

Forsøk med drone til miljøovervaking i innsjø

Av Lars G. Golmen, Karsten Kvalsund og Erik M. Bruvik

Lars G. Golmen er forskar ved Norsk institutt for vannforskning og Runde miljøseniter, Karsten Kvalsund er forskar ved Runde miljøseniter og Erik M. Bruvik er ingeniør ved Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen.

Summary

The article presents results from successful testing of an autonomous, undulating underwater vehicle (“glider”) for environmental monitoring in the 514 m deep lake Hornindalsvatn in Norway in October, 2013. The primary objective was to test the performance of the vehicle in terms of operability in such environment as a fresh-water lake, surrounded by high mountains that might impair on the data transmission. The glider had incorporated some standard sensors for water quality like turbidity, chlorophyll and oxygen. The communication with the glider via satellite and Internet worked well and control and operation also worked out well, similar to operating offshore, but with more frequent interceptions by the pilot during the short mission, to test out various modes and functions. It is suggested to consider this technology for more extended monitoring in lakes, including situations where there is a risk of pollution, such as during road construction work.

Samandrag

Tradisjonell miljøovervaking i innsjøar kan vere underdimensjonert m.h.t. å fange opp både langtidstrendar og einskildepisodar av forureining, t.d. ved anleggsarbeid. Ved å ta i bruk ny måleteknologi kan ein redusere eller fjerne desse manglane. Ein slik teknologi er autonome farkostar

(”droner”) som er i rutinemessig bruk i havovervaking. Føreliggjande rapport omhandlar utprøving av ein slik farkost, ”glider” i ein innsjø i oktober, 2013. Målsettinga var å funksjonsteste farkosten med omsyn til det operasjonelle. Farkosten hadde også montert ein del sensorar for måling av temperatur og fysikalske/vasskjemiske parametrar. Hornindalsvatnet i Nordfjord vart vald som testlokalitet. Forsøket var vellykka og gjev grunnlag for å tenke vidareutvikling og kostnadsreduksjonar med tanke på meir vidstrakt bruk av slike farkostar i miljøovervaking i innsjøar og fjordar, og også i samband med midlertidige tiltak slik som vegarbeid og anna anleggsarbeid som kan medføre forureining i vatn/sjø.

Innleiing

Bruk av autonome farkostar, ”droner”, er i dag i rutinemessig bruk i havmiljøovervakinga. Dette inneber effektiv, god og ressurs sparinge overvaking. Slikt utstyr er derimot ikkje nytta i innsjøovervaking. Prosjektet som denne rapporten omhandlar, hadde som målsetting å funksjonsteste ein undervass-drone, i ein djup innsjø, med vekt på styring og operasjon av dronen. Figur 1 syner dronen som vart nytta i forsøka, eit ”undervass-fly”; ein Slocum glider (engelsk: Glider).

Ved konvensjonell prøvetaking i innsjøar er ein også avhengig av vêr, vind og årstid. Ein



Figur 1. Slocum glideren og teamet ved Hornindalsvatnet, oktober 2013.

undervass-drone har ikkje slike avgrensingar, og kan operere i månadsvis på eigenhand, kun kontrollert innimellom på Internet. Denne metodikken bør også kunne ha eit potensiale for overvaking av innsjøar og til studiar i omkring klimaendringar, dynamikk og utskifting.

Statens vegvesen, Miljøvernavdelinga hos Fylkesmannen i Sogn og Fjordane og Miljødirektoratet (DN) sa seg viljuge til å bidra med midlar for å få gjennomført forsøka. Hornindalsvatnet i Nordfjord vart vald som forsøkslokalitet, sidan den er svært djup og at NIVA har god kunnskap om innsjøen gjennom 20 års overvaking der, med god assistanse frå Hornindal kommune. Gjennomføringa skjedde i oktober 2013.

Utfordringar ved dagens overvaking

Tradisjonell overvaking av innsjøar kan vere underdimensjonert m.h.t. å fange opp både enkelt-episodar av forureining, og trendar.

Vidare kan viktige skilnadar frå innsjø til innsjø ikkje bli fanga opp, og det er også lite datagrunnlag for å fange opp og studere t.d. kortvarige omrøringsperiodar.

Tradisjonelt sett så har ein måtta vege dei faglege behova i overvakinga opp mot ressursbruk og økonomi. Dei sistnemnde faktorane har oftast definert dimensjonen på overvåkingsprogramma. Bruk av menneskap, lange reiser og ferdsel i ulendt terreng har oftast satt grensene for ressursbruken. Ein har definert teoretiske modellar for optimal overvaking (frekvens, omfang) i høve til variabiliteten i det fenomenet som skal overvakast (Radford og West 1985, Crook og Schofield 1997, Peterson et al. 1999).

