

Automatisk posisjonering av akustisk merket smolt i tre dimensjoner

Utprøving og evaluering i Mandalsvassdraget

Karl Øystein Gjelland
Henrik Baktoft
Finn Økland
Richard Hedger
Torbjørn Forseth



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

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

Automatisk posisjonering av akustisk merket smolt i tre dimensjoner

Utprøving og evaluering i Mandalsvassdraget

Karl Øystein Gjelland
Henrik Baktoft
Finn Økland
Richard Hedger
Torbjørn Forseth

Gjelland, K.Ø., Baktoft, H., Økland, F., Hedger, R. & Forseth, T.
2014. Automatisk posisjonering av akustisk merket smolt i tre di-
mensjoner – utprøving og evaluering i Mandalsvassdraget. - NINA
Rapport 1072. 16 s.

Lillehammer, september 2014

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2690-5

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Torbjørn Forseth

KVALITETSSIKRET AV

Jon Museth

ANSVARLIG SIGNATUR

Jon Museth (sign.)

BIDRAGSYTERE

Norges forskningsråd og CEDREN-prosjektet SafePass.

FORSIDEBILDE

Fra 3D riggen i Mannflåvann (foto: Finn Økland)

NØKKEWORD

- Mandalsvassdraget, Marnardal, Vest-Agder
- laksefisk, smolt
- Metodeutvikling, programvareutvikling
- Telemetri, hydroakustikk

KEY WORDS

- River Mandal, Vest-Agder county
- Salmonid fishes, smolts
- Method development, programming
- Telemetry, hydroacoustics

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen
7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Framsenteret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Fakkeldgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Gjelland, K.Ø., Baktoft, H., Økland, F., Hedger, R. & Forseth, T. 2014. Automatisk posisjonering av akustisk merket smolt i tre dimensjoner – utprøving og evaluering i Mandalsvassdraget. - NINA Rapport 1072. 16 s.

Et nytt system som kan gi tredimensjonal (3D) posisjonering av smolt ved hjelp av trådløs akustisk telemetri ble utprøvd og evaluert i Mandalsvassdraget sommeren 2014. I forsøkene ble signaler fra akustiske merker logget i et system med fastmonterte trådløse hydrofoner i kubiske arrangement. Det ble gjennomført forsøk både i Mannflåvann (optimalt oppsett) og to forsøk ved inntaket til Laudal kraftverk (et mer utfordrende oppsett).

Merkene ble i begge oppsettene 3D-posisjonert med høy presisjon (verifisert med høyoppløselig GPS) og effektivitet (andel signal som ga en posisjon). Bevegelsen til merker som ble slept gjennom oppsettene ble også 3D-lokalisert med høy presisjon. Det utviklede analyseverktøyet (YAPS, skrevet i statistikkprogrammet R) var godt egnet til tredimensjonal posisjonering, og fungerte bedre enn kommersielt tilgjengelig programvare for todimensjonal posisjonering.

Resultatene fra utprøvingen viste at 3D posisjonering av smolt merket med små akustiske sendere kan gjennomføres ved hjelp av frittstående, trådløse akustiske loggere. Dette har tidligere ikke vært mulig, fordi akustiske merker med dybdesensorer er for store til å brukes på smolt. Med det utviklede verktøyet er det mulig å spore merket fisk med høy presisjon (<1 m) i tre dimensjoner ved inntaksrista til Laudal kraftverk og i andre lignende lokaliteter. 3D-metodikken kan kombineres med 2D-sporing som kan dekke et mye større areal. For framtidig sporing av nedvandrende smolt i Mandalselva anbefales det derfor en kombinasjon av detaljert 3D sporing rett foran tunnelinntaket og 2D-sporing som dekker hele elvetverrsnittet.

Karl Øystein Gjelland: Norsk institutt for naturforskning, Framsenteret, 9296 Tromsø. Epost: Karl.Gjelland@nina.no

Henrik Baktoft: DTU Aqua, Technical University of Denmark, Vejlsøvej 39, 8600 Silkeborg, Danmark

Finn Økland & Richard Hedger: Norsk institutt for naturforskning, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Torbjørn Forseth: Norsk institutt for naturforskning, Fakkeldgården, 2624 Lillehammer

Abstract

Gjelland, K.Ø., Baktoft, H., Økland, F., Hedger, R. & Forseth, T. 2014. Evaluation of a new three dimensional positioning system for salmonid smolts tagged with small acoustic tags. - NINA Rapport 1072. 16 p.

A new system developed for three-dimensional tracking of salmonid smolts using wireless acoustic telemetry was tested and evaluated in the River Mandal watercourse in southern Norway during summer 2014. Signals from acoustic tags were monitored on an array of wireless hydrophones in cubic arrangements in two localities - in an ideal setting (in terms of turbulence and potential echoes from the surroundings) in the lake Mannflå and a more challenging setting in front of the hydropower intake to Laudal hydropower plant (with dynamic velocity patterns and concrete walls).

At both sites tags were 3D-positioned with high precision (verified with high resolution GPS positioning) and high efficiency (the percentage of transmitted signals that resulted in successful positioning). The trajectories of tags dragged through the setups were also recorded accurately. The developed data analysis system (YAPS, scripted in the statistical software R) showed successful performance for 3D-positioning and outperformed the commercially available software for 2D-positioning.

The present study showed that salmonid smolts can be tracked with sub meter accuracy by a wireless acoustic telemetry system in 3D. Previous systems needed depth sensors in the tag making the tags too large to be attached to wild salmon smolts. The study also showed that detailed 3D-tracking in the vicinity of hydropower structures (e.g. hydropower intakes and trashracks) can be combined with 2D-tracking covering the whole river transect.

