere kostnadene til overvåking/kartlegging, eller få overvåket og kartlagt mer. Man kan i mange tilfeller også få mer informasjon og kunnskap om de artene, bestandene og økosystemene som overvåkes og kartlegges.

Den økte kunnskapen som fremskaffes ved mer kostnadseffektiv overvåking og kartlegging, muliggjør en bedre forvaltning, basert på mer kunnskap.

Det er fortsatt en vei igjen å gå før analyse av miljø-DNA-prøver kan brukes i overvåking for å måle mengden av arter (abundance). Forekomst av en art kan imidlertid bekreftes eller avkreftes dersom arten finnes i referansematerialet og det finnes markører som gjenkjenner arten. Slike metoder er i ferd med å bli mye brukt i forvaltningen. For eksempel brukes slike miljø-DNA-prøver der man samler inn vannprøver til å undersøke om fremmede fiskeslag er til stede og sprer seg i ulike vassdrag. Dette er en forenkling fordi man vil finne slikt materiale i vannprøven dersom arten har vært der, mens det ikke er gitt at man vil få den på kroken eller i garnet ved prøvefiske. Slike metoder er også tatt i bruk/i ferd med å bli tatt i bruk for insektovervåking, for å sjekke hvordan forekomst av ulike arter utvikler seg over tid, og for å gi tidlig varsling av fremmede insekter og karplanter.

Noen eksempler på nyttevirkningene ved bruk av referansemateriale og -sekvenser:

- Reduserte kostnader ved innsamling av materiale. Dette er for eksempel beregnet for alternative metoder for innsamling av insekter i insektovervåking.
- Sannsynligheten for å oppdage sjeldne, truede arter kan økes
- Enkle prøver av vann eller terrestrisk materiale kan ha en større sannsynlighet for å finne sjeldne arter enn konvensjonelle metoder. Miljø-DNA kan derfor være egnet for overvåking av sjeldne rødlistearter og uønskede fremmede arter som kan ha lave tettheter og være vanskelige å oppdage med konvensjonelle metoder
- DNA-basert metodikk og analyse av miljø-DNA-prøver kan benyttes til kartlegging og overvåking av mange arter samtidig og beskrive hele eller deler av artssamfunnet (dette avhenger av dekkende referansebibliotek)
- Potensielt kan analyse av miljø-DNA-prøver brukes til semikvantitativt estimat for massen av ulike arter i et område, men dette er fortsatt noe omdiskutert, og kan også avhenge av innsamlingsmetode mv.).
- Når det foreligger referansebibliotek for mange arter, kan man enkelt og kostnadseffektivt samle inn og analysere prøver av enkeltarter og artssamfunn.

Eksempler på bruk og potensiell bruk av bestandsdata med referansesekvenser i forskning og forvaltning

- Eksakt kunnskap om ulv ved at hvert individ i den norske ulvebestanden er DNA-testet. Dette er benyttet i forvaltningen av en omdiskutert art fordi man har klare bevis for hvor hver enkelt kommer fra og hvor de ferdes, hvilke som danner revir, om noen blir skutt osv. Man kan også teste for slektskap for eksempel med svenske ulver, sjekke påstander om utsetting av ulv fra andre steder osv.
- Kunnskap om bestander kan potensielt brukes for eksempel ved konsekvensvurderinger der man skal vurdere hva som skjer etter gjennomføring av tiltak som vil redusere bestanden i et spesifikt område i anleggsfasen. Dersom DNA-analyser viser at bestander av arten som lever i nærheten forflytter seg så mye at de kan vandre til områder der en bestand ble ødelagt eller kraftig redusert som følge av tiltaket, øker det sjansen for at bestander fra andre steder vil restaurere området som blir påvirket. Dersom man ser at bestander av arten holder seg «på samme sted» og ikke vandrer, er det derimot en indikasjon på at de ikke vil vandre til tiltaksområdet og bidra til restaurering der når anleggsperioden er over.
- Ved forvaltning av villaks og genetisk forurensning med rømt oppdrettslaks i norske vassdrag, benyttes DNA-kunnskap om ulike bestander i ulike vassdrag, og slektskap mellom henholdsvis ulike villaksstammer og oppdrettslaks, avgjørende for å kunne se hvor oppdrettslaksen sprer seg, hvor det skjer blanding av oppdrettslaks inn i villaksbestanden osv.
- For stillehavsosters kan DNA-prøver av bestanden som er økende i norske farvann sjekkes for slektskap med innvandrende østers fra danske og svenske farvann versus om de kan være rømt fra oppdrettsanlegg.

- Ved taredyrkning (sukkertare) i Norge kreves det at morindividet tas i nærheten av anleggsstedet for at man ikke skulle få genetisk forurensning med tare fra andre steder. Å finne morindivider til taredyrkning i nærheten kan imidlertid by på problemer der tareskogen er nedbeitet av kråkeboller. Nå viser imidlertid bestandsinnsamling at sukkertare er genetisk lik i hele Norskehavet, og dermed kan en potensielt ta de beste morplantene fra et mye større område og likevel unngå genetisk forurensning.
- Eksempel på bruk av gammelt og nytt DNA-materiale: fra 1860-tallet hadde man (Fosli) navngitt 30 ulike arter med kalkalger⁴. I et nytt prosjekt der man tok små prøver av de gamle «artene» og sammenlignet med nye prøver innsamlet gjennom nytt artsprosjekt, kunne man avsløre at de ca. 30 tidligere artene i virkeligheten bare var en håndfull arter. Dette kunne man finne fordi DNA-materialet var så likt, mens de kjennetegnene man kunne se, varierte mer. Dette er et interessant eksempel som viser langsiktigheten i dette arbeidet, og betydningen av at materiale tas vare på i uoverskuelig fremtid. Samtidig viser det mulighetene dagens DNA-analyser gir, som man ikke hadde for 160 år siden og heller ikke for 20-30 år siden. Det er også en påminnelse om at det fortsatt kan skje mye på DNA-fronten som kan gi ytterligere muligheter fremover, og som betyr mulige opsjonsverdier knyttet til å ta vare på materiale.
- To eksempler på overvåkingsprosjekter i ferskvann kan illustrere hvor egnet miljø-DNA er (per i dag). For *G. salaris* undersøkes det om parasitten er til stede i ulike vassdrag, for å kunne friskmelde dem eller eventuelt vurdere tiltak dersom *G. salaris* blir påvist. Per i dag tas det inn 5-6000 fisk som må under lupen. *G. salaris* sprer lite DNA, og det må derfor være betydelig antall fisk med stor nok konsentrasjon av parasitten før den oppdages. Man ønsker å gå over til å bruke miljø-DNA for påvisning av *G. salaris*. DNA-basert metodikk er benyttet som en tilleggsmetode i Driva siden 2017. Det har vært utfordrende å fange nok fisk til å påvise *G. salaris* med den konvensjonelle metoden som er elfiske og undersøkelse av fisken for parasitten, mens påvisning ved DNA-basert metodikk har vist seg som en mer sensitiv metode enn elfiske (Fossøy et al. 2019)
- For krepsepest, som er en annen ferskvannsparasitt som følger fremmedarten signalkrepse og som er skadelig for den stedegne edelkrepsen, er situasjonen en helt annen enn for *G. salaris*. Krepsepesten «spyr ut» sporer, som inneholder små pakker med DNA, og det skal derfor kun en liten konsentrasjon til før krepsepest kan påvises i vannprøver.

5.4. Nye metoder gir muligheter for spin-offs

Det å ta i bruk DNA i kartlegging og overvåking, betyr et betydelig teknologi-skift. Hvor mye som endres av selve prøvetakingen vil variere, som eksemplene i kapittel 6 illustrerer, men f.eks. det å ta prøver av vannet organismene lever i, i stedet for prøver av selve organismen, gjør det nødvendig å endre teknologi for innsamling. Det innebærer teknologiutvikling, som også – potensielt – kan være interessant kommersielt på flere områder. Automatisering av prøvetaking åpner også for nye teknologiske muligheter, og er mest økonomisk interessant der det er arbeids- og dermed tids- og kostnadskrevende å samle inn prøver. Kroneksempelen er innsamling av prøver «på havets bunn», der det kreves skip med spesialutstyr som må betjenes med flere personer av sikkerhetsmessige årsaker og må være flere dager på tokt, for å ta et lite antall prøver.

⁴ Se <https://blogg.vm.ntnu.no/samlingsqlimt/2012/03/08/norsk-amat%C3%B8r-ble-verdenskjent-for-sine-kalkalger/>
<https://gemini.no/2009/02/darwin-funn-i-trondheim/>

Det er også utviklet «prøvetakings-kit» for å ta vannprøver i ferskvann osv., som gir muligheter både til å utvikle kommersielle produkter, og til å få økt prøvetakingsfrekvens og dermed mer informasjon. Forutsetningen er selvfølgelig at man får prøver og analyser av minst like god kvalitet som man får med dagens «tradisjonelle» teknologi for prøvetaking og analyse.

Fokus flyttes også fra tradisjonell god feltsikkerhet ved morfologisk identifikasjon av arter og artsgrupper, det vil si floristisk og faunistisk kunnskap, til teknologiske finesser for eksakt å identifisere arter, finne primere og tester for billigst mulig å identifisere og skille fra hverandre arter osv.

Per i dag er DNA-analyser av enkeltarter ganske rimelig per analyse, mens analyser med DNA-metastrekkoding er mer kostbart. Etter hvert som utviklingen går fremover, er det grunn til å tro at trykket for å få bedre og billigere metoder av begge teknologier, vil være så stort at både kvalitet og priser kan bli mer fordelaktig. Dette arbeidet er svært internasjonalt.

6. Eksempler på nytte og kostnader ved bruk av DNA-basert metodikk ved miljøkartlegging og -overvåking

6.1. Innledning

I dette kapittelet gir vi eksempler på nytte (fordeler) og kostnader (ulempen) ved å benytte DNA-basert metodikk ved kartlegging og overvåking av ulike arter og økosystemer. For å konkretisere og muliggjøre nytte- og kostnadssammenligninger, har vi sett nærmere på følgende:

- 1) Eksempel 1: DNA-basert metodikk i insektovervåking (kapittel 6.2)
- 2) Eksempel 2: Miljø-DNA ved kartlegging/overvåking av fremmede fisk (kapittel 6.3.)
- 3) Eksempel 3: Miljø-DNA ved kartlegging/overvåking av parasitten *Gyrodactylus salaris* (*G. salaris*) (kapittel 6.3.)
- 4) Eksempel 4: Miljø-DNA ved overvåking for oppfyllelse av vannforskriften (kapittel 6.4.)