I Norge har vi klare sesongvariasjonar i limnologien, og dette krev som oftast representative prøver for alle årstidene, eller i alle fall eit minimum av prøver, t.d. vinter/sommar. Biologien krev prøvetaking i høve til dei naturlege syklusane hos organismane. Optimale overvåkingsprogram må også tilretteleggast slik at resultatane gjev tilstrekkeleg grunnlag for god statistikk (Nicholson og Fryer 1992).

Teknologiutviklinga når det gjeld automatisert overvaking i ferskvatn og hav har gått fort dei siste 10-20 åra. Dette gjeld både sensorutvikling, sensorplattformutvikling, datalagring og dataoverføring. Målesensorar og sonder har blitt meir kompakte, meir presise og har større lagringskapasitet enn tidlegare. For stasjonære system er dataoverføringskapasiteten via t.d. mobiltelefon blitt mangedobla berre over dei siste 2-3 åra. Dette gjeld overvåkingsstasjonar i elvar for det meste men også i innsjøar og i enkelte fjordar, t.d. ved oppdrettsanlegg, frå forankra bøyer med instrumentering hengande under, og batteri, datalagring og antenner m.m. plassert i bøya.

Ved større vegutbyggingsprosjekt, tunnelldrivning m.m. blir det ofte behov for å deponere steinmasser i vatn (innsjø, fjord). Dette er massar med varierende konsistens, og fint steinstøv kan følgje med, sjølv om det meste blir vaska ut på land, før deponering. Vidare kan massar ha restar av sprengstoff og evt. kjemikalier. Ulik form for aktivitet i anleggsområdet på land kan

medføre avrenning med tidvis uynskte stofftilførsler til innsjø/fjord.

Ein fellesnemnar for dei ulike scenarioa med automatisert overvaking er at det oftast vert nytta overvaking over tid (veker, månadar) i faste punkt, gjerne berre i eitt eller eit fåtal punkt. Sensorane er plassert kun i eit eller nokre få djup. Dette gjev sjeldan den optimale oppløysinga i horisontal og vertikal utstrekning. Manuell prøvetaking (måletokt) med fleire stasjonar kan til ei viss grad hjelpe på dette, men vert sjeldan utført p.g.a. økonomien, og i tilfelle, kun under spesielle operasjonar. Bøyer med ein vinsj som med jamne mellomrom fører målesonden ned- og opp i sjøen vil kunne avhjelpe mangelen på vertikal oppløysing, men er sjeldan i bruk i samband med anleggsarbeid (mest til forskning og dedikert miljøovervaking).

Autonome farkostar

Bruk av autonome farkostar til kartlegging og miljøovervaking i havet har auka monaleg siste åra. Bruk av slik teknologi innaskjærs og i innsjøar heng etter. Årsaken til dette kan vere kompleks, det handlar dels om kompetanse, kultur og tradisjonar, og dels at teknologien som er nytta utaskjers, ikkje nødvendigvis lett let seg bruke i fjordar og mindre vassførekomstar. Nokre farkostar, slik som AUV (Autonomous underwater vehicle), er designa for å følgje botnen eller gå i konstant djup, og er ofte nytta i seismisk kartlegging, kontroll av kablar og liknande. Dei har propell, og difor avgrensa operasjonstid grunna avgrensa batterikapasitet. Det finst også lettvektsversjonar av desse, t.d. den kinesiske portable PAOS AUV (Zeng et al. 2014).

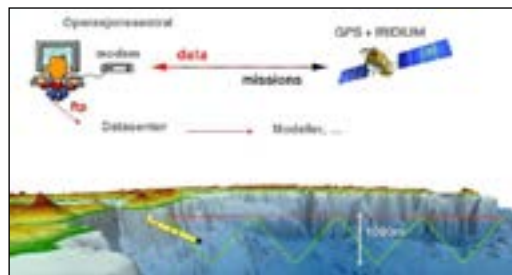
I føreliggande prosjekt nytta vi ein s.k. glider. Dette er ein eigen klasse av autonome farkostar. Dei skil seg frå andre typar ved at dei kan dykke djupt, snu og kome til overflata igjen (medan dei måler). Datakommunikasjon med operatøren (piloten) på land skjer via satellitt medan farkosten er i overflata. Framdrifta blir skapt ved å justere volumet (oppdrift), og å tilte farkosten med nase ned for dykking, og nase opp for oppstiging. Vengane sørgjer då for ei glideflyliknande, framoverretta rørsle - der er ingen

propell. På denne energi-økonomiske framdriftsmåten kan desse farkostane halde seg i operasjon i mange månadar, utan behov for batteriskifte. Dei er primært lagd for bruk i opent hav.