Karl Øystein Gjelland: Norwegian Institute for Nature Research, Framsenteret, N-9296 Tromsø, Norway. Email: Karl.Gjelland@nina.no

Henrik Baktoft: DTU Aqua, Technical University of Denmark, Vejlsøvej 39, DK8600 Silkeborg, Denmark

Finn Økland & Richard Hedger: Norwegian Institute for Nature Research, P.O. box 5685 Sluppen, N-7485 Trondheim, Norway

Torbjørn Forseth: Norwegian Institute for Nature Research, Fakkeltgården, N-2624 Lillehammer, Norway

Innhold

Sammendrag.....	3
Abstract.....	4
Innhold	5
Forord.....	6
1 Innledning.....	7
2 Metoder.....	8
3 Resultater	9
3.1 Forsøk med rigg i Mannflåvann.....	9
3.2 Forsøk foran tunellinntak Laudal kraftverk	11
4 Diskusjon.....	14
5 Konklusjon	15
6 Referanser	16

Forord

Gjennom støtte til forskningsinfrastruktur fra Norskes forskningsråd til CEDREN (Centre for Environmental Design of Renewable Energy) med NINA som vertsinstitusjon, fikk vi våren 2014 midler til å kjøpe inn, utprøve og evaluere et tredimensjonalt (3D) posisjoneringssystem som kunne brukes til posisjonering av smolt av laksefisk. Et slikt utstyr vil være viktig i arbeidet med å utvikle vandringsløsninger forbi vannkraftsinstallasjoner i norske vassdrag. Det ble kjøpt et system basert på hydroakustiske fiskemerker (lydmerker) som er små nok til å bruke på smolt og et sett av hydrofoner (lyttebøyer). Det er en betydelig utfordring å posisjonere så små merker i tre dimensjoner, og særlig er databehandlingen utfordrende. Det ble derfor etablert et samarbeid med Danmarks Tekniske Universitet ved Henrik Banktoft, som allerede hadde erfaring fra behandling av data fra 3D-oppsett.

Systemet ble testet ut i Mannflåvann og ved inntaket til Laudal kraftverk i Mandalsvassdraget og ble gjennomført som "kaldtester" uten fisk. Mandalsvassdraget ble valgt fordi det der er planlagt et fullskala forsøk med 3D posisjonering av laksesmolt våren 2015.

Jeg vil takke Bjørgulv Foss som stilte husvære til disposisjon ved Mannflåvann og som hjalp med stort og smått under feltarbeidet, og Agder Energi Vannkraft som gjorde det mulig for oss å arbeide ved kraftverksinntaket. Prosjektet ble finansiert av Norskes forskningsråd gjennom FORINFRA, "Nasjonal satsing på forskningsinfrastruktur" (kontrakt 226278/F50) samt CEDREN prosjektet SafePass, finansiert av vannkraftbransjen.

Lillehammer, september 2014

Torbjørn Forseth
Prosjektleder

1 Innledning

Menneskeskapte konstruksjoner som demninger og kraftverkstuneller kan representere betydelige vandringshinder for mange fiskearter (Calles & Greenberg 2009, Katopodis & Williams 2012), og i Norge gjelder dette særlig ulike laksefisk og ål (Kraabøl mfl. 2008, Thorstad mfl. 2011, Halttunen 2011). De fleste av kraftverkene i Norge er konstruert i en tid der det ble tatt lite hensyn til effektene anleggene kunne ha på fiskebestandene. Flere anlegg er derfor utformet på en måte som ikke er egnet for å slippe fisken skånsomt forbi, verken på tur ned eller opp elva. Når man i ettertid skal inn å gjøre tiltak som skal bøte på dette og bedre fiskens mulighet til å komme seg uskadd forbi, er det en forutsetning at man har kunnskap om fiskens atferd i det den nærmer seg anlegget (Odeh mfl. 2002, Liao 2007, Tritico & Cotel 2010). Slik kunnskap kan brukes til å utforme og teste effekten av tiltak som skal sikre at fisk vandrer forbi anleggene og ikke blir skadet. For dette formålet kreves det avanserte sporingssystemer som kan registrere posisjonen til merket fisk og hvor dypt den svømmer.

Det fins flere tekniske løsninger for å spore fisk i ferskvann (Boisclair 1992, Biesinger mfl. 2013, Cooke mfl. 2013), men om sikten ikke er uvanlig bra (slik at man kan observere fisken i video) er det bare akustisk telemetri som kan følge fisken gjennom et område med en presisjon på meternivå i både grunt og dypt vann (Cooke mfl. 2013). Ved bruk av akustisk telemetri blir fisken merket med en akustisk sender, og signalene fra merkene blir fanget opp av hydrofoner plassert i vannet i ønsket område og registrert. For større fisk (> ca. 25 cm) kan horisontal og vertikal posisjon (3D) oppnås ved hjelp av horisontal (2D) posisjonering kombinert med merker med dybdesensor som gir vertikal posisjon direkte. Laksesmolt er imidlertid små og kan med dagens tilgjengelige teknologi bare merkes med merker uten dybdesensor. For å bestemme 2D posisjon må signalet fanges opp av minst 3 hydrofoner, for å få 3D posisjon på merker uten dybdesensor må signalet mottas på minst 4 hydrofoner. Forskjellen i ankomsttid for signalet fra merkene til de ulike hydrofoner brukes til å beregne merkets (fiskens) posisjon. Teoretisk er dette en relativt triviell trigonometrisk oppgave, men de trådløse akustiske loggerne (hydrofonene) har klokke som ikke er helt synkroniserte. Det systemet vi brukte registrerte ankomst av signaler med 1/19200 sekunds oppløsning. Selv i løpet av en så kort tid flytter signalene seg ca. 7 cm i vann. Synkronisering av klokke i systemer uten kabler er derfor helt avgjørende for å kunne oppnå nøyaktig posisjonering.