I tillegg har vi fått nyttig informasjon om bruk av miljø-DNA i petroleumssektoren, blant annet fra representanter fra Equinor. Det foregår flere interessante og relevante forskningsprosjekter innen den sektoren, i samarbeid mellom bransjen og forskningsinstitusjoner. Fordi det foreløpig er vanskelig å komme opp med gode nytte- og kostnadsestimater for bruk av miljø-DNA i petroleumssektoren og fordi det nylig ble gitt ut en rapport som oppsummerer status for bruk av miljø-DNA i marine områder (Dunsha, Martell et al. 2021), går vi ikke nærmere inn på eksempler fra petroleumssektoren i denne rapporten.

Det er viktig å ha i mente at DNA-basert metodikk som hovedregel ikke er tatt i bruk som «hovedmetode» eller eneste metode for overvåking. Det er derfor foreløpige anslag og vurderinger som kommer til uttrykk både når det gjelder muligheter og antatte utfordringer og når vi gir kostnadsanslag. Unntaket er nasjonal overvåking av insekter der kun DNA-metastrekkoding (Jf. tekstboks 1.1.), og ingen konvensjonelle analyser, benyttes for identifisering av arter.

I eksemplene er det lagt til grunn at måloppnåelsen ved bruk av de ulike metodene skal være omtrent den samme, men som vi ser blant annet i insektovervåkingseksempelet, kan det likevel variere. Det er videre lagt til grunn de metoder og kostnader som gjelder i dag, det vil si at fremtidige nyvinninger som kan gjøre ulike prosedyrer bedre og billigere, ikke er lagt inn.

6.2. DNA-basert metodikk ved nasjonal insektovervåking

6.2.1. Innledning

I forbindelse med utarbeidelse av forslag til nasjonal insektovervåking (Åström et al. 2020) ble det gjennomført en nytte-kostnadsanalyse av hva man kan oppnå ved slik overvåking og en kostnadsanalyse av ulike måter å innhente og analysere insektdata fra overvåkingen. Kostnadstallene bygde på erfaringer fra et pilotprosjekt (Åström et al. 2019), samt videre beregninger i 2020.

Det ble anbefalt nasjonal overvåking hvor man overvåker to økosystemer i et opplegg der hver av 50 lokaliteter per økosystem besøkes hvert fjerde år. Felletømmingen foregår annenhver uke i perioden april-oktober, dvs. totalt 14 tømninger. I anbefalt opplegg foregår etterprosesseringen av fellefangsten som gir total biomasse per prøve og artsidentifikasjon gjennom DNA-metastrekkoding med lysring av prøvene. Investeringskostnader for eventuell lagerplass for prøver er ikke inkludert i beregningene, noe vi kommer tilbake til nedenfor.

Åström et al. (2020) antok at antall feller, oppsett av feller og tømning ville skje på samme måte, uavhengig av metode for videre bearbeidelse av innsamlet insektmateriale, slik at disse kostnadene er de samme. Flere metoder ble vurdert for artsidentifikasjon, herunder veiing av biomassen, morfologisk identifikasjon av arter og identifikasjon av arter ved bruk av DNA-metastrekkoding. Basert på innsamling ble det også testet om det var forskjeller i artsidentifikasjon mellom ulike metoder; herunder bare DNA-metastrekkoding, bare morfologisk artsidentifikasjon og kombinasjoner av disse. Det ble også undersøkt ulike metoder for håndtering av materialet fra fellene før DNA-metastrekkoding, blant annet bruk av etanol, lysering og knusing av biomasse. Metoden med DNA-metastrekkoding kombinert med veiing av biomassen ble valgt, fordi det var den rimeligste metoden, som også ga tilsvarende resultater som morfologiske undersøkelser av innsamlet materiale. Åström et al. vurderte at bare DNA-metastrekkoding var aktuelt innenfor et rimelig budsjett dersom man skulle ha en såpass omfattende insektovervåking som foreslått.

I det følgende skal vi se nærmere på kostnadene knyttet til anbefalt forslag med DNA-metastrekkoding, og sammenligne dem med estimerte kostnader ved en overvåking med samme ambisjonsnivå ved bruk av morfologisk artsidentifikasjon. Vi sammenligner også nytten i form av identifiserte insekter ved ulike metoder for artsidentifikasjon, metodenes vellykkethet, samt svakheter ved metoden som er valgt, og kostnader til lagring av materialet for ettertiden som ikke var inkludert i kostnadsanslaget. Denne beskrivelsen bygger i stor grad på Åström et al. (2020) og våre beregninger der.

6.2.2. Beregning og sammenligning av kostnader

I dette delkapittelet beskrives innledningsvis hvilke kostnadsposter som inngår i insektovervåkingen. Deretter presenteres de samfunnsøkonomiske kostnadene ved gjennomføring av aktuelle alternativer⁵.

Det tas utgangspunkt i de mest aktuelle metodene og ambisjonsnivåene som er beskrevet og vurdert i Åström et al. (2019, 2020).

I en samfunnsøkonomisk vurdering av et insektovervåkningsprogram, vil det være riktig å vurdere samfunnsøkonomiske kostnader ved å iverksette og drifte programmet. De samfunnsøkonomiske kostnadene er beregnet ved bruk av lønnskostnader inkludert sosiale utgifter for arbeidskraft som kan gjennomføre oppdraget. Kostnader er beregnet uten merverdiavgift, men en skattekostnad på 20 prosent for midler fra offentlige budsjetter er lagt til, i tråd med DFØs veileder for samfunnsøkonomiske analyse (DFØ 2018).

Alle kostnader oppgis som nåverdier. Prosjektperioden settes til 40 år, slik at tallene kan forstås som de samlede kostnadene for å starte opp programmet i dag og drifte det i 40 år. I tråd med Finansdepartementet (2021), benytter vi en diskonteringsrente på fire prosent per år når vi summerer kostnader over 40 år. Siden ulike utforminger av overvåkningsprogrammet kan medføre noe ulike oppstartskostnader og fordeling av variable kostnader over tid, gir nåverdiberegninger en god måte å sammenligne kostnadene på. Vi vil indikere hva dette medfører av gjennomsnittlige årlige kostnader.

De ulike programmene som ble skissert og vurdert i Åström et al. (2020) hadde ulike ambisjonsnivå med hensyn til metodikk for innsamling og artsbestemmelse, ulike habitater som skulle dekkes, antall lokaliteter, geografisk spredning osv., som beskrevet i Åström et al. (2019; 2020). Man startet med å vurdere svært mange mulige varianter av disse programmene, og disse beregningene finnes i vedlegg i Åström et al. (2020). Her presenteres tall for innsamling og analyse som ble anbefalt, basert på erfaringsinnhenting i forbindelse med insektovervåkingsprosjektet (Åström et al. 2019; 2020). Vi viser beregningen for anbefalt ambisjonsnivå med hensyn til antall habitater som inkluderes og hvor stor del av landet som dekkes, og dermed hvor kostnadskrevende alternativet blir.

⁵ I Åström et al. (2020) presenteres også budsjettmessige virkninger av anbefalt forslag (og andre forslag til overvåking), men vi anser de samfunnsøkonomiske kostnadene å være mest relevante for denne utredningen.

Kostnadspostene for et insektovervåkingsprogram, uavhengig av ambisjonsnivå, kan oppsummeres i kostnader for å:

1. Administrere programmet;
2. Etablere lokaliteter og sette opp feller. Dette inkluderer tidskostnader for å reise til lokaliteten, sette opp fellene i felt, samt materialkostnader til feller. Vi benytter egne satser og levetider for malaisefeller, og vindusfeller, som er de aktuelle felletypene;⁶
3. Tømme feller, som i hovedsak består i tidskostnader for å reise til lokalitetene og for å tømme fellene på lokalitetene;
4. Analysere innsamlede prøver. Disse kostnadene knytter seg hovedsakelig til DNA-analyser (DNA-metastrekkoding) i anbefalt program, men vi vil også vise kostnader ved bruk av morfologisk artsidentifikasjon for samme program
5. Legge inn data, lagre data og eventuelt biologisk materiale, samt rapportere.

De fleste av disse kostnadspostene varierer med utformingen av overvåkingsprogrammet og ambisjonsnivået. Det var opprinnelig fem utforminger, hver med syv ulike ambisjonsnivåer, og kostnader for hver av disse metodene og nivåene ble presentert i Åström et al. (2019).

Programmet kalt *Biomasse* har de laveste kostnadene knyttet til analyser, da det kun gjennomføres veiing og lagring av innsamlet biomasse, men dette gir også minst informasjon om materialet som samles inn, og det ble vurdert at dette ga for lite informasjon til å tjene som insektovervåking. Utformingen kalt *Bas* hadde noe høyere kostnader knyttet til analyser for gjennomføring av DNA-analyser av biomassen. I utformingen *DNA* utføres enklere DNA-analyser uten grunnsortering, og dette alternativet har dermed lavere analysekostnader enn *Bas* og ingen lagringskostnader. Utformingen *Full* har de høyeste tidskostnadene knyttet til analyse, siden den innebærer manuell morfologisk artsbestemmelse. Til slutt har utformingen *Artssøk* mer omfattende bruk av feller og inkluderer DNA-analyser, men ikke manuell morfologisk artsbestemmelse.

Det alternativet som insektovervåkingsprosjektet fant mest relevant og som dermed ble vurdert videre med tanke på kostnader og nytte, er det som ble kalt «DNA», der det gjennomføres enklere DNA-analyser uten grunnsortering, noe som reduserer analysekostnadene, og ikke medfører lagringskostnader. Det er kostnader knyttet til noe ulikt omfang av denne tilnærmingen som ble vurdert videre.

Som hovedalternativ vil vi kostnadsberegne anbefalt alternativ som består av landsdekkende overvåking av de to habitatene jordbruksområder og skogbruksområder. Vi vil også gjøre noen vurderinger av hvilke elementer i overvåkingen som er mest kostnadsdrivende, og hvordan det vil slå ut dersom disse kan reduseres, eller eventuelt blir høyere enn antatt.

Beregningen nedenfor er for et løpende program der man overvåker to habitatstyper, henholdsvis jord- og skogbruksområder, med 200 lokaliteter per type. Innsamlingene spres ut over en omløpsperiode på 4 år slik at man besøker 50 lokaliteter for hver habitatstype hvert år, altså totalt 100 lokaliteter besøkes per år. På den måten klarer man å besøke hver av lokalitetene to ganger i løpet av en periode på åtte år.