Det finst ei handfull produsentar av slike farkostar, i USA, Frankrike, Tyskland og Japan. I Europa finst det no om lag 100 gliderar tilgjengeleg. Om lag ti av desse er i Norge, dei fleste eigd av NACO-prosjektet (<http://naco.gfi.uib.no>). NACO er eit infrastrukturprosjekt finansiert av Noregs forskingsråd, og operert av Geofysisk institutt, UiB, Havforskningsinstituttet og Runde Miljøsentar.

Gliderar er semi-autonome undervassfarkostar som kan måle eit mangfald av parameter over lang tid. Namnet «glider» (eng: glider) viser til at dei til liks med glidefly ikkje har propell, men utnyttar tyngdekrafta for å skape framdrift. I motsetnad til glidefly i lufta kan gliderar bruke same prinsipp både opp og ned: På eit preprogrammert djup vil ei pumpe pumpe olje frå eit internt reservoar til ei ekstern blære, og på denne måten auke volumet til glidaren utan å auke vekten. Arkimedes' prinsipp fører då til at glidaren etter kvart får positiv oppdrift, og byrjar å stige mot overflata att. Venger gjer at denne vertikale krafta kan omdannast til horisontal framdrift. På overflata sender den data via satellitt, og tek i mot eventuelle nye kommandoar, samt tek GPS posisjon, figur 2. Deretter sug den oljen frå blæra inn igjen, til tyngdekrafta nok eingong får den til å søkke. Figur 3 syner ulike komponentar i ein glider.

Denne måten å skape framdrift på er uhyre energieffektiv, i stor grad fordi det går så sakte: Glidaren brukar ein halv Watt på å gå med ein



Figur 2. Prinsipp for glider-operasjon.



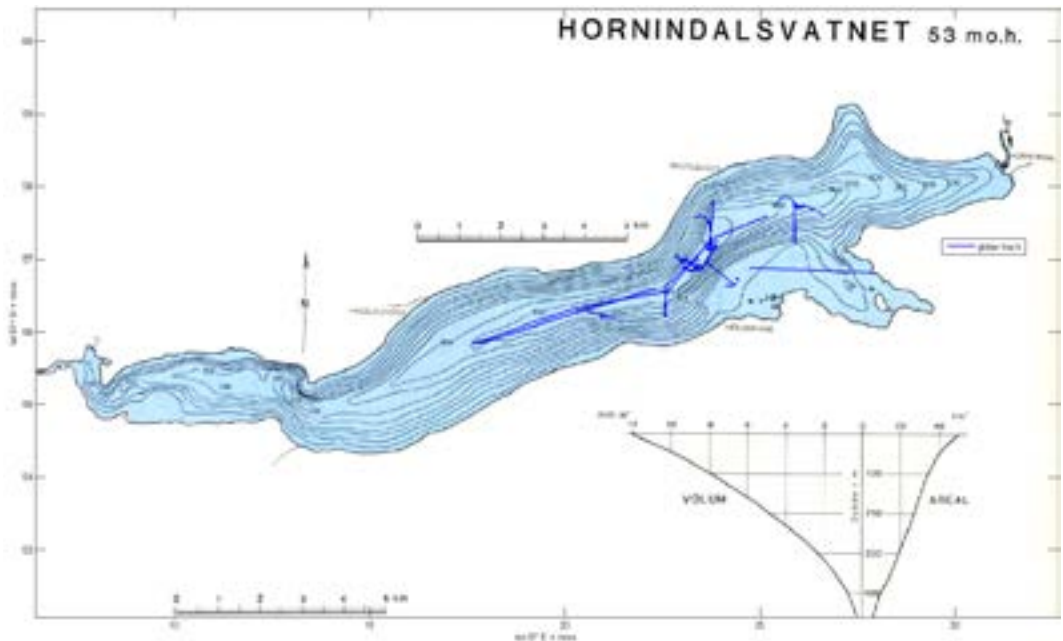
Figur 4. Slocum glidaren i overflata, i ferd med å dykke igjen i Hornindalsvatnet, tysdag 23. oktober 2013.

mønster. Vi starta litt forsiktig, og auka max. djupet gradvis. Figur 4 syner glidaren under eit kort opphald på overflata på dag 2, 23. oktober.