De tekniske spesifikasjonene for et akustisk system fra produsenten Lotek (Lotek Wireless Inc. Newmarket, Ontario, Canada) tilsa at 3D-posisjonering kunne la seg gjøre, men et nytt data program som kunne synkronisere ankomsttidene på signalene fra de ulike hydrofonene og beregne posisjonene måtte utvikles. Sentralt i dette arbeidet var et samarbeid mellom NINA og Danmarks tekniske universitet (DTU). Programvaren som ble utviklet har vi kalt YAPS (Yet Another Positioning System). Sommeren 2014 ble systemet testet ut i Mannflåvann og ved inn-taket til Laudal kraftverk i Mandalsvassdraget, der det er planlagt fullskala forsøk med 3D posisjonering av laksesmolt våren 2015.

2 Metoder

Det ble kjøpt inn ni akustiske loggere av typen Lotek WHS 3050 (200 kHz) med synkroniseringsmerker av typen MM-M-16-50. Tre ulike typer akustiske fiskemerker ble prøvd ut; 1) MiniMap 6_1, som er et lite merke egnet for smolt, men som har lav sendestyrke og 5,1 s sendeintervall, 2) MM-M-16-50, et stort merke med standard sendestyrke og 1,5 s sendeintervall, og 3) MM-M-16-50-TP, et stort merke med standard sendestyrke, 2 s sendeintervall og temperatur- og trykksensor. Alle merkene hadde individuell ID. I denne rapporten har vi fokusert på resultater fra MiniMap 6_1 merket som er egnet for smolt, og referert til som «lav styrke» i figurer og tabeller. Vi rapporterer også til dels resultat fra et MM-M-16-50-TP, referert til som «høg styrke», for å kunne evaluere betydningen av forskjellen i sendestyrke.

Utpøvingen av systemet ble gjennomført i tre ulike konfigurasjoner. I den første forankret vi en rigg med flytebøyer i et område av Mannflåvann som er lite påvirket av elvestrøm og turbulens, der vi arrangerte hydrofonene i et kubisk oppsett med åtte hydrofoner og 10 m mellom hydrofonene horisontalt og vertikalt. Dette er en optimal konfigurasjon, som gir svar på hva vi kan forvente av systemet under tilnærmet ideelle forhold. I den andre konfigurasjonen plasserte vi hydrofonene i overflata ved tunnelinntaket til Laudal kraftverk, og gjennomførte tester under normal kraftverksdrift. Her var det variable vannhastigheter, områder med turbulens og både betongvegger og en varegrind av stål som kunne gi ekko. Siden alle hydrofonene var plassert i overflaten, kunne vi bare estimere 2D-posisjoner i denne konfigurasjonen. I den tredje konfigurasjonen plasserte vi to hydrofoner dypt og resten nær overflaten i det samme området. Denne konfigurasjonen tillot 3D-posisjonering, og ble prøvd ut under en planlagt kraftverksstans. Merkenes sanne posisjon ble i alle forsøkene bestemt ved hjelp av en CPOS GPS med cm presisjon (Kartverket 2014) med målestaven holdt rett over merket som ble senket til en kjent dybde (lengde på tau).

Dataanalysene ble gjennomført med YAPS og 3D posisjon ble estimert når signalene var mottatt på tilstrekkelig antall hydrofoner (minimum fire, der ikke alle kan være i plan med hverandre). Som en separat analyse estimerte vi også 2D-posisjon ved hjelp av YAPS, med minstekrav av mottak på tre hydrofoner (disse kan være i plan med hverandre). I tillegg utførte vi 2D-posisjonering med programmet Umap, som leveres av Lotek og er utviklet for det samme hydrofonsystemet. Som et mål på hvor mange kodetransmisjoner som resulterer i posisjonsestimat beregnet vi posisjoneringseffektivitet (PE). PE blir beregnet ved formelen $100 \cdot N_{pos}/N_{trans}$ (%), der N_{pos} er antallet estimerte posisjoner og N_{trans} er antallet forventede transmisjoner innenfor et tidsintervall. YAPS kjøres i den statistiske programvaren R (R Core Team 2013) og bruker også det R-baserte programmet JAGS (Just Another Gibbs Sampler; <http://mcmc-jags.sourceforge.net/>). Alle statistiske analyser ble også kjørt i R.