Vi regner med en engangs oppstartskostnad på ca. kr 200 000, som innbefatter innkjøp av utstyr og planlegging og igangsetting. Hvert år tilkommer også kostnader som gjelder datainnlegging, analyser og rapportskriving. Disse kostnadene er beregnet til ca. kr 600 000 per år. Hvis man skal lagre prøvene, beregner vi at den årlige håndteringen av dette vil koste ca. kr 250 000 per år. Det er ikke lagt til grunn at det skal etableres eget lager, slik at det ikke er lagt inn investeringskostnader til lagring. Vi regner med at etablering av hver feltlokalitet vil koste nærmere 40 000 kroner, inklusive de feltregistreringene av miljøvariabler som kreves (ANO, NiN, Landsskogstaksering). Dette vil gjøres en gang for hver lokalitet, men gjentas når lokaliteten gjenbesøkes etter 4

⁶ For nærmere beskrivelse av fellene, se Åström et al. (2019).

år. Hvert besøk og felletømming har vi beregnet koster ca. 10 000 kroner. Dette inkluderer reisekostnader og tidsforbruk på lokaliteten. Håndteringen av prøver på laboratorium koster anslagsvis kr 300 per prøve. I tillegg kommer ca. kr 2 000 per prøve for DNA-metastrekkoding.

For å sammenligne med andre alternativer for analyse av prøvene, er det estimert at en grovsortering, veiing og opptelling til ordensnivå ville koste ca. kr 38 000 per prøve. Disse kostnadene er ikke lagt inn i budsjettet for anbefalt alternativ.

Hvis man bruker regneeksemplet med besøk av 100 lokaliteter og 14 tømminger per år (vi regner med en aktivitetsperiode april-oktober) kommer samfunnsøkonomiske kostnader for et opplegg med DNA-metastrekkoding og total biomasse opp i ca. 20 millioner kroner per år. Den største delen av kostnadene går til drift av fellene, med nesten 70 % av kostnadene. Hvis man for eksempel kan ta i bruk et system som muliggjør tømning hver 4 uke eller sjeldnere, for eksempel malaisefeller som tømmer seg automatisk, kan det gi betydelige kostnadsreduksjoner. Det er også betydelige kostnader knyttet til analyse av hver prøve med DNA-metastrekkoding, selv om dette er en langt rimeligere løsning enn mange andre analysemetoder. DNA-metastrekkodingsteknikken har utviklet seg svært mye de aller siste årene, og kostnadene har gått betydelig ned. Det er rimelig å anta at disse kostnadene fortsatt vil bli lavere fremover, men vi har ikke grunnlag for å si hvor mye lavere de kan bli og hvor raskt prisen eventuelt reduseres. Vi har derfor benyttet dagens pris i analysene. Tabellen nedenfor viser de viktigste kostnadspostene som inngår i dette alternativet.

Tømming av feller som inkluderer tid og kostnader for å reise til lokalitetene, står for nesten 60 prosent av kostnadene. Det betyr at dersom man kan redusere kostnadene til denne posten, vil det ha stor betydning for totale kostnader ved overvåkingsprogrammet. Dersom man kan redusere antall tømminger per år, og opprettholde kvaliteten på det innsamlede materialet, vil det ha svært stor betydning for kostnadene. En halvering av antall tømminger per lokalitet (dvs. én tømning per måned) ville halvere kostnadene til tømning, og redusere totale kostnader med over 6 millioner kroner per år. Kvaliteten av prøvene vil imidlertid kunne reduseres ved såpass sjelden tømning. Det kan også være noe å hente kostnadsmessig dersom tømningen kan foretas av personell med lavere timekostnader enn det som er lagt til grunn nå. Analysekostnader i form av DNA-metastrekkoding kan tenkes å bli redusert fremover etter hvert som DNA-metastrekkoding blir mer vanlig, men selv om kostnaden per prøve skulle halveres, vil det ha mindre betydning for totale kostnader enn om antall tømminger kan reduseres.

Tabell 6.1. Forenklet samfunnsøkonomisk beregning for et anbefalt nasjonalt opplegg med etterprosesseringen av fellefangsten som gir total biomasse per prøve, og artsidentifikasjon gjennom DNA-metastrekkoding med lysering av prøvene. Man overvåker her to habitatstyper i et opplegg der hver lokalitet besøkes hvert 4. år, dvs. 100 lokaliteter besøkes per år. Felletømminger foregår i perioden april-oktober for totalt 14 tømminger på hver lokalitet per år. Investeringskostnader for eventuelt lagerplass for prøver er ikke inkludert.*

Kostnadspost/forklaring	Antall	Enhetspris (kr)	Årlige kostnader (kr)
Etablering av lokaliteter per år	100	Ca. 22 000*	Ca. 2 200 000
Antall tømminger per lokalitet per år (100 lokaliteter)	14	Ca. 6 715	Ca. 9 400 000
Vindusfeller per år	100	7250	Ca. 725 000
Analyse-DNA-metastrekkoding per år	1400	Ca. 2300	Ca. 3 220 000
Administrasjon, innlegging av data mv. per år			Ca. 550 000
Total kostnad per år			Ca. 16,1 mill.
Skattefinansieringskostnad per år	20 prosent av total årlig kostnad		Ca. 3,2 mill.
Total årlig kostnad			Ca. 19,3 mill.
Oppstartskostnad, påløper bare første år			240 000

*I tabellen er investeringskostnaden til malaisefelle for enkelhets skyld fordelt på 3 år, som er fellens levetid. I beregningene er kostnadene lagt inn som investering hvert 3. år. Når lagerkostnader ikke er inkludert, og kostnader til malaisefeller fordeles, oppstår alle øvrige kostnader med like store beløp hvert år, vi har derfor satt opp årlige kostnader i tabellen. Det er også gjennomført nåverdiberegninger for totale kostnader ved de ulike programmene i Åström et al. (2020).

For illustrasjon vises beregningene for det anbefalte alternativet dersom man skulle benyttet morfologiske metoder for artsidentifikasjon i stedet for DNA-metastrekkoding. I dette alternativet har vi tatt utgangspunkt i programmet kalt «Full» som inkluderer grovsortering, med sortering til grupper og telling pluss individuell artsidentifikasjon gjennom morfologiske analyser. Det er lagt til grunn at det brukes 14 timer per 35 «ordener» for grunnsortering (Åström et al. 2020). Når det gjelder sortering og telling, og særlig individuell artsidentifikasjon, understrekes det i Åström et al. (2020) at tidsbruken vil variere mye mellom hver prøve. Det er benyttet 37,5 timer som et gjennomsnittsestimat, som inkluderer punching i databasen, sortering, telling og lagring. Dette er identifisering på artsnivå av hvert grovsorterte prøve. Det er benyttet samme timepris (530 kroner per time) som for annet arbeid, noe som kan være lavt fordi det kreves spesialkompetanse for identifisering til artsnivå.

Tabell 6.2. Forenklet samfunnsøkonomisk beregning for et nasjonalt opplegg med etterprosesseringen av fellefangsten som gir total biomasse per prøve, og artsidentifikasjon gjennom morfologisk identifikasjon. Man overvåker her to habitatstyper i et opplegg der hver lokalitet besøkes hvert 4. år, dvs. 100 lokaliteter besøkes per år. Felletømminger foregår i perioden april-oktober med totalt 14 tømminger per år. Investeringskostnader for eventuelt lagerplass for prøver er ikke inkludert.

Kostnadspost/forklaring	Antall	Enhetspris (kr)	Total kostnad per år (kr)
Etablering av lokaliteter per år	100	Ca. 22 000*	Ca. 2 200 000
Antall tømminger per lokalitet per år	14	Ca. 6 715	Ca. 9 400 000
Vindusfeller per år	100		Ca. 725 000
Grovsortering (sortering og telling) per år	1400	18 550	Ca. 27 800 000
Manuell artsidentifikasjon per år	1400	259 700	Ca. 360 000 000
Administrasjon, innlegging av data mv. per år			Ca. 550 000
Total kostnad per år			Ca. 400 mill. kr
Skattefinansieringskostnad per år	20 prosent		Ca. 80 mill.kr
Total årlig kostnad			Ca. 480 mill. kr
Oppstartskostnad, påløper bare første år			240 000

*I tabellen er kostnaden til malaisefelle for enkelhets skyld fordelt på 3 år. I beregningene er kostnadene lagt inn som investering hvert 3.år, slik at kostnadene blir noe ulikt fordelt mellom år.

Kostnadene til et overvåkingsprogram med artsidentifikasjon ved manuell morfologisk identifikasjon beløper seg altså til i størrelsesorden 480 millioner kroner, inklusive skattefinansieringskostnad på 20%. Dette er mer enn 20 ganger dyrere enn overvåkingskostnadene ved tilsvarende ambisjonsnivå ved bruk av DNA-metastrekkoding. Som nevnt er kostnadene, særlig til den individuelle artsidentifikasjonen usikker, og man kan tenke seg at kostnadene går ned med økende antall prøver fordi artene «går igjen» osv. Men selv med bare å inkludere grovsortering og telling, som ikke gir identifikasjon på artsnivå i det hele tatt, vil kostnadene være dobbelt så høye som ved bruk av DNA-metastrekkoding. Og selv om kostnadene ved manuell artsidentifikasjon halveres, eller reduseres med tre fjerdedeler, blir kostnadene mer enn 100 millioner og 5-6 ganger høyere enn ved bruk av DNA-metastrekkoding.

Hvis vi bare ser på kostnadene, er det dermed åpenbart at samfunnet får mye mer insektovervåking for pengene ved bruk av DNA-metastrekkoding enn ved bruk av manuell morfologisk artsidentifikasjon.

I neste delkapittel vil vi diskutere dette litt nærmere, og se det i sammenheng med om man får «like bra» overvåking ved de ulike metodene, og hva som kan trekke i ulike retninger. Deretter vil vi gjengi en del av erfaringene fra pilotprosjektene for insektovervåking med hensyn til oppdagelsessannsynlighet ved bruk av ulike metoder, samt adressere noen forhold som ikke var håndtert tilstrekkelig i de forenklete kostnadsanalysene, nemlig lagring av innsamlet materiale og forekomst av egnet database for artsgjenkjennelse.

6.2.3. Erfaringer med artsidentifikasjon ved ulike metoder og lagring av materiale

DNA-basert metodikk er anbefalt for insektovervåking i Norge

Det er krevende å identifisere, kartlegge og overvåke insekter gitt deres store variasjon i mengde, forekomst og antall arter. Grunnleggende kunnskap om forekomst, utbredelse og individantall er derfor fortsatt ganske sporadisk, ikke minst i Norge (Åström et al. 2019).