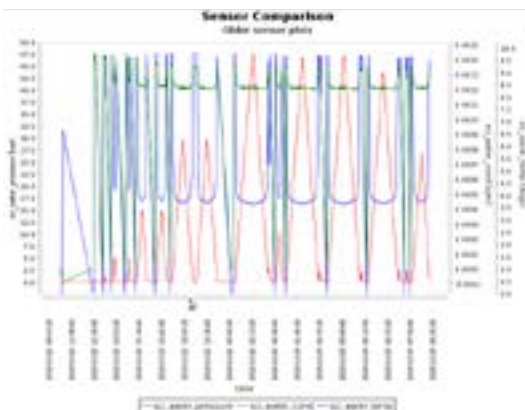
Natt til 23. oktober vart det konsentrert om å la glidaren gå opp og ned i posisjon på det djupaste området i innsjøen (> 500 m djupt, figur 5). Den vart då operert i s.k. stasjonsmodus, ved at den går i spiral nedover, og så oppover, og så dykke igjen. På den måten kan den halde seg innafør eit lite område, estimert til ca. 50 m i diameter i dette tilfellet. Dette fungerte bra, glidaren tok fleire dykk utan behov for korreksjon

frå piloten. Figur 6 syner alle dykka i forsøksperioden. Ved dei fire omtalte nattdykka nådde glidaren djupner ned mot 490 m før den snudde. Etter desse forsøka vart glidaren programmert til å gå langs eit transekt aust-vest i vatnet, mens den dykka ned til nær botnen. Figur 5 syner at glidaren gjekk 6-7 km vestover. Så vart den kommandert til å snu austover igjen, utover kvelden og natt til 24. oktober. Dette transektet gjekk også problemfritt. Glidaren vart så kommandert til å gå i retning området der den vart satt ut, vest for Kjøsaammaren. På formiddagen 24. oktober vart glidaren lagt i overflatestilling, og kunne hentast inn med lett båten, uskadd og i fin form.

Formålet med forsøka var først og fremst å teste farkosten i ein djup, relativt trang/smalt innsjø med høge fjell rundt. Utfordringane kunne vere dårlege satellittsignal som gjorde kontroll med farkosten vanskeleg. Dette synte seg ikkje å vere tilfelle, kommunikasjon med farkosten fungerte normalt mens den var på overflata. Som nemnt innleiingsvis, samla glide-



Figur 5. Dei viktigaste transekta på langs- og tvers (blå strek), som glidaren følgde i Hornindalsvatnet. Pila indikerer det djupaste partiet av innsjøen, der glidaren gjekk i stasjonsmodus natt til 23. oktober. Djupnekartet er frå Østrem et al (1984).



Figur 6. Tidsforløp for alle dykka som glidaren gjennomførte 22.-24. oktober 2013.

ren også data frå innsjøen, og vi tok også stikkprøver med konvensjonelle nedsenkbare målesonder for å ha som samanlikningsgrunnlag.

Sensorane målte kontinuerleg og fungerte bra heile tida. Data kunne hentast frå glidaren mens den var i overflata, noko som vil vere viktig i samband med overvaking av anleggsarbeid, då ein må ha rask respons på evt. overskriding av terskelverdiar.

Under forsøka vart det tatt vertikalprofilar med nedsenkbar STD sonda av type SAIV (SAIV SD202) og Seabird SE-19. Innsjøen var fortsatt sjikta med relativt varmt overflatevatn, og eit sprangsjikt (epilimnion) rundt 20 m djup. Utslaga for klorofyll (klorofyll-a fluorescens) og turbiditet var små (reint og klart vatn). Høgste verdiane var å finne i overflatesjiktet. Sjå rapporten frå forsøka (Golmen m. fl. 2014), for fleire detaljar om måleresultat, og Boehrer et al (2013) for temperaturdata i innsjøen. Måleverdiane syntte godt samsvar mellom sonden og glidaren. Skilnaden i temperatur var mindre enn 0.01 °C. Også konduktiviteten var samsvarande, verdiane for begge låg ned mot null grunna det ionefattige vatnet.

Oppsummering

Glidaren som vart nytta, er primært konstruert for å gå i ope hav. Det var såleis knytt ein del spørsmål til korleis den ville fungere i ein innsjø, omgitt av relativt høge fjell. Signaloverføring og kommunikasjon mellom operatøren (piloten) på

land og glidaren er basert på satellitt og internett. Som backup kan det nyttast direkte radiooverføring når ein er nær glidaren, og har fri sikt. Kommunikasjon via satellitt viste seg å fungere bra i Hornindalsvatnet (fjella rundt var ingen hindring). At kommunikasjon kan vere avgrensa i enkelte norske innsjøar (og fjordar) kan ikkje utelukkast, men dette gjeld i så fall truleg berre eit fåtal lokalitetar.