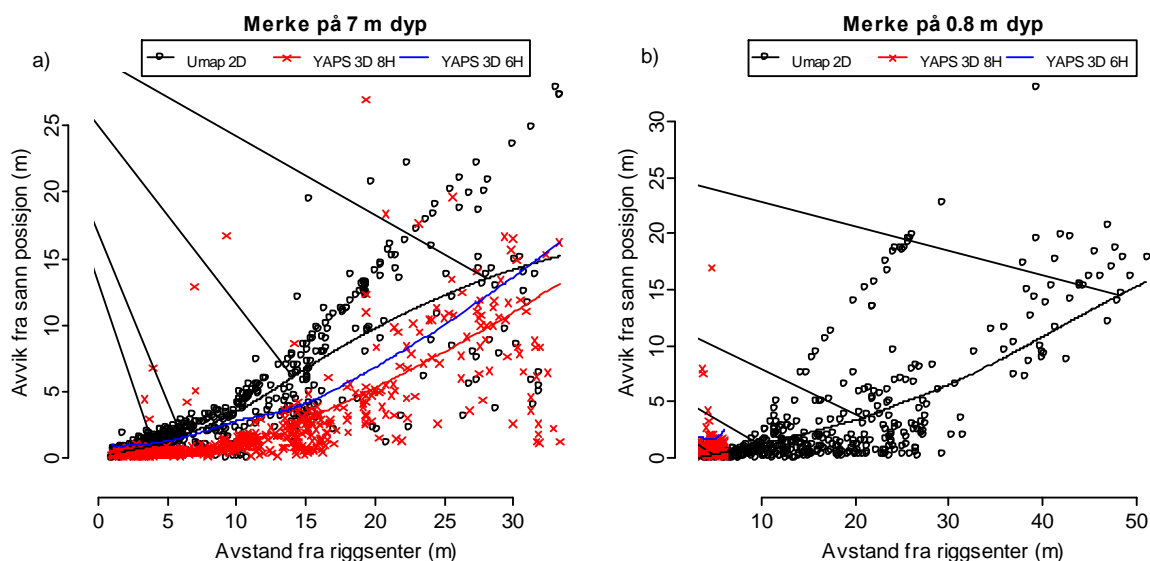
3 Resultater

3.1 Forsøk med rigg i Mannflåvann

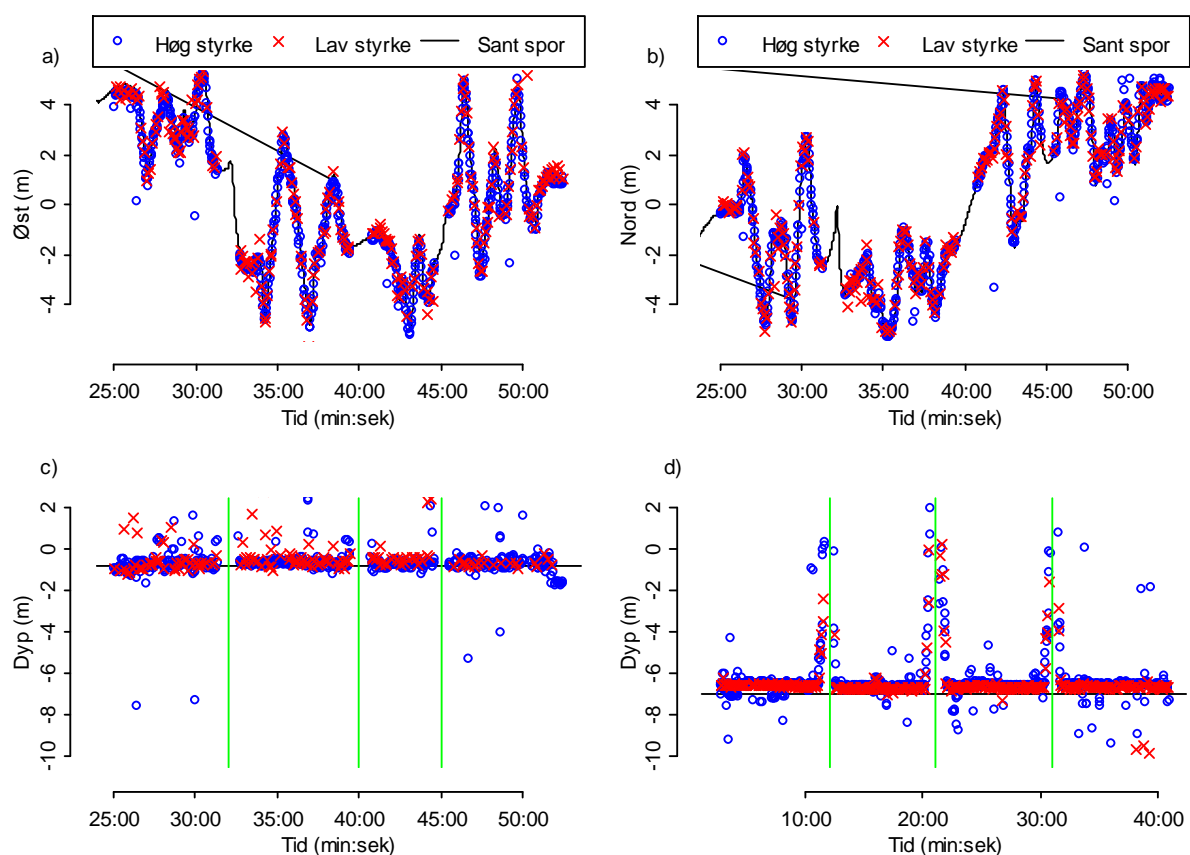
Forsøkene i riggen viste at merkets posisjon ble beregnet med bedre enn 1 m nøyaktighet og presisjon i tre dimensjoner når merket var innenfor omkretsen av den kubiske hydrofonkonfigurasjonen. Når merket ble flyttet til utsiden av hydrofonarrangementet og avstanden fra sentrum økte, ble nøyaktigheten og presisjonen i systemet redusert (**Figur 1**). Dette var som forventet ut i fra teoretiske betraktninger. For et merke på 7 m dyp var nøyaktighet og presisjon vesentlig bedre med 3D-analyser enn med 2D-analyser, men nøyaktigheten bedret seg betydelig for 2D-analysene når merket var på 0,4 m dyp (litt over de øvre 4 hydrofonene, som var montert på ca. 1 m dyp) (**Figur 1**).

For å vurdere hvor avhengig systemet var av å inkludere data fra alle åtte hydrofonene i analysene, gjennomførte vi også 3D analyser der vi ekskluderte data fra to av de dype hydrofonene. Dette resulterte i noe redusert nøyaktighet og *PE* (**Figur 1**), men *PE* var likevel høy (**Tabell 1**). Analysene med Umap ble først gjennomført med data fra alle åtte hydrofoner, men dette gav veldig usikre resultater (data ikke vist), og Umap-resultatene ble derfor basert bare på data fra de øvre hydrofonene.

Analysene kunne tydelig beskrive bevegelsene da merkene ble ført igjennom riggen (**Figur 2**). Merket med høy styrke hadde høyere *PE* (**Tabell 2**), men også høyere sendeintervall, slik at vi oppnådde vesentlig flere posisjoner. 3D-posisjoneringen viste korrekt dyp for merket, og den viste også tydelig når merket ble dratt opp til overflaten for å passere diagonalvaier i riggen (**Figur 2**).