Naturlige variasjoner i værforhold og insektenes egen utvikling, både innen og mellom år, gjør det nødvendig å overvåke insektene gjennom hele den aktive sesongen. Det bør derfor samles inn kontinuerlig gjennom hele den aktive sesongen. Videre kan det være betydelige tilfeldige forskjeller selv mellom områder med kort mellomrom i et økosystem/naturtype, noe som fordrer et betydelig antall innsamlingsplasser der feller settes ut og tømmes.

Erfaringene fra pilotforsøket og kostnadsberegningene som ble gjennomført, viser at manuell identifisering av insektarter gjennomført av taksonomiske eksperter ikke er praktisk og økonomisk gjennomførbart for de prøvemengdene som kreves i en slik overvåking. Det er for tid- og arbeidskrevende. Praktisk og økonomisk sett fremgår identifisering av insektene ved hjelp av DNA-metastrekkoding som eneste mulige, kostnadseffektive løsning for å få informasjon på artsnivå. Med denne teknologien analyserer man arvestoffet for alle arter i en felle samtidig, og man får et estimat på den relative mengden DNA for hver identifisert art. Uten DNA-basert metodikk måtte man valgt alternative opplegg som for eksempel registrering av total biomasse for alle arter, noe Åström et al. (2020) vurderte som et for grovt mål for å kunne gi et godt nok kunnskapsgrunnlag, særlig hvis man vil kunne forklare trenden og identifisere mulige tiltak. DNA-metastrekkoding utvikler seg raskt som metode, og man kan nå samtidig kartlegge og overvåke innen-artsvariasjon, noe som muliggjør populasjonsgenetiske analyser for enkeltarter.

Ulik behandling av felleprøver før DNA-metastrekkoding gir ulik måloppnåelse

Åström et al. (2020) fant at den antatt billigste metoden for DNA-metastrekkoding, som består i å analysere den filtrerte etanolen fra insektfellene, ikke fungerte godt nok til at de anbefaler den, fordi det ved denne metoden ble funnet betydelig færre arter enn ved tradisjonell morfologisk kontrollidentifisering av biller og et utvalg av veps. Både knusing og ikke-destruktiv lysering (tilsetning av en lyseringsbuffer) av insektene økte deteksjonen betydelig, og det ble funnet omtrent dobbelt så mange arter som ved DNA-metastrekkoding av den filtrerte etanolen. Ikke-destruktiv lysering har fordelen at den i stor grad bevarer insektene for en senere eventuell morfologisk kontrollidentifisering eller for langtidslagring. Selv om denne teknikken ikke er perfekt, i og med at den ikke klarer å identifisere samtlige arter, anbefaler Åström et al. (2020) lysering og DNA-metastrekkoding som hovedmetode i en løpende overvåking. I pilotstudien i et område på 7 km² over en kort tidsperiode ble det påvist ca. 3 000 arter av insekter, noe som utgjør ca. 15 prosent av det antatt totale antallet insektarter i Norge. Dette inkluderer alle taksonomiske grupper, som for eksempel tovinger, som tradisjonelt er svært vanskelige å bestemme med morfologiske metoder.

Resultatene indikerer at forekomster av ulike arter kan variere betydelig mellom lokaliteter, også i nærliggende, lignende miljøer. Videre forekommer mange arter ganske tilfeldig i en gitt felle på en lokalitet. Da selve fellene ikke fanger alle insektarter (hele diversiteten) på en lokalitet, klarer man altså ikke å observere hele mangfoldet på lokaliteten. Man ville hatt den samme utfordringen selv om man hadde en perfekt identifiseringsmetode (der hvert eneste individ i en felle kan bestemmes til art). Ressursene anbefales derfor brukt mer effektivt ved å øke antall felleprøver fremfor å finne en perfekt identifiseringsmetode for innsamlede prøver. Dette tydeliggjør forskjellen mellom kartlegging på den ene siden, der man prøver å beskrive hele artsmangfoldet, og en overvåking på den annen side, der man prøver å følge med på utviklingstrendene på et høyere taksonomisk eller en grovere geografisk skala. I et realistisk overvåkingsprogram må man akseptere at man ikke klarer å kartlegge hele diversiteten i hvert enkelt område. I stedet må man overvåke tilstand og trender over større arealer. På

denne måten skiller overvåking av insekter seg fra overvåking av flere andre organismegrupper, der det lokale artsmangfoldet er mer begrenset.

En stor del av kostnadene ved overvåkingsalternativet med DNA-metastrekkoding går til utsetting av feller og innsamling av prøver. Det er antatt samme kostnader ved manuell artsidentifikasjon, men kostnadene utgjør en mindre andel fordi kostnadene til artsidentifikasjon er så høye. Man kan tenke seg effektivisering og kostnadsbesparelser ved sjeldnere tømmefelling, eller at folk i nærområdet tømmer fellen og sender inn materialet. Åström et al. (2020) stiller imidlertid spørsmål ved om det vil være mulig fordi praktisk gjennomføring og koordinering av et stort nettverk vil være logistisk krevende, og det er usikkert om bruk av frivillige vil gi kostnadsbesparelser sammenlignet med et mindre antall faste personer som drifter fellene. Dette er antagelig lettere å gjennomføre med tilfredsstillende resultater for artsidentifikasjonen ved DNA-metastrekkoding enn ved individuell artsidentifikasjon, fordi DNA-et beholdes selv om artene har ligget der en stund, mens morfologiske undersøkelser kan bli vanskeligere. Det er også betydelige kostnader til selve DNA-metastrekkodingen i dag, antatt 2 000 kr per prøve, i tillegg til 300 kroner for forberedelser av prøven på laboratoriet.

Verken morfologisk bestemmelse eller DNA-metastrekkoding identifiserer alle arter

Verken morfologisk bestemmelse eller DNA-metastrekkoding greide å identifisere alle arter. DNA-metastrekkoding identifiserte mange flere arter enn manuell morfologisk identifisering med de ressursene som var til rådighet i prosjektet, men man vet ikke hva resultatet hadde blitt av den morfologiske identifikasjonen hvis man hadde hatt flere ressurser. Siden man per i dag ikke har et fullstendig referansemateriale med DNA-sekvenser for alle arter, er det begrenset hva man kan si utover at det er større diversitet, det vil si bruke informasjonen i diversitetsindekser mv. Man vil også ha utfordringer med å sammenligne utvikling over tid, blant annet se trendene opp mot andre miljø-data, som temperatur, ulike typer forurensning, enkeltartsinteraksjoner osv. Jo bedre, og mer omfattende referansebibliotek med DNA-sekvenser man bygger opp, jo mer kan dermed leses ut av innsamlet materiale over tid.

Utvikling av referansedatabaser vil øke artsidentifikasjonen ved bruk av DNA-metastrekkoding

Åström et al. (2020) benyttet det de kaller en «trenet referansedatabaser» satt sammen av nesten en million COI-sekvenser fra artropoder og chordater. Denne metoden gir en sikrere og raskere metode for kobling av DNA-sekvenser mot referansedatabaser enn metodene de har benyttet tidligere år, ifølge Åström et al. (2020). Men foreløpig er ikke denne databasen komplett med hensyn til norske arter. Databasen ble utviklet med fokus på Nord-Amerika. Dersom man sammenligner denne databasen med insekter definert som norske arter i Artsdatabanken finner de en god del mangler. Spesielt ser de at biller (*Coleoptera*), fluer (*Diptera*), nebbmunner (*Hemiptera*) og vepser (*Hymenoptera*) mangler mange arter. Nå finnes det referansesekvenser for mange av disse artene i Genbank (Benson et al. 2006) og/eller BOLD (Ratnasingham og Herbert 2007), men å lage en utviklet ny trenet database var ikke mulig innenfor rammene av insektovervåkingsprosjektet (Åström et al. 2020). Åström et al. anser derfor at det å lage en ny trenet databasesom inneholder alle tilgjengelige referanser for norske arter er svært viktig for videre studier med bruk av DNA-metastrekkoding. I etterkant av rapporteringen i 2020, har Norsk institutt for naturforskning, NINA, for egen regning laget en ny trenet database basert på norske arter som ble benyttet i fjorårets rapport (NINA pers.medd. 2021).

Lagring av DNA-materiale fra overvåking

Lagring av DNA-materialet fra fellefangst er gjennomførbart og bør prioriteres innenfor budsjettet for prosjektet, ifølge Åström et al. (2020). Langtidslagring av hele fellefangster kan skape store verdier for taksonomer og sikre en god tidsserie som ikke er avhengig av utviklingen innen DNA-teknologi, men slike lagringsmuligheter finnes ikke i dag. Det er lagt inn en kostnad til lagring i budsjettet, men per i dag savnes det et lager som kan ta hånd om de volumer som kreves etter mer enn 2-3 år. Det er ikke tatt med kostnader til å bygge et slikt lager/lagerrom i prosjektet. Som et alternativ til en langtidslagring av alle prøver kan man bruke en rullerende korttidslagring.

En korttidslagring på ett år er essensielt for å kunne gå tilbake til prøvene og validere uventede funn fra DNA-metastrekkoding, eller plukke ut individer for å lage strekkoder (referansesekvenser) der disse mangler. En slik lagring er mulig å gjennomføre ved å bruke tilgjengelig lagringskapasitet.

6.3. Miljø-DNA ved kartlegging og overvåking av fremmedfisk og lakseparasitten *Gyrodactylus salaris*

6.3.1. Innledning

Miljødirektoratet ser på muligheten for å benytte miljø-DNA-prøver for lettere identifikasjon av lakseparasitten *G. salaris* i forbindelse med tiltak mot parasitten, mens Mattilsynet har ansvaret for overvåkingen av parasitten. Det samles også inn miljø-DNA-prøver for å identifisere ulike fremmede fiskearter, spesielt i forbindelse med påvisning eller fravær av fremmede arter i ulike vannforekomster. For eksempel brukes miljø-DNA i stadig større grad ved oppfølging av tiltak, ved mistanke om at det er funnet en (fremmed) art. Det samme gjelder etterundersøkelser der en går inn i ettertid for å sjekke at f.eks. en fremmed art er forsvunnet etter tiltak.