Slocum-glidaren er ein av fleire typar autonome farkostar av same slag. Eigenskapane frå type til type kan variere noko, men er i prinsippet ganske like. Glidaren vår let seg manøvrere i Hornindalsvatnet, til å dykke til berre nokre meter får botnen før den snudde automatisk. I tilfelle der den kom nær botnen på grunnare vatn, fungerte også den innebygde funksjonen med å avbryte dykket og gå opp. Andre typar autonome farkostar kan også nyttast i overvaking, slik som AquaDrone, Wave-glider og Sailbuoy. Desse går i overflata, og kan måle der. Wave-glidaren kan måle ned til 7-8 m djup. I tillegg kan desse farkostane nyttast som kommunikasjonslink mellom instrumentering som står fast på botnen, og land. Kommunikasjon gjennom vatnet skjer då med akustisk modem.

Vi utfordra ikkje glidaren på å gå heilt nær land og inn på grunt vatn, der vil den nok ha sine avgrensingar. Dette kan testast ut ved eit seinare høve. Nedskalering av storleiken til farkostane vil lette praktisk arbeid med desse, og vil vere eit aksjonspunkt viss det skal satsast vidare på bruk av slik metodikk i miljøovervakinga. Måleteknisk fungerer desse farkostane like godt- eller betre enn konvensjonelle metodar med nedsøkkbare målesonder. Sensorane kan vere av same type, og det er gjerne plass til fleire sensorar i ein autonom farkost enn i målesonder.

Farkostane krev oppsyn av ein operatør (pilot) via internett. For operasjonar i havet skjer dette ved at involverte deler på oppgåvene, tek vakter etter tur og overvakar mange farkostar samstundes. Dette er med på å redusere dei operasjonelle kostnadane. Ved ein operasjon i ein innsjø eller lokalt i ein fjord, vil pilotar tilknytt større sentra kunne ivareta overvakinga. Dette treng ikkje vere kontinuerleg, men ein bør kon-

trollerte tilstanden med mellomrom, minst ein gong pr. dag. Farkostane har naudprosedyrer ved uventa hendingar, og for glidarens vedkomande vil den då gå til overflata og sende ein alarm, slik at operatøren kan gå inn momentant og omprogrammere den.

Kort oppsummert må forsøket med testing av autonom farkost i ein djup, norsk, innsjø (Hornindalsvatnet), reknast som vellykka. Forsøket gjev grunnlag for å tenke vidareutvikling og kostnadsreduksjonar med tanke på meir vidstrakt bruk av slike farkostar i miljøovervaking i innsjøar og fjordar både på nasjonalt og regionalt nivå, og også i samband med midlertidige tiltak slik som vegarbeid og anna anleggsarbeid som kan medføre forureining i vatn/sjø.

Litteratur

- Boehrer B, L. Golmen, J. Løvik, K. Rahn og D. Klaveness 2013: Thermobaric stratification in very deep Norwegian freshwater lakes. *Journal of Great Lakes research* 39(4):690-695.
- Crook, J. og C. Schofield 1997: Sampling strategies for oceanographic features. I: *Operational Oceanography* (Red. H. Stel), 408 – 421, Elsevier.
- Golmen, L., G., K. Kvalsund og E. M. Bruvik 2014: Forsøk med drone til miljøovervaking i innsjø. NIVA-rapport Nr 6653-2014, 35 s.
- Nicholson, M. D. og R. J. Fryer 1992: The statistical power of monitoring programmes. *Mar. Poll. Bull.* Vol. 24, Nr 3, 146-149.
- Peterson, S. A., N. S. Urquhart og E. B. Welch 1999: Sample representativeness: A must for reliable regional lake condition estimates. *Env. Sci. Technol.* Vol. 33, 1559-1565.
- Radford, P.J. og J. West 1986: Models to minimize monitoring. *Water Res.*, Vol 20, Nr 8, s 1059-1066.
- Zeng, J., S. Li, Y. Li, X. Wang og S. Yan 2014: Performance of a portable autonomous observation system. *Proceedings, IEEE Oceans 2014 konferansen, Taipei, april 2014.*
- Østrem, G., N. Flakstad og J. M. Santha 1984. *Dybdekart over Norske innsjøer (Bathymetry of Norwegian lakes)*. Medd. Nr. 48, NVE, Hydrologisk avdeling, Oslo.