Figur 1. Avvik mellom estimert posisjon og sann posisjon (målt med CPOS GPS) i forsøk i riggen i Mannflåvann. Riggsenter er midtpunktet mellom alle hydrofonene. Målingene ble gjennomført ved at merkene ble hengt under en båt som ble rodd rundt mellom og utenfor hydrofonarrangementet. Verdiene i figuren er beregninger for MiniMap 6_1 merket på 7 m dyp (a) og 0,4 m dyp (b). Kurvene viser dataene glattet med LOESS-prosedyre (R Core Team 2013). 3D-analyser ble gjennomført ved å inkludere data fra alle åtte hydrofonene (YAPS 3D 8H), eller ved bruke data fra de fire øverste og bare to av de dype hydrofonene (YAPS 3D 6H, bare glattet kurve er vist). Umap 2D og YAPS 2D hadde relativt lik nøyaktighet og presisjon i denne analysen, og resultat er derfor bare vist for Umap. Resultatene fra Umap baserer seg på data fra de fire øvre hydrofonene.



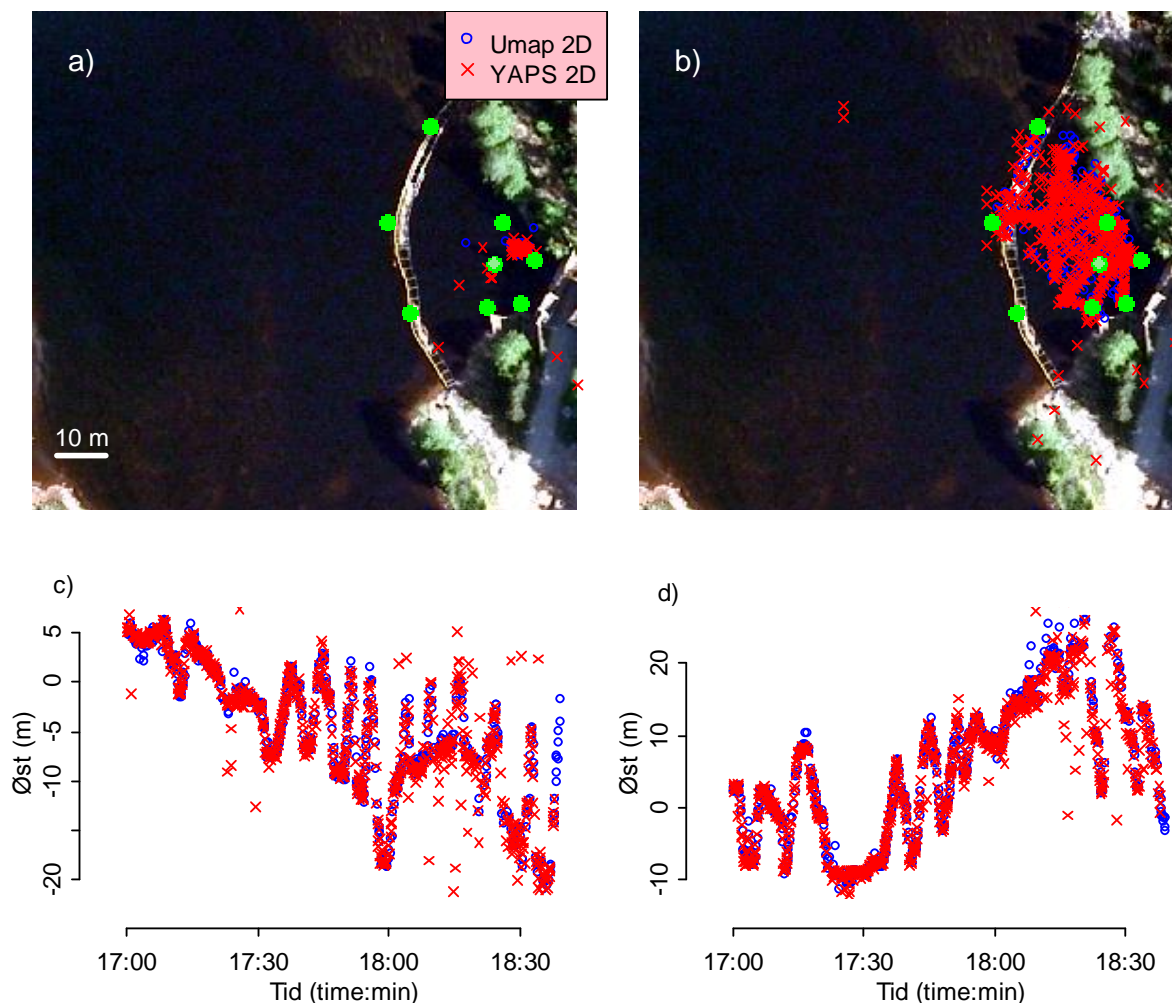
Figur 2. Posisjonsestimat (basert på YAPS) for to merker (Lav styrke = MiniMap 6_1, Høg styrke = MM-M-16-50-TP) festet til en line og ført rundt imellom hydrofonene i riggen i Mannflåvann. a), b) og c) viser posisjon ved tid for henholdsvis vest-øst-aksen, sør-nord-aksen og dybdeaksen for merkene ført rundt på 0,8 m dyp, d) viser dybdeestimat for merkene når de ble ført i en lignende rute på 7 m dyp. Grønne vertikale linjer indikerer tidspunkt der merkeline måtte løftes opp for å passere diagonalvaiere i hydrofonriggen.

Tabell 1. Oversikt over gjennomsnittlig posisjoneringseffektivitet (PE, %) for ulike forsøk og metoder. “Lav styrke” viser til MiniMap 6_1 merket med lav sendestyrke, mens “Høg styrke” viser til et MM-M-16-50-TP med standard sendestyrke på samme dyp som Mini-Map-merket. Tomme felt for “Høg styrke” betyr at dataene ikke er analysert.