Både tradisjonelle metoder med morfologisk bestemmelse og miljø-DNA benyttes, og erfaringen er at det kan være vanskelig å påvise at en art finnes eller ikke finnes i en vannforekomst, enten man bruker tradisjonelle metoder eller miljø-DNA. Ingen metoder dekker (så langt) fullt ut behovet når det bare finnes små forekomster av organismen man skal påvise, noe som ofte er tilfellet for fremmede arter når de har spredt seg til en ny vannforekomst. Ved store forekomster av arten er det lett å observere og identifisere ved tradisjonelle metoder og påvise ved miljø-DNA, mens det kan være vanskelig ved små forekomster med begge metoder. Man må være oppmerksom på en del forhold både ved bruk av miljø-DNA og tradisjonelle metoder. Det er viktig å lete på riktig sted til riktig tid. Det er forskjell på hvor mye DNA-spor organismene legger igjen; både mellom arter og mellom stadier i livsløpet til en og samme art. Uansett må de ha en viss tetthet for å kunne oppdages.

To eksempler kan illustrere at begge metoder har sine svakheter når arter med svært få eksemplarer skal påvises i en vannforekomst. Et eksempel med bruk av tradisjonelle metoder: For ca. 15 år siden fikk forvaltningen rapport om at det var fanget mort i et lite tjern i nærheten av Trondheimsfjorden. For å undersøke om dette stemte, ble tjernet «fylt med garn», men man fant ingen mort i garnene. Miljødirektoratet valgte å stole på rapporteringen og rotenon-behandlet tjernet. Etter behandling fløt det opp 4-5 mort. Altså var det mort i vannet, selv om de ikke ble oppdaget til tross for massivt garnfiske. Hvis man da hadde stolt på den tradisjonelle metoden med garnfiske og identifisering og ikke grepet inn så tidlig, kunne det gjort bekjempelse vanskelig. I dette tilfellet, som ligger noe tilbake i tid, ble det ikke forsøkt med DNA-basert metodikk, så vi vet ikke om man kunne ha oppdaget morten med den metodikken.

Et annet eksempel med bruk av miljø-DNA: Forvaltningen fikk for en del år siden beskjed om at det var innført mort i et tjern rett utenfor Røros. Miljødirektoratet fikk gjennomført en miljø-DNA-undersøkelse. De fikk ikke positivt treff med miljø-DNA, men andre fanget mort i tjernet. Det ble tatt nye prøver neste sommer, men ingen funn med miljø-DNA. Det ble likevel foretatt rotenonbehandling basert på rapportert forekomst. Etter behandlingen viste det seg at det var mort i tjernet.

Eksempler og utviklingsprosjekter

Som følge av blant annet disse erfaringene, og tidligere arbeid med miljø-DNA og fremmede ferskvannsfisk for Miljødirektoratet, ble det satt i gang et prosjekt med forskningsinstitusjonene NINA og NIVA for å gi en status for bruk av miljø-DNA i ferskvann.

Etter det første fellesprosjektet, ble NIVA tildelt et 3-årig oppfølgingsprosjekt for å videreutvikle metodikken. Gjennom prosjektet fant de blant annet at utvikling av gode primere er svært viktige/helt nødvendig for at miljø-

DNA skal fungere tilfredsstillende, og den genetiske strukturen for artene må være klarlagt. Det viste seg å være vanskelig for mange fremmede fiskearter. For noen av artene var det problematisk å finne riktige primere. I tillegg er det behov for å ha kunnskap for å ta prøver på riktig tid og riktig sted. For eksempel for å ta miljø-DNA-prøver for deteksjon av gjedde, bør man være på gyteplasser for gjedde om våren. En del av prosjektet går ut på å koble biologiske faktorer inn i analysen, men også utvikle og standardisere de tekniske forholdene ved prøvetaking og -behandling (f.eks. hvordan filtrere; hvilket filter, hvor mange liter, hvordan sikre unngått krysskontaminering osv.). Dette er viktig å få på plass for å sikre standardiserte prøvetakingsteknikker og kunne bruke metoden i overvåking.

For overvåking er miljø-DNA foreløpig et supplement til tradisjonelle metoder. Det er stor interesse for å ta i bruk miljø-DNA bl.a. hos statsforvalterne. Miljødirektoratet ser at det trengs mer utvikling før miljø-DNA kan tas i bruk og eventuelt erstatte tradisjonell overvåking. Miljø-DNA brukes derfor i første rekke knyttet til å måle effekt av tiltak, og som supplerende overvåking. Det er også behov for å teste og sammenligne metodene, og i Miljødirektoratets regi gjennomføres det derfor en del piloter med bruk av miljø-DNA parallelt med undersøkelser med tradisjonelle metoder.

Det gjennomføres f.eks. forsøk i laksevassdraget Driva som er behandlet med rotenon mot *G. salaris*. Da fisketrappen i vassdraget ble stengt, var meningen at all laks – og dermed lakseparasitten - skulle forsvinne på oversiden av sperren. Ørret skulle tas opp og settes ut på oversiden og formere seg naturlig der. For å følge med på om tiltaket fungerer etter hensikten gjennomføres overvåking oppstrøms sperren i perioden 2017 til 2022. NINA gjør tradisjonell overvåking av lakseunger ovenfor sperren. På samme stasjon gjennomføres miljø-DNA-analyse for *G. salaris* på henholdsvis laks og ørret. På denne måten håper man å få erfaring med likheter og forskjeller, og styrker og svakheter, ved de ulike metodene. Man håper at begge metoder skal vise at det verken er laks eller *G. salaris* på oversiden av sperren.

Også i Drammensvassdraget gjennomføres det både tradisjonell overvåking og overvåking ved bruk av miljø-DNA etter gjennomførte tiltak for å sjekke at laksen forsvinner som planlagt ovenfor Hellefoss. For den regionale fremmedfisker gjedde i Telemarkskanalen, gjennomføres det overvåking med bruk av miljø-DNA i buffersonen.

Det gjennomføres også omfattende miljø-DNA-undersøkelser etter regionalt fremmed ørekyte på Hardangervidda, der det er etablert buffersoner for å hindre at ørekyte overføres til vestsiden av vannskillet.

Det gjennomføres/er gjennomført også enkeltprosjekter, for eksempel for å finne regionalt fremmed mort på Røros. I vannene i bymarka i Trondheim tok man miljø-DNA-prøver av vannene før og etter behandling for å bekjempe morten. Overvåkingen ble kombinert med utsetting. Dermed kunne man undersøke om et visst antall fisk i et vann var nok til å oppdage dem ved analyse av miljø-DNA-prøver. Slike pilot- og uttestingsprosjekter er viktige for å utvikle metodikken og for å sammenligne ulike metoder.

Fortsatt behov for utvikling og standardisering av metoder

I forbindelse med utviklingsprosjektet som gjennomføres av NIVA, er hensikten at det skal utvikle og forbedre et system for bruk av miljø-DNA for kartlegging (sikker identifikasjon) og overvåking for flere fremmede fiskearter. Miljømyndighetene ønsker overvåking og kontroll over alle eksotiske fremmede arter, samt svartelistede arter. Disse inkluderer regionalt fremmede arter som naturlig er utbredt i deler av Norge, men som er i stor spredning til andre deler av landet, som gjedde, mort og ørekyte.

Dette feltet er i stadig utvikling, og mye har skjedd i løpet av tre år i utviklingsprosjektet. Det antas at det nærmer seg det stadium der man kan si at det foreligger et system som er så godt både med hensyn til primere, opplegg for prøvetaking, analyser osv. at myndighetene kan gå over til overvåking med DNA-basert metodikk.

Fordeler (nyttevirkninger) av DNA-basert metodikk

De viktigste fordelene med bruk av DNA-basert metodikk sammenlignet med mer tradisjonelle (morfologiske) metoder på dette området er først og fremst at det er enkelt. Det tas bare en vannprøve som filtreres i felt eller eventuelt i laboratoriet, så får man svaret på om DNA fra arten finnes i prøven eller ei. Det gjør at innhenting av prøver kan settes bort til lokale foreninger (f.eks. Jeger- og fiskerforeninger), som så kan sende prøven til egnet laboratorium. Det er effektivt, enkelt og dermed billig. Mange områder der det skal tas prøver, kan være vanskelig tilgjengelig og langt fra institusjonen som skal samle inn prøven. Ved innhenting av vannprøver, behøver ikke forskeren oppsøke lokaliteten, men prøven kan tas av en lokal forening, SNO-ansatte eller andre som ferdes i området. Dermed reduseres kostnadene til innsamling av materiale.

Man kan også tenke seg å bruke droner for innsamling av prøver, det skjer en rivende utvikling på det feltet. En annen mulighet som er lansert, er å lage spesialutstyrte båter. Dette kan også bidra til å redusere kostnadene til prøvetaking på sikt, og det kan gi mulighet til hyppigere innsamling av prøver. Slik utvikling og utprøving av ny teknologi vil ha en kostnad i første omgang, men kan i neste omgang redusere kostnadene til prøvetaking, og også skape det som er kalt «teknologiske spin-offs» som kan ha verdi i flere sammenhenger enn innsamling av miljø-DNA-prøver.

Når det gjelder *G. salaris*, er det ved tradisjonelle metoder en risiko for spredning av parasitten når folk og fiskeutstyr flyttes fra en infisert elv til en uinfisert for å fiske og ta prøver. Når det bare skal tas vannprøver til analyse av miljø-DNA, unngår man smittefaren.

Ulemper (kostnadsvirkninger) og utfordringer ved bruk av DNA-basert metodikk

En ulempe ved å benytte DNA-basert metodikk per i dag er at det er forbundet med usikkerhet så lenge metodene ikke er mer uttestet og standardiserte. Myndighetene er bekymret både for falske positive og falske negative prøvesvar. Hvis myndighetene gjennomfører tiltak basert på en «falsk positiv prøve», gjennomføres kostbare tiltak som i tillegg kan påvirke det biologiske mangfoldet for å løse et problem som ikke var der.

En annen ulempe er at analyse av særlig miljø-DNA kan gi uklare svar. Det samme kan de tradisjonelle metodene, men det kan likevel stilles spørsmålstegn ved hvor effektivt analyse av miljø-DNA er i noen sammenhenger. Det har sammenheng med at selv for godt kjente fremmede fiskearter gir ikke analyse av miljø-DNA per i dag 100% sikre svar på om det er den arten man søker som finnes, eller om det er en annen organisme med lik DNA-variasjon i den delen av genet (gensekvensen) som undersøkes. Dette vil imidlertid kunne løses ved videre utvikling av metoden og prioritering av arbeidet med referansebibliotek for arter.

Det er dessuten viktig med gode rutiner og protokoller, og at arbeidsoperasjonene gjøres etter boka, da man ellers kan få krysskontaminering mellom vannprøver fra ulike steder. Dette må anses som «barnesykdommer», og det må utarbeides prosedyrer for å standardisere prosessen og unngå uheldige situasjoner.

Når det gjelder sikkerheten i resultater fra overvåking ved bruk av DNA-basert metodikk, skjer det kontinuerlig utvikling. Det har også blitt bedre samarbeid mellom biologer og de som står for den tekniske biten av analysen blant annet om hvor og når prøver skal tas.

Det er kjent hva det koster med tradisjonell overvåking på Hardangervidda. Det er et stort område og mange, spredte vannforekomster. Man vil trolig få mer overvåking av samme budsjett med miljø-DNA. Mye overvåking er imidlertid avhengig av at man samtidig måler andre faktorer, f.eks. temperatur, vannkvalitet, mv. Hvis man må oppsøke hver vannforekomst for å få slike målinger, kan det være like hensiktsmessig å undersøke fiskearter også med tradisjonelle metoder.

6.3.2. Eksempelberegning – overvåking av *G. salaris* og påvisning av fremmed fisk

I de to følgende eksemplene viser vi hvilke oppgaver og medfølgende kostnader som er forbundet med henholdsvis tradisjonell overvåking/påvisning av *G. salaris* og fremmed fisk ved bruk av henholdsvis tradisjonell overvåking og overvåking der man benytte miljø-DNA. Tabell 6.3. og tabell 6.4. gir en oversikt over kostnadspostene i de to casene.

I begge tilfeller må teknikere til vassdraget og ta ut prøver, enten det er prøver av fisk med *G. salaris* for morfologisk identifikasjon eller miljø-DNA, men det tar normalt kortere tid å ta ut vannprøver enn å fiske. I etterkant av prøvetaking undersøkes prøvene enten ved morfologisk artsbestemmelse av teknikeren og/eller forsker, eller ved å teste vannprøven for DNA fra *G. salaris*. Prøven lagres for ettertiden, enten i form av *G. salaris* på etanol, eller i form av miljø-DNA-prøver i fryser med -80 grader C.

Det første eksempelet med overvåking av *G. salaris* (jf. tabell 6.3) gjelder innhenting av materiale i 22 lokaliteter for påvirkning av eventuell forekomst av *G. salaris*. Det er den tradisjonelle metoden som kommer ut som den billigste i dette tilfellet. Selv om det spares noe tid og kostnader til feltarbeid ved den DNA-baserte metodikken, må det gjennomføres DNA-strekkoding for alle de 22 lokalitetene, og kostnadene ved disse blir såpass høye at den tradisjonelle metoden blir noe billigere. Dersom kostnadene til DNA-analyser går ned, kan DNA-basert metodikk bli økonomisk gunstigere.

For eksempelet med påvisning av fremmedfisk i fem lokaliteter (jf. tabell 6.4) er det DNA-basert metodikk som kommer ut som den økonomisk gunstigste. I dette tilfellet spares også tid til feltarbeid, og kostnadene til DNA-strekkoding er relativt lave.

Det må understrekes at dette er eksempler og eksempelberegninger, og kan ikke sees som typiske eller som gjennomsnittskostnader for denne typen undersøkelser. Kostnadene vil f.eks. avhenge mye av hvor mange prøver som skal tas og hvor ofte man må ut for å ta disse prøvene, hvor lang tid en forsker eller tekniker bruker på å komme seg til stedet og få tatt prøven osv. Videre vil kostnadene ved bruk av miljø-DNA i overvåking og kartlegging også avhenge av hvor mange og hvor ofte prøver skal tas, om forsker eller tekniker må ta disse prøvene eller om de eventuelt må ut for å ta andre prøver samme sted, selv om de ikke behøver samle inn miljø-DNA-prøvene, osv. I tillegg er kostnaden for DNA-analyser fortsatt ganske høye, særlig dersom det skal gjennomføres DNA-metastrekkoding, det vil si at det er flere (mange) arter som skal undersøkes i hver prøve. Dersom det bare er en enkel test for en art, er DNA-analysekostnaden adskillig lavere. Men det tas vanligvis en DNA-analyse av hver prøve, og det innebærer at dersom det tas mange prøver blir det også mange prøver til DNA-analyse og dermed høyere kostnader.

Tabell 6.3. Eksempel på oppgaver og kostnader ved påvisning/overvåking av *G. salaris* ved tradisjonell overvåking og miljø-DNA-overvåking. Tallene gjelder innsamling og bearbeiding av prøver ett år for 22 lokaliteter.

Tradisjonell metode			Miljø-DNA-metode	
Case	Tradisjonell overvåking med elfiskeapparat og innsamling av lakseunger i felt, telling av fastsittende <i>G. salaris</i> på hver unge under lupe på lab		Miljø-DNA overvåking - filtrering av vannprøver i felt, med ddPCR-analyse på lab	
Resultat	Antall <i>G. salaris</i> per fisk		Konsentrasjon av <i>G. salaris</i> -DNA i vannet	
Antall lokaliteter	22		22	
Aktivitet	Beskrivelse/omfang	Kostnad, kroner ⁷	Beskrivelse/omfang	Kostnad, kroner
Administrative kostnader				
Etablering av lokaliteter		0		0
Kjøp av nødvendig utstyr	Elfiskeutstyr	Ikke inkludert	Vannfilter og pumpe	Ikke inkludert
Feltarbeid	5 dagsverk med 2 teknikere = 10 dagsverk ⁸	406 kr/t*80t = 32 500 kr	2 dagsverk med 2 teknikere = 4 dagsverk	406 kr/t*32 t = 13000 kr
Lab-arbeid	1 dagsverk med tekniker	406 kr/t*8t = 3250 kr	0	
DNA-analyser		0	22 prøver; kr 1500 per prøve	33 000 kr
Antall reiser til lokalitet	1	200 km* 4kr/km= 800 kr	1	200 km* 4kr/km= 800 kr
Lagring	Lagring av lakseunger på etanol	Ikke inkludert	Lagring av DNA-ekstrakter i -80C fryser	Ikke inkludert
Sum		36 550 +*		46 800 +*

* Kostnader til henholdsvis elfiskeutstyr og vannfilter og pumpe, samt eventuell lagring er ikke inkludert i kostnadsanslaget.

⁷ Basert på gjennomsnittlig månedslønn i 2020 for ansatte innen privat sektor og offentlige eide foretak henholdsvis med universitets- eller høyskoleutdannelse på høyere nivå som utfører forskning og utviklingsarbeid (taksonomer/forskere) eller på videregående nivå (teknikere) (SSB kildetabell 11420). Vi legger til 25 prosent sosiale kostnader. Dette gir en total månedskostnad på henholdsvis nesten 86 500 kroner for taksonomer/forskere og 65 000, som vi deler på 160 timer for å finne timekostnaden. Timekostnad blir da henholdsvis (avrundet): 540 og 406 kr/time.

⁸ 1 dagsverk = 8 timer

Tabell 6.4. Eksempel på oppgaver og kostnader ved påvisning av fremmed fisk ved tradisjonell overvåking og miljø-DNA-overvåking. Tallene gjelder innsamling og bearbeiding av prøver ett år på fem lokaliteter.

Tradisjonell metode			Miljø-DNA-metode	
Case	Tradisjonell overvåking - garnfiske med 3 garnnetter		Miljø-DNA overvåking - filtrering av vannprøver i felt med qPCR-analyse på lab	
Resultat	Påvisning av fremmede fiskeart		Påvisning av fremmede fiskeart	
Antall lokaliteter	5		5	
Aktivitet	Beskrivelse/omfang	Kostnad, kroner	Beskrivelse/omfang	Kostnad, kroner
Administrative kostnader		0		0
Etablering av lokaliteter		0		0
Kjøp av nødvendig utstyr	Garn, leie av båt	Ikke inkludert	Vannfilter og pumpe	Ikke inkludert
Feltarbeid	4 dagsverk med 2 teknikere = 8 dagsverk; krever overnatting ved lang avstand fra bolig	406 kr/t*8 t = 32480 kr	1 dagsverk med 1 tekniker = 1 dagsverk	406 kr/t*8 t = 3248 kr
Lab-arbeid	1 dagsverk med tekniker	3248	0	
DNA-analyser		0	5 prøver; kr 1500 per prøve	7 500 kr
Antall reiser til lokalitet	1 ved overnatting, eller 4 ved kort avstand til bolig	4*200 km*4kr/km = 3 200 kr	1	800 kr
Lagring	Evt. lagring av fisk på frys	Ikke inkludert	Lagring av DNA-ekstrakter i -80 frys	Ikke inkludert
Sum		Ca. kr 39 000 +*		Ca. kr 11 500 +*

* Kostnader til garn, leie av båt, vannfilter og pumpe, samt eventuell lagring er ikke inkludert i kostnadsanslaget.

6.4. Miljø-DNA ved overvåking etter vannforskriften

6.4.1. Innledning

Heller ikke for overvåking knyttet til vannforskriften skjer noe av den rutinemessige overvåkingen med bruk av miljø-DNA. Men det gjennomføres utviklingsprosjekter, både i Norge og i EU, blant annet knyttet til EUs vannrammedirektiv.

Det er to ulike tilnærminger til utvikling av miljø-DNA i vann. Man kan ta prøven på tradisjonell måte (f.eks. bunnprøve) og så artsbestemme prøven ved DNA-metastrekkoding i stedet for på tradisjonell måte å analysere morfologisk. Men det er størst forventning til at man i stedet for å ta ut tradisjonelle prøver f.eks. bunnprøver, kan ta vannprøver på lokalitetene som overvåkes og som vil inneholde DNA-rester av organismene (miljø-DNA). Prøvene bearbeides etter standard protokoller og sendes til DNA-analyse. Den sistnevnte metoden vil i størst grad endre prøvetakingspraksis og gi muligheter for effektivisering både av prøvetaking og artsbestemmelse. DNA-basert analyse er mer effektiv og mer presis enn den tradisjonelle metoden der taksonomiske eksperter bestemmer artene manuelt. Det foregår utviklingsarbeid, særlig for å få oversikt over hvilke dyregrupper man kan analysere ved å ta vannprøver, tidspunkt for når man kan ta prøver (det er ikke nødvendigvis like mye DNA i vannet fra ulike arter året rundt), hvor i innsjø man tar prøven; der organismen lever eller vil man fange opp DNA ved prøver lenger fra artens leveområde osv. I elver må man ta hensyn til at «alt renner nedover», man vet derfor ikke hvor DNA kommer fra hvis en tar en prøve ved elvens utløp. Det er også lite kunnskap om nedbrytingen av DNA i vann; hvilke faktorer som påvirker nedbryting og hvor fort det går. Det er derfor foreløpig usikkerhet knyttet til i hvor stor grad man kan få kvantitative resultater fra miljø-DNA i vannprøver, noe som for mange organismegrupper er vanskelig også ved tradisjonell prøvetaking. Det er godt håp om å få gode data på artssammensetning, og kanskje på relative mengder, men kvantitative resultater blir utfordrende ved bruk av miljø-DNA metoder fordi det er så mange faktorer som påvirker mengden av miljø-DNA i en vannprøve. Det

pågår mye utviklingsarbeid for å utvikle bruk av miljø-DNA-prøver i vann. Noen organismegrupper, f.eks. plankton, er det vanskelig å få DNA-fragmenter fra. Samtidig viser det seg at arter som er vanskelig å skille fra hverandre morfologisk, og som derfor ikke benyttes i overvåking etter vannforskriften i dag, enkelt kan skilles fra hverandre med miljø-DNA. I og med at man i dag har basert seg på arter som enkelt kan identifiseres morfologisk, vil det medføre et «skift» hvis man nå kan overvåke de nye artene som kanskje også er bedre indikatorarter for vanlige påvirkninger i vann.