Metode	Sted	Aksjon	Merkedyp	Lav styrke	Høg styrke
Umap, 2D	Rigg i innsjø	Bevegelse	0,8 m	88.8	75.0
YAPS, 2D	Rigg i innsjø	Bevegelse	0,8 m	96.0	81.9
YAPS, 3D med 8 hydrofoner	Rigg i innsjø	Bevegelse	0,8 m	96.8	75.7
YAPS, 3D med 6 hydrofoner	Rigg i innsjø	Bevegelse	0,8 m	88.6	53.5
Umap, 2D	Tunnelinntak, kraftverk i drift	Stasjonær	0,6 m	67.2	55.1
YAPS, 2D	Tunnelinntak, kraftverk i drift	Stasjonær	0,6 m	78.2	
Umap, 2D	Tunnelinntak, kraftverk i drift	Bevegelse	0,6 m	54.6	62.5
YAPS, 2D	Tunnelinntak, kraftverk i drift	Bevegelse	0,6 m	68.7	
Umap	Tunnelinntak, kraftverk ikke i drift	Stasjonær	9 m	8.3	9.7
Umap	Tunnelinntak, kraftverk ikke i drift	Bevegelse	9 m	11.0	42.9
Umap	Tunnelinntak, kraftverk ikke i drift	Bevegelse	0,4 m	38.7	41.1
YAPS, 2D	Tunnelinntak, kraftverk ikke i drift	Stasjonær	9 m	47.1	
YAPS, 2D	Tunnelinntak, kraftverk ikke i drift	Bevegelse	9 m	49.1	
YAPS, 2D	Tunnelinntak, kraftverk ikke i drift	Bevegelse	0,4 m	60.1	
YAPS, 3D med 6 hydrofoner	Tunnelinntak, kraftverk ikke i drift	Stasjonær	9 m	27.9	
YAPS, 3D med 6 hydrofoner	Tunnelinntak, kraftverk ikke i drift	Bevegelse	9 m	36.9	
YAPS, 3D med 6 hydrofoner	Tunnelinntak, kraftverk ikke i drift	Bevegelse	0,4 m	14.3	

3.2 Forsøk foran tunellinntak Laudal kraftverk

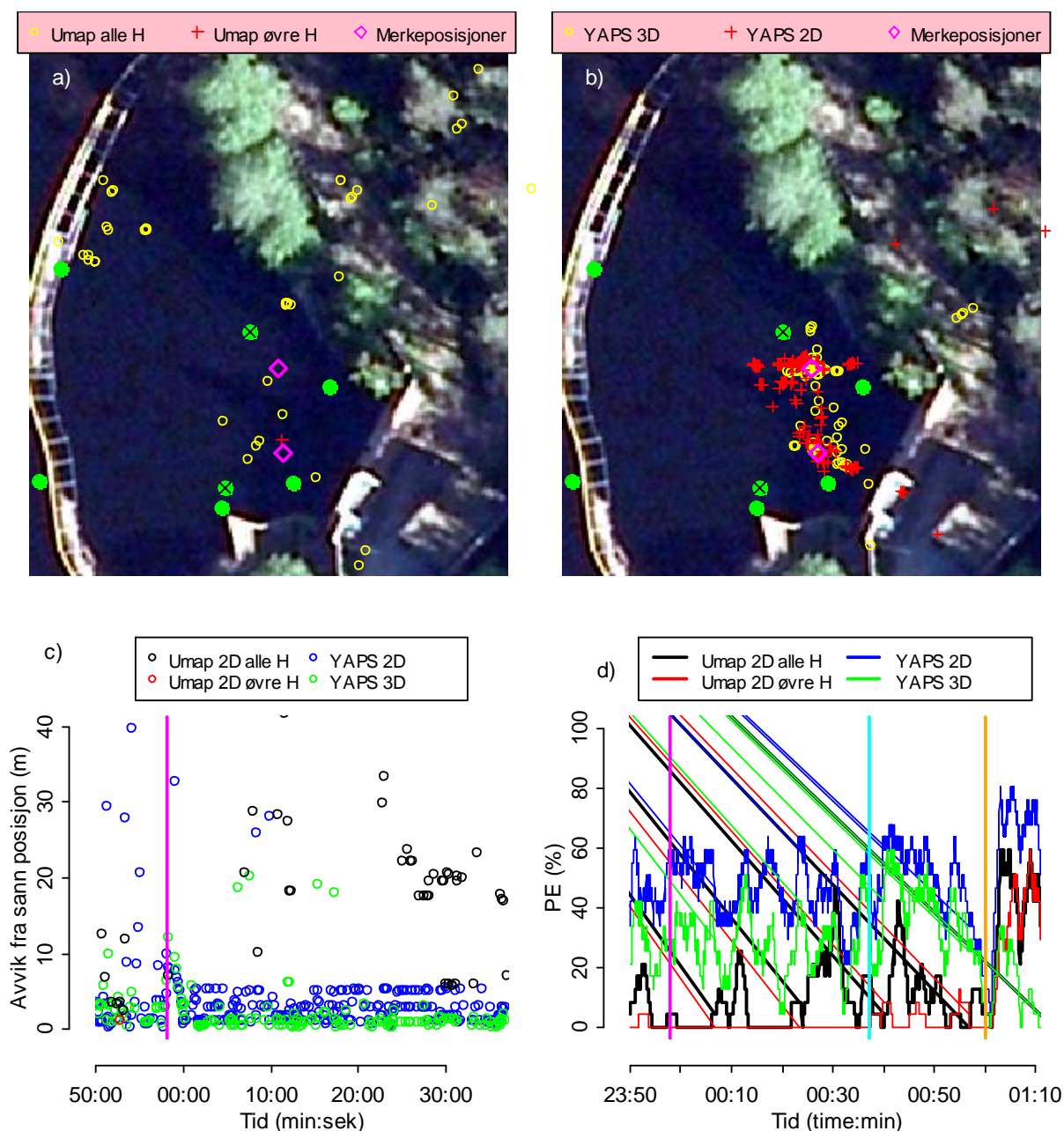
Forsøkene foran tunnelinntaket ble gjennomført i to faser. I den første fasen ønsket vi å gjøre oss kjent med de akustiske forholdene under normal kraftverksdrift. Som festepunkter for hydrofonene ble det spent opp to vaiere foran tunnelinntaket, i tillegg ble det hengt tre hydrofoner fra lensa utenfor (se **Figur 3** for hydrofonposisjoner). Merkene ble festet til en line og hengt under en blåse, som ble ført frem og tilbake innenfor hydrofonkonfigurasjonen med et tau mens kraftanlegget var i normal drift. Resultatene viste at denne konfigurasjonen gav svært god 2D-posisjoneringsdekning for et merke på 0,6 m dyp foran tunnelinntaket (**Figur 3**). Posisjoneringseffektiviteten (PE) var god; mellom 50 og 80 %, og noe bedre for YAPS enn for Umap (**Tabell 1**).