Både tradisjonell overvåking og overvåking med miljø-DNA vil antagelig bli brukt fremover. Det er derfor viktig å vurdere hvor og i hvilke sammenhenger man kan bruke ulike metoder. Det kan være forskjeller mellom ulike dyregrupper og habitater. F.eks. kan det i elver være mer aktuelt med tradisjonell innhenting (og eventuelt analyse fordi man da har mer kontroll over hvor i vassdraget prøven (organismen) kommer fra. I en periode med uttesting krever det at man kjører dobbelt. Dette kan fordyre kartlegging og overvåking i en overgangsperiode, og man vil ha begrensede midler til slike sammenlignende undersøkelser. Samtidig er slike parallelle studier og sammenligninger viktige både for sammenligningens skyld og med tanke på «brudd» i tidsserier ved eventuell overgang til et annet prøvetakings- og analyseregime.

For indikatorarter man bruker knyttet til implementering av vanndirektivet ble det gjennomført et interkalibreringsprosjekt som skulle sammenligne klassifiseringsmetoder i ulike land, for å sikre at alle forstår miljømålene i direktivet på samme måte. Prosjektet viste at overvåkings- og klassifiseringsmetodene varierte mye mellom land, og det foregår fortsatt mye utviklingsarbeid, bl.a. med indikatorer for «god» og «moderat» tilstand osv. og indikatorarter for ulike typer påvirkning. Når det gjelder å ta i bruk miljø-DNA knyttet til oppfølging av vanndirektivet i de ulike land, er man opptatt av at det er brukt mye tid og ressurser på å utvikle indikatorarter som fungerer med dagens tradisjonelle metoder og det er en viss motstand mot å sette i gang et nytt omfattende interkalibreringsarbeid på indikatorer som baserer seg DNA-metoder. Med miljø-DNA kan det være andre arter som ville være mer hensiktsmessig å overvåke f.eks. fjærmygg, en kompleks gruppe av arter som er gode indikatorer for en del påvirkninger. Bruk av miljø-DNA kan bety at fjærmygg kan brukes fordi det vil være lettere å artsbestemme ulike fjærmyggarter ved hjelp av DNA-metastrekkoding. Prøvetakingen på store dyp i innsjøer kan også bli enklere dersom miljø-DNA er en egnet metode. Dette er ikke undersøkt, så man vet ikke om det ville fungere. Men eksempelet illustrerer at her er det stort potensiale for enklere, mer effektive og mindre ressurskrevende metoder, men også at det er mye forskning og utvikling som gjenstår.

Fortsatt utviklingsbehov

I tilfeller der det er viktig at metoden kan identifisere mange arter, og relative mengder av ulike arter, er miljø-DNA-metoder per i dag mindre egnet enn når problemstillingen er å gjenkjenne om én eller noen få arter er til stede, som f.eks. når man skal overvåke et vassdrag for spredning av en fremmed fiskeart. I beste fall kan man måle relative mengder av ulike arter, men det er fortsatt langt fram før man kan omsette innhold i miljø-DNA-prøver til antall kg fisk eller antall individer fisk i en vannforekomst. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på at også de tradisjonelle metodene har begrensninger når det gjelder å fastslå kvantitative sammenhenger. I hvilken grad man kan si noe kvantitativt kan også avhenge av hvilke innsamlingsmetoder som benyttes. Dersom prøvene samles inn på samme måte som tradisjonelle prøver (f.eks. i form av bunnprøver), som analyseres med DNA-metastrekkoding, vil man få mer kvantitative resultater enn ved å samle inn vannprøver, der artene kan befinne seg på ulike steder i vannforekomsten. NINA og NIVA har utviklet egne prøvetakingsprosedyrer for hvordan slike prøver skal tas, der blant annet hvor og når prøvene tas er vesentlig. Slike standard prosedyrer er viktig, ikke minst for å kunne sammenligne prøver mellom ulike områder, over tid, osv.

Fordeler (nytte) med DNA-basert metodikk og miljø-DNA

En stor fordel vil være mulighet for enklere prøvetaking og sikrere artsbestemmelse. Hvis man får ryddet av veien utfordringen med at man per i dag ikke har gode nok analysemetoder til å gjenkjenne alle arter som man ønsker å påvise, er det et stort potensial for mer effektiv og bedre kartlegging og overvåking.

Hvis man kjører en genetisk analyse og har referansesekvenser for de artene man er interessert i, vil man kunne bestemme mange flere arter enn det vi gjør i dag. Det er veldig mange ferskvannsarter, blant annet insektarter, som er vanskelige å bestemme taksonomisk/morfologisk, men som kan gjenkjennes via DNA. I denne sammenheng er utvikling og utvidelse av kvalitetssikrede referansedatabaser svært viktige.

Ulemper (kostnader) med DNA-basert metodikk og miljø-DNA

En av de største ulempene per i dag er at det fortsatt er usikkerhet med hensyn til genetikk og analyse (gjenkjennelse) av arter. Det er langt fram før vi eventuelt kan få kvantitative resultater fra analyse av miljø-DNA-prøver.

På sikt vil prøvetaking og analyse gjøres mer effektiv ved DNA-basert metodikk, noe som vil være en kostnadsmessig fordel ved å bruke miljø-DNA. Man kan dermed ta flere prøver flere steder, flere prøver per år – generelt flere prøver til samme kostnad - og det vil gi et bedre kunnskapsgrunnlag. Men i en viss periode nå må både tradisjonelle og DNA-baserte prøvetakingsmetoder benyttes parallelt som del av metodeutviklingen, noe som midlertidig vil øke kostnadene.

Lagring av materiale har vært en del av overvåkingsprogrammet, men det er ikke laget noe system for lagring, og det stilles ikke krav til lagring av miljø-DNA-prøver ved overvåking i dag. Lagring av prøver og analyseresultat er viktig. Det er et spørsmål om bare selve eksemplaret av arten skal lagres eller også DNA-sekvenser. Det vil avgjøres av norske myndigheter, men det foregår mye samarbeid internasjonalt for standardisering.

Spørsmålet er hva som skal skje ved eventuell overgang til miljø-DNA i overvåkingen. På noen områder, for eksempel elveovervåking vil det antagelig være nødvendig å bruke tradisjonelle metoder for prøvetaking da et tiltak vil være avhengig av fysisk identifikasjon av eksemplarer av arten på stedet. Men det kan hende at man henter inn prøver automatisk. Man kan også tenke seg at det samles inn *G. salaris*-prøver fra vannet automatisk med jevne mellomrom (eller kontinuerlig) som analyseres og som gir alarmsignal dersom det oppdages en *G. salaris*-DNA-sekvens i prøven. Det er mange muligheter for å tenke mer automatisering, men det kreves en del ressurser til utvikling før samfunnet kan høste disse fordelene.

I overvåking er man opptatt av lange tidsserier for å kunne følge med på utvikling over tid. Ved overgang til miljø-DNA-basert overvåking starter man en ny serie, som etter hvert kan bli lang. Hvis nye serier erstatter gamle, vil overlapp og mulighet for å følge de samme organismegruppene blant annet være avhengig av om man velger å overvåke de samme gruppene ved miljø-DNA-basert overvåking som ved tradisjonell overvåking. Det er ikke gitt at det er hensiktsmessig, som vi var inne på ovenfor. Men det vil være ønskelig og mulig å lage en overgang slik at man kan følge utviklingen.

6.4.2. Eksempelberegning

I eksempelberegningen nedenfor viser vi hvilke oppgaver og medfølgende kostnader som er forbundet med å ta prøver av bunndyr i elv for utregning av den såkalte ASPT-indeksen som ledd i overvåking etter vannforskriften, ved bruk av henholdsvis tradisjonell prøvetaking og bruk av miljø-DNA-metode.

Tabell 6.5 gir en oversikt over kostnadspostene i dette caset. Dette er bare en av flere tester og indekser som inngår i overvåkingsprogrammet, men er en del av overvåkingen der miljø-DNA kan benyttes per i dag, og der man har erfaring med å ta i bruk denne metoden.

Både ved tradisjonell og miljø-DNA-prøvetaking må teknikker til vassdraget og ta ut bunnprøve. I etterkant av prøvetakingen undersøkes prøvene enten ved morfologisk artsbestemmelse av teknikker og/eller forsker, eller ved analysere miljø-DNA-prøven. Prøven lagres for ettertiden, enten i form av bunndyr på etanol eller hele sparkeprøven av bunnsedimentet på etanol. I dette tilfellet er det lagt opp til at innhenting av prøven er like arbeids- og kostnadskrevende enten det er tradisjonell metode eller miljø-DNA-metode som benyttes. Det er antatt to dagsverk på laboratoriet for morfologisk bestemmelse. Det vil si relativt lite omfattende arbeid, blant annet fordi det er de samme artene som skal finnes i prøven, og en ikke skal bestemme «alle» arter som finnes der (i motsetning til formålet f.eks. med insektovervåkingen, beskrevet i kapittel 6.2). Prisene på DNA-metastrekkoding kan variere, og vil ha stor betydning, særlig når det er mange prøver som skal DNA-analyseres.

Det må igjen understrekes at dette er eksempler og eksempelberegninger, og kan ikke sees som typiske eller gjennomsnittskostnader for denne typen undersøkelser. Kostnadene vil f.eks. avhenge mye av hvor mange prøver som skal tas og hvor ofte man må ut for å ta disse prøvene, hvor lang tid forsker eller teknikker bruker på å komme seg til stedet og få tatt prøven osv. Videre vil kostnadene for miljø-DNA-metodene også avhenge av hvor mange og hvor ofte prøver skal tas, om forsker/tekniker må ta disse prøvene eller om de eventuelt må ut for å ta andre prøver samme sted, selv om de ikke behøver samle inn miljø-DNA-prøvene, osv. I tillegg er kostnaden for DNA-analyser fortsatt ganske høye, særlig dersom det skal gjennomføres DNA-metastrekkoding, det vil si at det er flere (mange) arter som skal undersøkes i hver prøve. Dersom det bare er en enkel test av en art, er DNA-analysekostnaden adskillig lavere. Men det tas vanligvis en DNA-analyse av hver prøve, og det innebærer at dersom det tas mange prøver, blir det også mange prøver til DNA-analyse og dermed høyere kostnader.

Et viktig forhold å ta med i vurderingen og sammenligningen, er at mens en taksonom typisk kun artsbestemmer visse grupper som inngår i denne indeksen, vil miljø-DNA-resultatene inkludere artsbestemmelse for potensielt alle bunndyr. Man får altså mye mer informasjon ved bruk av miljø-DNA.

Tabell 6.5. Eksempel på oppgaver og kostnader ved kartlegging av bunndyr i elv (ASPT-indeksen) etter vannforskriften ved tradisjonell metode og miljø-DNA-metode. Tallene gjelder innsamling og bearbeiding av prøver ett år fra fem lokaliteter.

Tradisjonell metode			Miljø-DNA-metode	
Case	Tradisjonell overvåking - sparkeprøve i felt med morfologisk bestemmelse av dyr		Miljø-DNA - vannprøve med DNA-metastrekkoding	
Resultat	Artslister, ASPT-indeks		Artslister, ASPT-indeks	
Antall lokaliteter	5		5	
Aktivitet	Beskrivelse/omfang	Kostnad, kroner	Beskrivelse/omfang	Kostnad, kroner
Administrative kostnader		0		0
Etablering av lokaliteter		0		0
Kjøp av nødvendig utstyr	Håv	Ikke inkludert	Vannfilter og pumpe	Ikke inkludert
Feltarbeid	1 dagsverk med tekniker	406 kr/t*8t = 3248 kr	1 dagsverk med tekniker	406kr/t *8t= 3248 kr
Lab-arbeid	2 dagsverk med tekniker/taksonom	(406kr/t+540 kr/t)/2*16t = 7570 kr	0	
DNA-analyser		0	5 prøver; kr 3500 per prøve	17500 kr
Antall reiser til lokalitet	1	200km*4 kr/km= 800 kr	1	200km*4 kr/km= 800 kr
Lagring	Lagring av bunndyr på etanol	Ikke inkludert	Lagring av sparkeprøve på etanol	Ikke inkludert
Sum		Ca. 11 600 kr+*		Ca. 21 500 kr+*

* Kostnader til håv, vannfilter og pumpe, samt eventuell lagring er ikke inkludert i kostnadsanslaget.

7. Referanser

Aanesen, M., C. Armstrong, M. Czajkowski, J. Falk-Petersen, N. Hanley og S. Navrud (2015): Willingness to pay for unfamiliar public goods: Preserving cold-water corals in Norway. *Ecological Economics* 112; 53-67.

DFØ (2018): Veileder i samfunnsøkonomiske analyser. Direktoratet for økonomistyring.

Dunshea, Martell et al. (2021): Kunnskapsstatus for bruk av molekulære verktøy i kartlegging og overvåking av biologisk mangfold i marine miljø. M-2061 | 2021. Miljødirektoratet.

Finansdepartementet (2021): Retningslinjer for gjennomføring av samfunnsøkonomiske analyser, R-109/2021. Finansdepartementet.

Finstad et al. (2020): Kriterier for lagring av miljø-DNA-prøver og data, herunder henvisning til referansemateriale. M-1638 | 2020 Miljødirektoratet.

Fossøy, F., R. Sivertsgård, H. Brandsegg, Ø. Solum, K. Hindar og T.A. Moen (2019): Miljø-DNA som metode for overvåking av *Gyrodactylus salaris* og laks i Drivaregionen. NINA-rapport 1641. Norsk institutt for naturforskning.

Jacobsen, R.M., A. Endrestøl, K. Magnussen, F. Fossøy, F. Brandsegg, M. Davey, Ø.N. Handberg O. Hanssen, M.A.M. Majaneva, S. Navrud, A. Often, B.K. Sanderock, J. Åström (2020): Tidlig oppdagelse av nye fremmede arter i Norge. Uttesting og videreutvikling av overvåkingssystem for fremmede terrestriske karplanter og insekter. NINA Rapport 1729. Norsk institutt for vannforskning.

Krutilla, J.V. (1967): Conservation reconsidered. *American Economic Review* 57 (4):77-86.

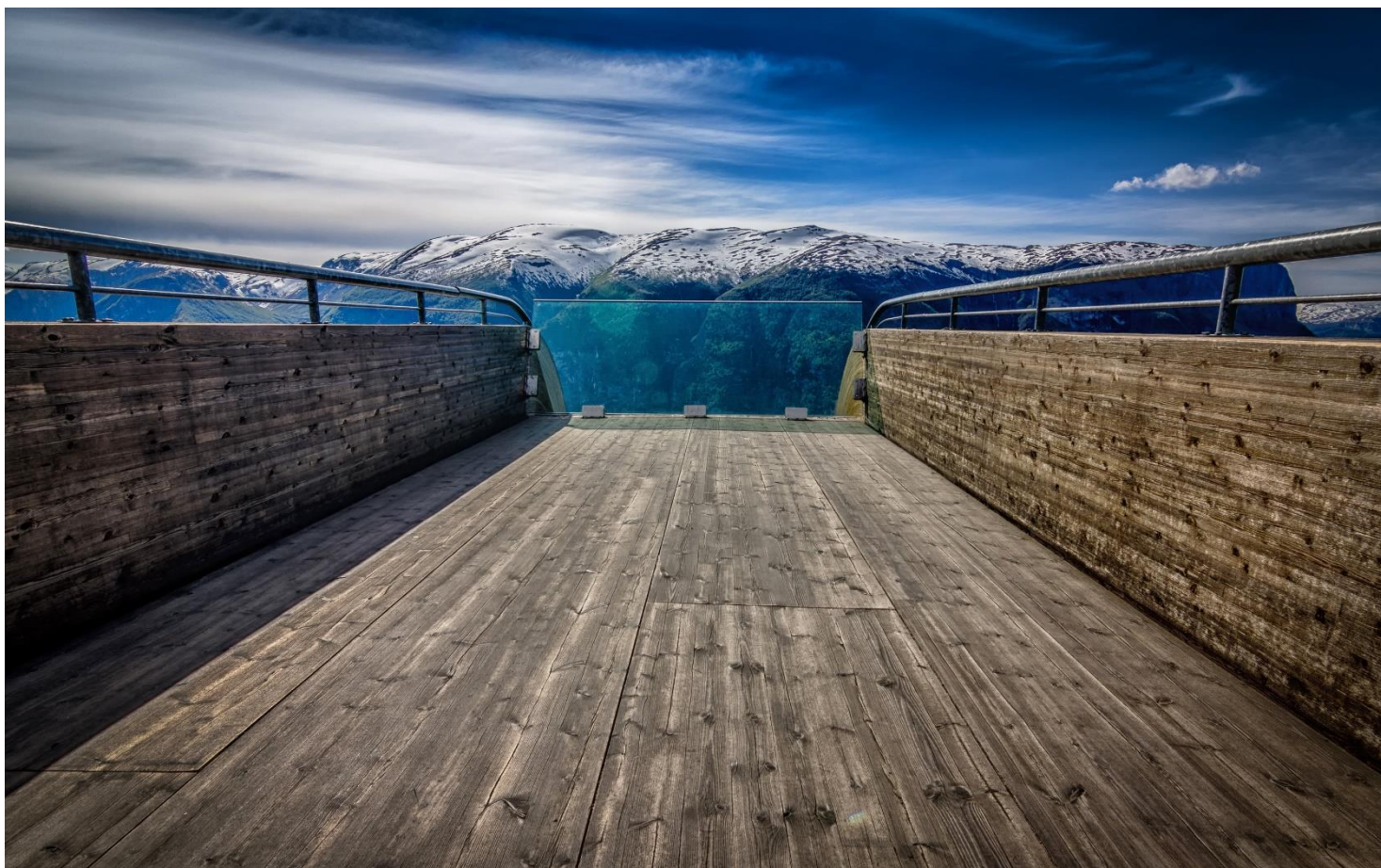
NOU 2013: Naturens goder: om verdier av økosystemtjenester. NOU 2013:10.

Runge, M.C., S.J. Converse og J.E. Lyons (2011): "Which uncertainty? Using expert elicitation and expected value of information to design an adaptive program. *Biological Conservation* 144 (4). Elsevier. Ltd. 1214-1223.

Stigler, G.J. (1961): The Economics of Information. *Journal of Political Economy* 69 (3): 213-25.

Åström, J., T. Birkemoe, T. Ekrem, A. Endrestøl, F. Fossøy, A. Sverdrup-Thygesen, F. Ødegaard (2019): Nasjonal overvåking av insekter. Behovsanalyse og forslag til overvåkingsprosjekt. NINA-rapport. Norsk institutt for naturforskning.

Åström, J., T. Birkemoe, S. Dahle, M. Davey, T. Ekrem, A. Endrestøl, F. Fossøy, Ø.N. Handberg, O. Hanssen, K. Magnussen, M.A.M. Majaneva, S. Navrud, A. Staverløkk, A. Sverdrup-Thygesen, F. Ødegaard (2020): Forslag til nasjonal insektovervåking. Erfaringer fra et pilotforsøk, samt en nyttekostnadsanalyse. NINA Rapport 1725.



Menon Economics analyserer økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, organisasjoner og myndigheter. Vi er et medarbeidereiet konsultentselskap som opererer i grenseflatene mellom økonomi, politikk og marked. Menon kombinerer samfunns- og bedriftsøkonomisk kompetanse innenfor fagfelt som samfunnsøkonomisk lønnsomhet, verdsetting, nærings- og konkurranseøkonomi, strategi, finans og organisasjonsdesign. Vi benytter forskningsbaserte metoder i våre analyser og jobber tett med ledende akademiske miljøer innenfor de fleste fagfelt. Alle offentlige rapporter fra Menon er tilgjengelige på vår hjemmeside www.menon.no.

+47 909 90 102 | post@menon.no | Sørkedalsveien 10 B, 0369 Oslo | menon.no