Figur 3. Resultater fra 2D-posisjonering av MiniMap 6_1 merket på 0,6 m dyp foran tunnelinntaket til Laudal kraftverk. Hydrofonplasseringene er indikert med grønne, fylte symboler. a) gir posisjonsestimat for merker som lå i ro i en periode på 40 minutt. Både Umap og YAPS gav god nøyaktighet og presisjon. b), c) og d) viser posisjonsestimat fra merker når de ble ført frem og tilbake mellom hydrofonene. Innenfor lensa ble posisjonering oppnådd i alle deler av området som ble prøvd.

I den andre fasen av forsøkene foran tunellinntaket ønsket vi å prøve ut i hvilken grad vi kunne kombinere en konfigurasjon for 3D-posisjonering foran tunellinntaket med en konfigurasjon for 2D-posisjonering lengre ute. For å oppnå gode 3D-estimat er en avhengig av at forholdet mellom sidene i den kubiske hydrofonkonfigurasjonen ikke avviker for mye fra 1. Foran inntaket er det 10-11 m dypt og ca. 15 m bredt i et strekk på ca. 15 m ut fra tunnelinntaket. Dette var en tilstrekkelig egnet geometri for 3D-posisjonering med det utstyret vi hadde tilgjengelig. Utenfor dette område er det bare 4-5 m dypt, og her er 2D posisjonering mer realistisk. Den høye posisjoneringseffektiviteten med bare to dype hydrofoner i innsjøriggen indikerte at vi kunne forsøke med to dype hydrofoner og seks ved overflaten.

Forsøkene viste at Umap fungerte dårlig for posisjonsanalyser når merket var på dypt vann (**Figur 4a,c**), mens både YAPS 2D og 3D fungerte godt (**Figur 4b,c**). YAPS ga vesentlig bedre nøyaktighet og presisjon enn Umap, og YAPS 3D hadde best nøyaktighet og presisjon (**Figur 4c**). YAPS hadde også vesentlig høyere *PE* enn Umap, men felles for begge var at *PE* varierte over tid selv for stasjonære merker (**Figur 4d**).



Figur 4. Resultater fra posisjonering av MiniMap 6_1 merket foran tunnelinntaket til Laudal kraftverk. Hydrofonplasseringene er indikert med grønne, fylte symboler i a) og b), en x i symbolet indikerer plassering av en dyp hydrofon. a) Posisjonsestimat fra Umap-analyser av merker i ro på 9 m dyp viste svært dårlig nøyaktighet når data fra alle hydrofoner ble tatt i bruk, og ga svært få posisjoner når kun data fra de øvre hydrofoner ble tatt i bruk. b) Posisjonsestimat fra YAPS 2D og 3D-analyser av merker i ro på 9 m dyp var sentrert rundt merkets kjente posisjon. c) Avvik mellom estimert og kjent posisjon for merket i stasjonær posisjon på 9 m dyp. Den vertikale magentafargede linjen indikerer tidspunkt for forflytning fra en stasjonær posisjon til en annen stasjonær posisjon. d) Posisjoneringseffektiviteten (PE) var varierende over tid, selv når merket var i ro og det ikke var vannstrøm eller andre kjente potensielt forstyrrende elementer. Den vertikale magentafargede linja indikerer tidspunkt for forflytning fra en stasjonær posisjon til en annen stasjonær posisjon. De vertikale cyanfargede og oransjefargede linjene indikerer starten for forsøk med merket i bevegelse, ført frem og tilbake på henholdsvis 9 m (cyan start) og 0,6 m dyp (oransje start).

4 Diskusjon

Resultatene i denne studien viste at tredimensjonal posisjonering av smolt lar seg gjøre ved hjelp av trådløse akustiske hydrofoner. Forsøkene viste at 3D-posisjonering kan gjennomføres med nøyaktighet og presisjon som normalt blir bedre enn 1 m når merket er innenfor omkretsen av den kubiske hydrofonkonfigurasjonen. YAPS 3D kan også gi relativt gode estimat for posisjoner utenfor denne omkretsen, men både nøyaktighet og presisjon avtar jo lengre vekk fra hydrofonene merket befinner seg. For resultatene i denne rapporten har vi ikke brukt noen form for etterprosessering av posisjonsestimat i form av glatting eller filtrering. Slike metoder kan gi ytterligere forbedring av sporingsegenskapene i systemet, men fokuset vårt har vært på å se hvilke resultater systemet kan gi uten videre bearbeiding. Nøyaktigheten på posisjonene kan ytterligere forbedres å sette romlige begrensninger på posisjonsestimatene, som for eksempel at de ikke kan være over vann eller under bunn, eller kun innen definerte avstander. Data samla inn i denne undersøkelsen kan brukes til å videreutvikle programvaren og evaluere slike endringer. Grunnlaget for kvaliteten av posisjonsestimatene ligger imidlertid i en god hydrofonkonfigurasjon samt kjennskap til nøyaktig posisjon til hver enkelt hydrofon i systemet, og gode rutiner for datainnsamling og behandling.

Forsøkene ved riggen i Mannflåvann indikerte at tilfredsstillende 3D-posisjonering kunne oppnås med så få som fire hydrofoner nært overflata og to hydrofoner dypt, selv om nøyaktighet og *PE* ble noe redusert. Forsøkene foran tunellinntaket med to hydrofoner dypt og resten nær overflaten ga ikke like god *PE* for merker på dypt vann som de vi observerte i riggen i Mannflåvann. Dette indikerer at det ved framtidig sporing foran tunnelinntaket bør benyttes fire hydrofoner plassert dypt og fire nær overflaten for å oppnå tilstrekkelig god *PE* for 3D posisjonering.

De gode resultatene med 2D-posisjonering for merker nær overflaten lengre utover fra tunellinntaket lover godt for sporing av fisk som nærmer seg tunellinntaket, og antyder at det er gode muligheter for å dekke hele bredden av utløpsdelen av Mannflåvann ved å bygge ut systemet med flere hydrofoner. Området er grunt (maksimum 4-5 m dyp) med unntak av rett foran tunellinntaket, der det er 10-11 m dyp. Med en riktig konfigurasjon vil 2D-estimatene være nøyaktige over hele bredden, men dårlige dersom fisken svømmer dypt ned ved tunellinntaket. Dette er uheldig, fordi det er nettopp ved tunellinntaket en trenger best nøyaktighet for å evaluere fiskens adferd her. Det beste for framtidig sporing av nedvandrende smolt (og også annen nedvandrende fisk) vil derfor være å kombinere en hydrofonkonfigurasjon for 3D ved tunellinntaket med en noe mer spredt hydrofonkonfigurasjon for 2D som dekker elva fra elvebredd til elvebredd utenfor tunellinntaket.

Den dårligere posisjoneringseffektiviteten til Umap sammenlignet med YAPS 2D er overraskende fordi flere av disse analysene baserte seg på nøyaktig de samme dataene fra de samme hydrofonene. Umap må derfor inneholde filtreringsalgoritmer som ikke er dokumentert i brukermanualen.

5 Konklusjon

Tredimensjonal posisjonering av fisk i laksesmoltstørrelse er mulig med en nøyaktighet og presisjon bedre enn 1m med det akustiske telemetriutstyret og det nyutviklede databehandlingsprogrammet utviklet i dette prosjektet. For å oppnå dette, må konfigurasjonen av utstyret tilpasses området som skal undersøkes. Arealet som kan dekket i 3D med et bestemt antall hydrofoner vil normalt være begrenset av dypet i området, men kan økes ved å øke antallet hydrofoner. Hydrofonene er imidlertid kostbare, og i praksis vil det ofte være gunstig å kombinere 2D i et større område med 3D posisjonering i et mindre område. Forholdene ved tunellinntaket ved Laudal kraftverk ligger til rette for 3D-posisjonering i et ca. 15 x15 m område foran tunnelinntaket, mens en utenfor dette bør satse på 2D-posisjonering som kan dekke hele elvebredden og dermed gir en oversikt over all merket smolt som passerer gjennom eller forbi tunellinntaket.

6 Referanser

- Biesinger, Z., Bolker, B. M., Marcinek, D., Grothues, T. M., Dobarro, J. A. & Lindberg, W. J. 2013. Testing an autonomous acoustic telemetry positioning system for fine-scale space use in marine animals. – J. of Exp.Mar.Biol Ecol. 448: 46-56.
- Boisclair, D. 1992. An evaluation of the stereocinematographic method to estimate fish swimming speed. - Can.J.Fish.Aquat.Sci. 49: 523-531.
- Calles, O. & Greenberg, L. 2009. Connectivity is a two- way street—the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. - River Research and Applications 25: 1268-1286.
- Cooke, S., Midwood, J., Thiem, J., Klimley, P., Lucas, M., Thorstad, E., Eiler, J., Holbrook, C. & Ebner, B. 2013. Tracking animals in freshwater with electronic tags: past, present and future. – Anim.Biotel. 1: 5.
- Halttunen, E. 2011. Staying alive - the survival and importance of Atlantic salmon post-spawners. – PhD-avhandling, Universitetet i Tromsø. 153 s.
- Kartverket 2014. CPOS. <http://www.statkart.no/Posisjonstjenester/CPOS/>. Oppslag 1. juni 2014.
- Katopodis, C. & Williams, J. G. 2012. The development of fish passage research in a historical context. – Ecol.Eng. 48: 8-18.
- Kraabøl, M., Arnekleiv, J. V. & Museth, J. 2008. Emigration patterns among trout, *Salmo trutta* (L.), kelts and smolts through spillways in a hydroelectric dam. – Fish.Man.Ecol. 15: 417-423.
- Liao, J. C. 2007. A review of fish swimming mechanics and behaviour in altered flows. – Phil.Trans.R.Soc.B 362: 1973-1993.
- Odeh, M. et al. 2002. Evaluation of the effects of turbulence on the behavior of migratory fish. Final Report to the Bonneville Power Administration, Project 200005700, Portland, Oregon.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. - R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Thorstad, E.B., Larsen, B.M., Finstad, B., Hesthagen, T., Hvidsten, N.A., Johnsen, B.O., Næsje, T.F. & Sandlund, O.T. 2011. Kunnskapsoppsummering om ål og forslag til overvåkingssystem i norske vassdrag. - NINA Rapport 661. 69 s.
- Tritico, H. M. & Cotel, A. J. 2010. The effects of turbulent eddies on the stability and critical swimming speed of creek chub (*Semotilus atromaculatus*). – J.Exp.Biol. 213: 2284-2293.



Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.

NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.

Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.

ISSN:1504-3312

ISBN: 978-82-426- 2690-5

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Hogskoleringen 9, 7034 Trondheim

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

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger