



FOI MEMO

Projekt
Utvärdering av data gällande undervat-1 (15)
tensbuller

Sidnr

Projektnummer
E64203
FoT-område
Undervattensteknik

Kund
Havs- och vattenmyndigheten

Författare
Mathias H. Andersson, Emilia Lalander,
Markus Linné

Datum
2022-03-23

Memo nummer
FOI Memo 7848

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrunds ljud i havet

Sammanfattning

Syftet med detta Memo är att ge HaV underlag för att utvärdera tekniska och ekonomiska aspekter av två typer av hydrofonsystem för inspelning av undervattensljud, som underlag för planering av det nationella övervakningsprogrammet för kontinuerligt undervattensbuller enligt havsmiljödirektivet.

Det finns olika typer av hydrofonsystem som kan användas för att spela in ljud i havet. Hydrofonsystemen kan t.ex. vara batteridrivna eller också anslutna till land via kabel och det finns både för- och nackdelar med båda systemen. De batteridrivna hydrofonsystemen finns kommersiellt tillgängliga till ett relativt lågt pris. Systemen är enkla att hantera, har relativt god datakvalitet och driftssäkerhet. Till nackdelarna hör att man inte vet om data har spelats in förrän systemet är upptaget och att det finns vissa brister med datakvalitet vid specifika frekvenser kopplat till systemens egenresonanser. Vidare finns det begränsningar i batteri- och minneskapaciteten men samtidigt finns ingen geografisk begränsning då de kan placeras i stort sett var som helst ner till 100 djup.

Det finns kommersiellt tillgängliga kabelanslutna hydrofonsystem, men i det här fallet beslutade FOI att utveckla ett eget system från grunden, för att kunna anpassas efter projektets och framtida forskningsfrågor. De stora fördelarna med ett kabelanslutet system är att man i realtid kan följa inspelningen och agera om något händer. Samtidigt finns det ingen begränsning i driftslängd. Dessutom kan automatiserade analyser utföras i systemets dator och viss data kan skickas över mobilt datanät. Datakvaliteten är hög, men elektroniska störningar från elnätet måste beaktas vid systemdesign. Ett kabelanslutet hydrofonsystem är dyrare, framförallt beroende på längd och typ av kabel samt högre installations- och i vissa fall servicekostnader och fungerar bara nära kusten.

Titel

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

Memo nummer

FOI Memo 7848

Bakgrund

Kunskapen om vilka ljudnivåer som finns i våra svenska hav är begränsad idag. Civila långtidsmätningar av undervattensljud har endast pågått sedan 2014 på ett fåtal platser (Lalander and Andersson, 2017; Mustonen *et al.*, 2019; Lalander *et al.*, 2021). Information om ljudnivån är nödvändig för att kunna utvärdera miljöstatusen med avseende på belastningen av kontinuerligt undervattensbuller enligt havsmiljödirektivet (EU, 2017) men även för HELCOM och OSPARS återkommande utvärderingar.

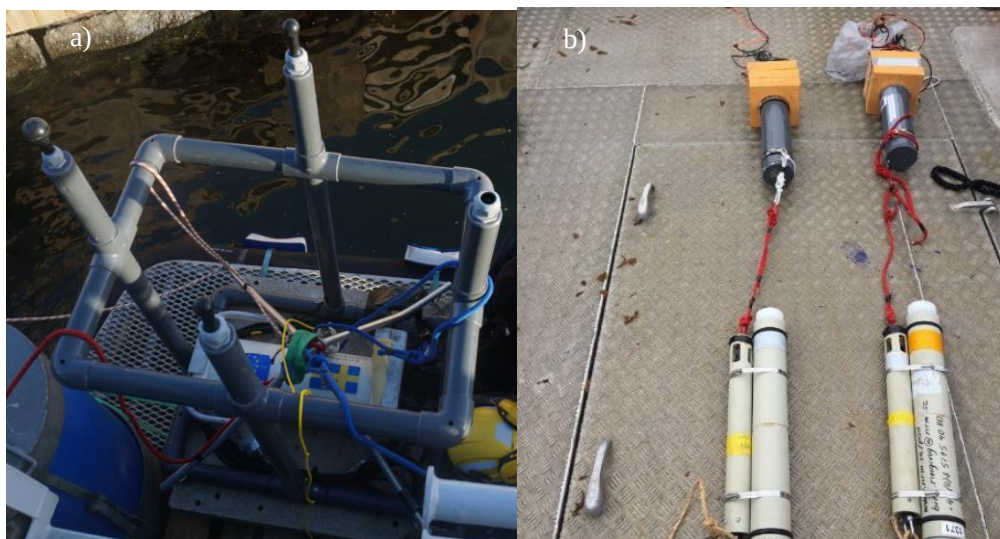
I EU INTERREG Nordsjöprojektet Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS) har en ny typ av hydrofonstation utvecklats och testats för att spela in undervattensljudet i havet. Ett kabelanslutet hydrofonsystem utvecklades av FOI med syfte att spela in undervattensljud i realtid i havsområdet väster om ön Vinga utanför Göteborg (figur 1a). I det nationella övervakningsprogrammet som finansieras av Havs- och vattenmyndigheten (HaV) används idag batteridrivna hydrofonsystem som byts ut var sjätte månad, som t.ex. används vid stationen vid Hönö ett par kilometer norr om Vinga (figur 1b). En kabelanslutet hydrofonstation har ett par fördelar jämfört med ett batteridrivet system när det gäller prestanda, kvalitet och kontroll, men är dyrare i anskaffningskostnad samt i viss mån drift.

På uppdrag från HaV har FOI tagit fram detta Memo som omfattar en analys av de två typer av hydrofonssystem som används inom JOMOPANS och det nationella miljöövervakningsprogrammet. Detta Memo ger HaV underlag för att utvärdera för- och nackdelar med systemen samt sammanställer faktorer att ta hänsyn till för planering av det nationella övervakningsprogrammet för kontinuerligt undervattenbuller.

Mål

Målet med detta Memo är att jämföra två typer av hydrofonstationer genom att:

- Utföra en teknisk beskrivning och jämförelse mellan dessa system.
- Beskriva påverkansfaktorer för datakvalitet och driftssäkerhet.
- Sammanställa översikt av anskaffnings- och driftkostnader.
- Diskutera tekniska skillnaderna och användbarhet.



Figur 1. a) Vingatationens sjöenhet där den vita lådan med svenska flagga innehåller elektroniken och betongplattan fungerar som barlast. På toppen av den grå rörkonstruktionen, 1,5 m över betongplattan, sitter två hydrofoner och en sändare. b) Batteridrivna hydrofonsystem DSL LS1 (mörkgrå med orange krage), akustisk utlösare (smalt ljusgrått rör) och en akustisk tumlardetektor (CPOD) för tumlarövervakning (tjockare grått rör).

Titel

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

Memo nummer

FOI Memo 7848

Teknisk beskrivning

Det finns olika typer av hydrofonsystem som kan användas för att spela in ljud i havet, och här jämförs ett batteridrivet system med ett hydrofonsystem som är anslutet till land via en kabel. I ett kabelanslutet hydrofonsystem är hydrofonen ansluten med en kabel till en dator på land där data lagras, vilket är fallet vid Vinga. Det medför även att man i realtid kan följa den data som spelas in. I batteridrivna system lagras data i själva enheten. Denna teknik används vid Hönö stationen. I detta kapitel ges en teknisk beskrivning av dessa typer av system.

Vinga kabelansluten station

Vingastationen utvecklades av FOI inom JOMOPANS-projektet under 2018-2021. Det var en satsning på ny teknik då Sverige idag inte har någon liknande civil hydrofonstation som kan spela in bakgrundsljud över lång tid i realtid med möjlighet till fjärrstyrning. Det finns kommersiella system att köpa som kan klara av det behov av data som finns inom det nationella övervakningsprogrammet men dessa system har ofta begränsade inställningsmöjligheter och i ett forskningsprojekt likt detta vill man kunna testa olika konfigurationer för att optimera datainsamlingen. Stationen består av tre huvuddelar: 1) sjöenhet som består av två hydrofoner och en sändare, ett datainsamlingssystem och en nätverksswitch som skickar signalerna till land, 2) kabeln som kopplar ihop sjöenheten med landenhetsen och 3) landenhetsen som strömförsörjer sjöenheten samt tar emot data och lagrar den på en hårddisk (figur 2). Systemet sjösattes i maj 2019 och fungerade i huvudsak väl fram till det togs upp i februari 2020 (tabell 2). Under 2020 gjordes en hårdvaruuppgradering, inköp av ny kabel då den gamla kabeln var skadad och systemet sjösattes igen i november 2021.

Hydrofoner och sändare

Det uppgraderade systemet har två hydrofoner av typen Neptune D70h, medan den första versionen hade bara en. Hydrofonerna, som har en inbyggd förstärkare, har en total känslighet på -153 dB re 1 V/ μ Pa. Systemet har även en sändare av typen Neptune D45 som används för att funktionstesta hydrofonerna regelbundet när det står på havets botten. Just denna funktion finns inte i ett kommersiellt system idag.

En systemkalibrering gjordes i FOIs tank i Kista och systemet testades sedan i havsmiljö vid FOIs försöksplats i Stockholms skärgård, innan det sjösattes. Den första versionen hade hydrofon och sändare som svävade ca tre meter över botten med hjälp av små flytbojar. Detta gjorde att sjösättningen 2019 var utmanande och risk för skador på systemet var hög samt att systemet uppvisade visst ökat brus när det var höga vattenströmmar ($< 0,3$ m/s). I den uppgraderade versionen sitter de två hydrofonerna och sändaren fast i en pvc ställning, ca 1,5 m över botten (figur 1a). Ställningen gör sjösättningen mindre riskfylld och hydrofonerna mindre känsliga för vattenströmmar.

Datainsamling, signalgenerering och lagring

I sjöenheten finns en programmerbar realtidsenhet (National Instruments cRIO 9063) med en signalupplösning på 24 bitar med en valbar samplingsfrekvens. Signalen från hydrofonen skickas till landenhetsen i en 2 kilometer lång fiberkabel. Systemet styrs av en dator på land genom ett LabVIEW genererat program. Inkommande data lagras på en extern hårddisk vars diskstorlek begränsar vilken samplingshastighet som är möjlig. I dagsläget är systemet programmerat att samla in data med 51,2 kHz frekvens. Denna samplingshastighet medför att data upp till strax över 20 kHz kan analyseras vilket innefattar utstrålat buller från de flesta fartygen, ljud från vind och vågor samt biologiskt ljud från fiskar, säl och vissa valar. Men systemet är flexibelt och samplingshastighet kan ökas upp till 102,4 kHz.

Vid bestämda tidpunkter skickas femton kalibreringspulser med Neptune D45 sändaren i frekvensintervall 2 kHz till 20 kHz för att övervaka hydrofonernas känslighet över tid.

På land finns även en AIS-mottagare som tar emot data på fartygsrörelser i närområdet. Dessa data lagras på hårddisken så att ljudinspelningarna kan kopplas mot fartygsrörelser i nära realtid. Det finns

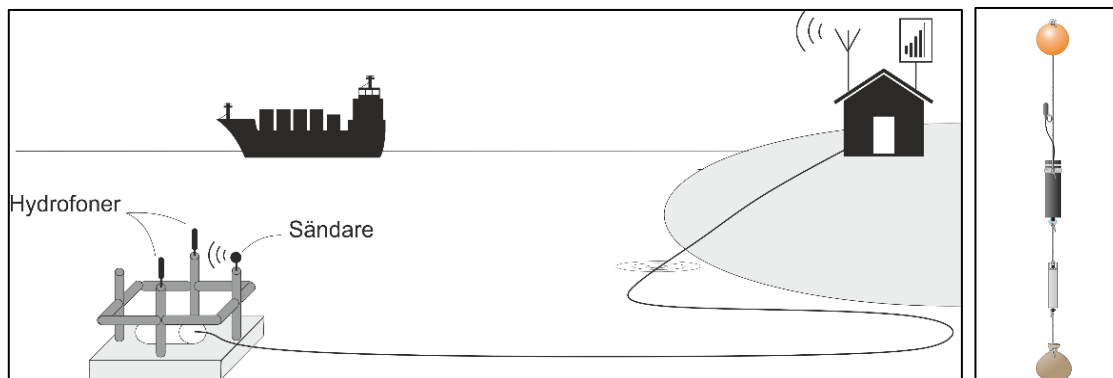
Titel

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

Memo nummer

FOI Memo 7848

även en 4G-router som möjliggör fjärrstyrning av hela systemet samt förser stationen med uppdaterad systemtid, vilket gör klockdriften negligerbar i sammanhanget. Information om väder inhämtas från SMHI:s webbsida från den väderstation som sitter på Vinga. Dessa data kopplas dock inte i realtid till ljuddata men kan användas för postprocessering. Parallellt med datainsamlingen processas och analyseras rådata med hjälp av algoritmer som utvecklats inom JOMOPANS för att ta fram statistik på ljudnivåer över tiden. Algoritmerna är baserade på de av projektet framtagna standarderna (Robinson *et al.*, 2021). Resultatet av denna analys är direkt användbart till rapporteringen för kontinuerligt buller enligt havsmiljödirektivet.



Figur 2. Vänster: Skiss av Vingastationens olika delar. Sjöenheten (nedre vänstra hörnet i figuren), med den nya ramen, ligger på havets botten på ca 46 m djup. Hydrofon och sändare sitter ca 1,5 m över botten. Sjöenheten är sammanlänkad med landstationen med en 2000 m lång fiberoptisk hybridkabel. Landstationen har både radiomottagare för AIS-kommunikation samt en trådlös uppkoppling via mobilt datanät. Höger: Skiss av ett batteridrivet hydrofonsystem och dess rigg. Högst upp, sitter en boj (orange) som lyfter systemet till ytan när systemet släpps loss. Nedanför den hänger hydrofonsystemet (mörkgrå cylinder). Hydrofonen fästs mot repet med en gummiring och svävar ca tre meter över botten. "Release-enheten" (ljusgrå cylinder) hänger längst ned i vattenvolymen ovanför jutesäcken. Vid en given akustisk signal frigörs systemet från jutesäcken och flyter till ytan.

Hönö batteridrivna station

Hönö-stationen har varit igång sedan 2014 inom EU projektet BIAS och sedan oktober 2015 har stationen använts inom det nationella övervakningsprogrammet för kontinuerligt undervattensbuller. Ljudinspelningsutrustningen vid Hönö består av batteridrivna hydrofonsystem (insamlingsenhet och en hydrofon) som står på botten med en barlastvikt bestående av en jutesäck fylld med grus (figur 2). Hydrofonen är frikopplad från insamlingsenheten med en kabel och placerad ca tre meter över botten. Stationen underhålls cirka var sjätte månad då en ny rigg sjösätts och den gamla tas upp. Riggen tas upp genom att en akustisk signal skickas från ytan ner till en releaser-enhet som sitter på riggen som då frigör systemet från barlastvikten och systemet flyter upp till ytan. Kvar på botten blir jutesäcken med grus.

Hydrofon och datainsamlingssystem

Batteridrivna hydrofonsystem finns kommersiellt tillgängliga. De system som används för tillfället är modellen DSG LS1 från Loggerhead Instruments samt Soundtrap ST500 från Ocean Instruments. Då det finns små skillnader i prestanda mellan dessa system, men båda systemen levererar nödvändig data för användning inom det nationella miljöövervakningsprogrammet. För DSG LS1 kan olika typer av hydrofoner anslutas med önskad känslighet och dessa hydrofoner tillverkas av HTI. För Soundtrap ST500 är både datainsamlingssystemet och hydrofonen tillverkade av Ocean Instruments. Under längre mätserier (år) är det vanligt att ett instrument från en tillverkare byts till ett instrument från en annan tillverkare. Alla inköpta system testas och kalibreras hos FOI för att pröva dess funktionalitet. Inför varje utsättning och efter varje upptag sker en funktionskalibrering (endast vid en frekvens) för att kontrollera systemets känslighet.

Titel

Memo nummer

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

FOI Memo 7848

Minnes- och batterikapacitet

DSG LS1 och Soundtrap ST500 har ett antal skillnader, där de största skillnaderna är uthållighet i tid och möjligheten till komprimering av filer (tabell 1). DSG LS1 har kapacitet för fler batterier, men drar mer ström och kan alltså inte spela in lika många dagar vid kontinuerlig drift som en Soundtrap ST500. Soundtrap ST500 har även kapacitet för mer data pga. dess komprimerade filer. Dock spelar DSG LS1 in rådata i wav-format som är direkt läsbart i analysprogrammet, och tidsåtgången vid postprocesseringen är kortare. Inför varje utsättning uppskattas hur länge instrumentet klarar att spela in vilket beror på samplingsfrekvens, inspelningscykel och planerat serviceintervall. Dock påverkas batterikapaciteten av temperaturen i omgivningen. Ju lägre vattentemperatur desto kortare inspelningstid, vilket måste tas hänsyn till då programmeringen görs. Soundtrap ST500 och DSG LS1 klarar 133 respektive 102 dagars kontinuerlig inspelning (tabell 1).

Tabell 1. Skillnad mellan de två batteridrivna hydrofonsystemen som använts vid långtidsmätningar. *Vid 2 kHz.

Instrument	Soundtrap ST500	DSG LS1
Tillverkare	Ocean Instruments NZ	Loggerhead Instruments
Bandbredd	20 Hz - 60 kHz	2 Hz - 30 kHz
Hydrofontillverkare	Ocean Instruments	HTI
Känslighet [dB re 1 uPa]	-175	-165 till -145
Dynamiskt omfång	96 dB	96 dB
SPL, Egenbrus vid 1kHz [dB re 1µPa/VHz]	36*	27
Maxdjup [m]	200 / 500	300
Antal batterier	9 D-cell	24 D-cell
Batterikapacitet vid kontinuerlig samplering [dagar]	133	102
Komprimering av filer	Ja	Nej

Serviceintervall

Idag sker den nationella övervakningen med ett serviceintervall på sex månader, och det är baserat på erfarenhet, tekniska begränsningar samt kostnader. Om ett längre serviceintervall används är det högre risk för instrumentfel eller förlust av instrument, därmed förlust av data, medan ett kortare serviceintervall leder till högre kostnad vad gäller stöd från personal och fartyg. Fler turer till Hönö är ekonomiskt möjligt, men har hittills inte behövt göras eftersom förlusten av instrument eller maskinvarufel varit låg, vilket har gjort att intervallet på sex månader har använts. Systemen bör dock programmeras så att instrumentet kan spela in minst en månad längre än serviceintervallet. Flera gånger har service-resorna skjutits upp på grund av hårt väder och risken att förlora data på grund av fyllda minneskort är stor om inte detta ingår i beräkningen under programmeringen.

Samplingsfrekvens

En tumregel när det gäller samplingsfrekvensen är den ska vara minst 2,5 ggr den högsta frekvens som ska analyseras. För rapportering enligt havsmiljödirektivet bör alla 1/3-oktavband upp till 20 kHz spelas in. Idag används ofta samplingsfrekvensen 48 kHz enligt JOMOPANS-projektets standard (Merchant, Farcas and Powell, 2018; Robinson *et al.*, 2021). Detta är ett bra val för långtidsövervakning där mycket data ska sparas över lång tid. För högre samplingsfrekvenser behövs instrument som klarar att lagra mer data, och dessutom betydligt större hårddiskar och mer tid för överföring av data och postprocessering.

Inspelningscykel

Inspelningscykeln definieras av hur många minuter per timmeljud spelas in, t.ex. 30 minuter per timme resulterar i att instrumentet spelar in 50 % av tiden. Valet av inspelningscykel avgör hur länge instrumentet kan spela in ljud pga. lagringskapaciteten. För övervakningsprogrammet av undervattensbuller finns ingen nedre gräns för hur lång inspelningscykel som behövs. Huvudsaken är att data samlas in

Titel

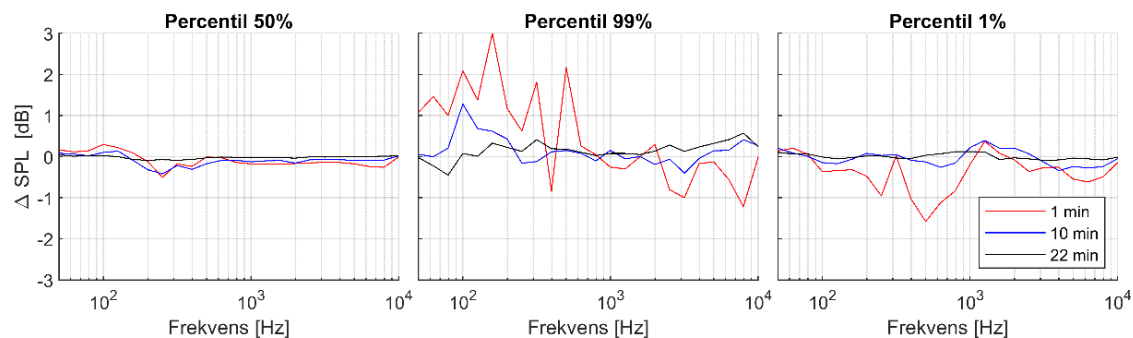
Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

Memo nummer

FOI Memo 7848

och att ljudmiljön kan beskrivas statistiskt för att detektera trender i data över lång tid (år). En för kort inspelningscykel kan dock ge missvisande statistik. Men hur mycket data som behövs för att få en korrekt statistisk beskrivning av ljudet är platsberoende då det beror på hur mycket ljudnivån, både den naturliga och antropogena, varierar över tiden.

I ett försök att undersöka hur inspelningscykeln påverkar månadsstatistiken har 30 dagars inspelad data från Hönö 2018 använts för att beräkna månadsstatistik med olika antal minuters inspelningscykel. I figur 3 visas resultatet för median-, 1 % percentil- och 99 % percentilnivån för tre olika inspelningscykler jämfört med 30 minuters inspelningscykel. Vid 10 minuters inspelningscykel skiljer sig 99% percentilnivån med strax över 1 dB vilket kan anses ligga inom noggrannheten för mätningen, medan det för 1 minuts inspelningscykel skiljer sig 3 dB. 10 minuters inspelningscykel skulle därmed räcka för att få en bra statistik över ljudmiljön i området. Men om mätningar endast görs 10 minuter per timme omöjliggörs möjligheten att registrera en hel fartygspassage som kan ta upp till 20 minuter beroende på fartygets storlek och hastighet. Denna information är viktig att ha för forskningsfrågor som rör beräkning av en akustisk signatur från fartyg. Akustiska signaturer från fartyg används för uppskattningar av vilka fartygsklasser som bidrar till det uppmätta bruset och för modellering av ljudbildskartor. Vid mätning av minst 50 % av tiden fångas åtminstone en del fartygs hela passage upp, samtidigt som det blir en balans i serviceintervallet. Både Soundtrap och DSG LS1 klarar att spela in ljud i 6 månader om inspelningscykeln är satt till maximalt 30 minuters inspelning per timme.



Figur 3. Inspelningscykelns påverkan på medelvärde. Statistik från Hönö för 30 dagars inspelning mellan april och maj 2018. Ljudtrycksnivån (SPL) som funktion av frekvens för olika antal minuters inspelningscykel (se teckenförklaringen till höger) har subtraherats med SPL för 30 minuters inspelningscykel. Resultatet visas för tre olika percentiler.

Klockdrift

Filerna som samlas in tidsstämplas med hydrofonsystemets interna klocktid. Vid postprocessering kompenseras tiden för driften. Alla klockor driver, men beroende på konstruktion och kvalitet är klockdriften olika i olika system. Klockan i en DSG LS1 driver mer än den i en Soundtrap ST500. Erfarenheter visar att klockan i en DSG LS1 kan driva med upp till 16 minuter under 6 månaders inspelning, medan klockan i en Soundtrap ST500 driver med som mest 3 minuter under samma inspelningstid. Fördelen för DSG LS1 är att klockbatteriet är separat från batterierna som används för att spela in och lagra ljuddata. Om batterierna för inspelningen tar slut i en DSG LS1 så kan klockdriften ändå beräknas vid upptaget av instrumenten medan i en Soundtrap ST500 nollställs klockan när batterierna tar slut och driften kan inte beräknas vid upptaget. Detta gör att det är svårare att t.ex. koppla fartygspassager från AIS data till noterade ljudtoppar i insamlad ljuddata.

Dataprocessering

All processering sker efter upptag och resultaten kan först då rapporteras enligt havsmiljödirektivet, i dagsläget enligt HELCOMs bullerövervakningsstandard (HELCOM, 2021).

Titel

Memo nummer

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

FOI Memo 7848

Systemjämförelse

De två inspelningssystemen skiljer sig åt på en hel del punkter, såväl tekniskt, kvalitets- och handhavandemässigt. I det här kapitlet ges en jämförelse mellan de två systemen vad gäller dessa aspekter.

Driftsäkerhet

I det här avsnittet beskrivs olika aspekter av driftsäkerheten, dvs. hur pass säkert det är att ljuddata samlas in under en period. Det kabelanslutna hydrofonsystemet vid Vinga har en kontinuerlig inspelning som rullar hela tiden. För de batteridrivna hydrofonsystemen vid Hönö är det programmerade att spela in ett visst antal minuter per timme, t.ex. 30 min. Men det går det inte att kontrollera att inspelningen har fungerat förrän det tas upp igen.

Vinga kabelansluten station

Detta system är designat att skicka ett mail till en utpekad mottagare om det av någon orsak sker ett avbrott i inspelningen. Via fjärrstyrning kan man då omgående undersöka vad stoppet beror på. Vidare skickas status-meddelanden via epost som visar antal inspelade filer och ifall någon av dessa understiger den förväntade filstorleken. Om systemet tappar strömmen under en kortare tid, är systemet programmerat att starta om sig själv. Datalagringen påbörjas av sig själv för att minimera förluster i datakontinuiteten. Systemet är autonomt på så sätt att datalagringen fortsätter även då kontakten med stationen över 4G nätet bryts. Programuppdateringar kan skötas på distans från kontoret så länge 4G nätet är uppe. Det finns en UPS (Uninterruptible Power Supply) inkopplad som klarar att strömförsörja systemet, i det här fallet, upp till 10 min i händelse av strömbavbrott.

Vingastationen sjösattes i maj 2019 och togs upp i februari 2020 för service. Under tiden som det var igång uppnåddes en mycket hög driftsäkerhet. Vid korta tillfällen stannade den till följd av mjukvaruproblem eller att strömförsörjningen försvann på hela ön vid ett tillfälle. Men det påverkade datainsamlingen endast marginellt (tabell 2). I november 2021 sjösattes systemet igen och inspelningar har påbörjats på nytt och har nu en driftsäkerhet på i stort sett 100%.

Ifall ett allvarligt fel i form av t.ex. kabelbrott eller inträngning av vatten i sjödelen skulle inträffa, behövs en mer omfattande insats innan systemet kan börja spela in data igen, vilket kan dröja flera månader. Just ett kabelbrott noterades under hösten 2020 där kabeln hade blivit avklippt ca 500 m från sjöenheten. Om detta händer tränger saltvatten in i kabeln och förstör fibern. Därför fick en ny kabel köpas in och nya kontakter sättas på. Den nuvarande kabeln är byggd för att klara av att ligga i havet i uppskattningsvis tre år på grund av sitt enkla kabelskydd.

Tabell 2. Insamlade data från Vingastationen under perioden maj 2019 till januari 2022. Siffror anger hur många procent av tiden varje månad som data samlades in. *Inspektionen startade 22 maj.

2019								2020	2021	2022	
Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Jan	Dec	Jan	Feb
86%*	73%	96%	96%	96%	94%	89%*	75%	20%	99%	100%	100%

Hönö batteridrivna station

En rigg med ett batteridrivet system släpps ned från ytan till botten och förväntas spela in ljud under den tiden instrumentet är programmerat att klara av. Trots dessa uppskattningar kan yttre faktorer göra att data går förlorad. Det kan handla om att instrumentet släpper från sin position p.g.a. fiske eller utnötta rep, eller att instrumentet går sönder under inspelningen, alternativt bara slutar spela in p.g.a. programvarufel. Andra faktorer kan vara handhavande vid isättning där en kraftig smäll kan få instrumentet att stänga av eller att minneskort hoppar ur. Om en rigg helt försvinner behöver ett helt nytt system köpas in och dessutom går data förlorade. Det har hänt att instrumenten slitit sig från positionen

Titel

Memo nummer

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

FOI Memo 7848

och i de flesta fall har dessa återfunnits av privatpersoner och återlämnats men två system inom övervakningsprogrammet, under perioden 2015-2021, har aldrig återfunnits.

Stationen vid Hönö har dock varit en av de mer pålitliga jämfört med andra stationer inom miljöövervakningsprogrammet. Endast vid ett tillfälle sedan 2015 har ett instrument försvunnit och inte återfunnits med följd av saknad data under 6 månader (tabell 3). Till följd av risk för instrumenthaveri används numera två instrument vid Hönöstationen för att säkerställa att ljuddata samlas in. Det medför mer arbete inför sjösättning, efter upptaget av instrument och framförallt vid efterbehandling av data men minskad risk för dataluckor i tidsserien.

Tabell 3. Datatillgänglighet från 2014 till 2021 på Hönö-stationen samt Norra Midsjöbanken-stationen. Grönt innebär datatillgänglighet, rött innebär inga data, orange att inspelning pågår och grå att ingen inspelning gjordes på grund av försvunnet system eller inget system i vattnet. Notera att de flesta hydrofonsystem som har använts har en inspelningscykel på 30 min per timme.

Station	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
NM								
Hönö								

Störningar i mätningarna

Alla datainsamlingssystem har störningar av någon form som kan påverka datakvaliteten. En av de stora skillnaderna mellan batteridrivna system och strömmatade kabelsystem är att strömmatade system ofta plockar upp störningar från elnätet i form av 50 Hz brus. Långa kopparledningssystem som kopplas till mätsystem kan därmed fungera som mottagarantenn för dessa störningar och dessa kan spridas in i mätsignalerna. Fiberoptiska system, som i fallet Vingastationen, har fördelen att signalledningarna inte kan plocka upp störningarna, men de finns där till en viss grad och kommer då från elektroniken/kablage vid mätstationen. Andra former av brus kopplas till den fysiska verkligheten som t.ex. termisk brus som beror på rörelseenergin hos t.ex. atomerna i gitterstrukturen i hydrofonernas piezoelektriska kristaller. Sådana bruskaällor är normalfördelade och lägger en barriär där den absoluta lägsta nivån på signalen kan uppmätas. Denna typ av brus är proportionell mot temperaturen.

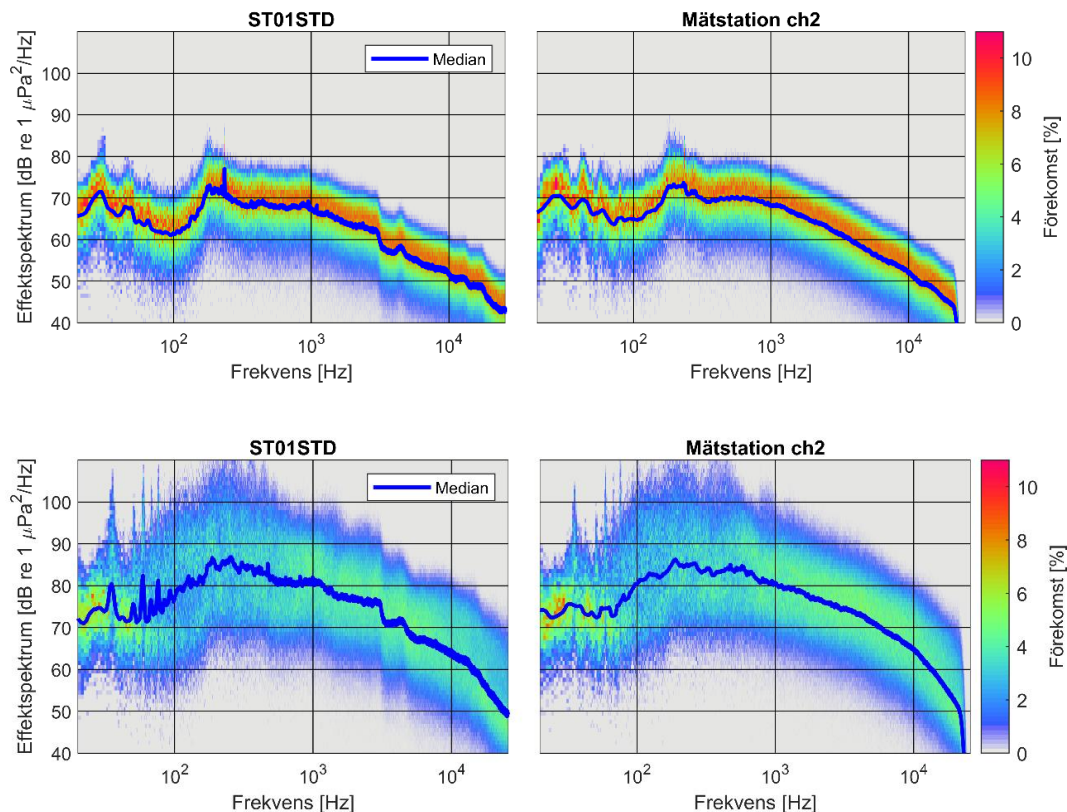
En jämförelse gjordes mellan Vinga mätstation och en Soundtrap 300 som mätte samtidigt, på ca 100 m avstånd från varandra. Jämförelsen syftade till att kontrollera att båda mätsystemen visar liknande ljudtrycksnivåer, samt att undersöka vilka eventuella skillnader som finns. Eftersom mätningarna gjordes ute till havs och bakgrundsbruset var relativt högt pga. stark vind, kunde inte de lägsta nivåerna som instrumenten kan uppmäta studeras. Istället valdes en period då inga fartyg var i närheten, och en period då ett fartyg passerar (figur 4). En tydlig skillnad mellan de två systemen syns i frekvensområdet omkring 5 kHz där Soundtrapens uppmätta ljudnivå ser ut att sjunka något. Detta är något som observerats tidigare för ett antal batteridrivna hydrofoninstrument vid tillfällen då hydrofonen sitter direkt på insamlingsenheten. Vid denna frekvens är orsaken interferens av ljudvågor från kroppen på Soundtrap 300 enheten. Vid vissa frekvenser matchar våglängden kroppens dimensioner. Eftersom kroppen har en hög impedanskontrast mot vattnet så reflekteras ljudet och växelverkar med ljudsignalerna som går direktvägen till hydrofonen. Detta kan visa sig som en dipp eller topp i ljudtrycksnivån. Inget av detta har observerats i resultat från mätstationen. En ytterligare observation är att elektriska störningar som kan vara kopplade till kabelanslutna system inte syns i mätningarna för mätstationen, vilket tyder på de åtgärder som har gjorts för att minska elektriska störningar fungerar.

Titel

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

Memo nummer

FOI Memo 7848



Figur 4. Effektspektrumshistogram som visar ljudtrycksnivån som funktion av frekvens. Jämförelsen är mellan en Soundtrap 300 (ST, vänster) och kanal 2 på mätstationen (höger). Mätningen är baserad på 10 minuters data inspelade på Vinga den 26 november. Som jämförelse visas medianvärdet för den aktuella mätningen. Överst: en period utan fartyg med start kl. 17:48. Inga fartyg passerade i närheten vid tillfället. Underst: En period då ett fartyg passerade med start kl. 17:07.

Dynamiskt omfång

Utöver egenbrus är det dynamiska omfånget en faktor som begränsar kvaliteten hos batteridrivna system, dvs. vilken är den högsta och lägsta ljudnivån som systemet kan spela in. De flesta batteridrivna hydrofonsystem har ett 16 bitars system och har därmed ett dynamiskt område på 96 dB. Ett system som Vingastationen, med 24 bitar har ett dynamiskt omfång på 144 dB har alltså möjlighet att spela in högre och lägre ljudnivåer samtidigt på samma plats. Ju fler antal bitar desto mer datalagringskapacitet behövs, och för syfte att samla in ljuddata inom övervakningsprogrammet är 16 bitars upplösning tillräcklig eftersom ljudnivån sällan är så pass hög att ett större dynamiskt område behövs. Vingastationen har dock inte samma begränsning vad gäller lagringsmöjligheter, och där används ett 24 bitars system. Stationen är också betydligt närmare en farled, och ett större dynamiskt område är motiverat med syfte att spela in fartygspassager även på nära håll. Det finns nyare batteridrivna hydrofonsystem som kan långtidssamplera med ett 24 bitars system, men dessa har inte testats av FOI i dagsläget.

Systemfel

Hönö-stationen har i stort sett varit aktiv sedan 2014 vilket resulterat i den mest kompletta mätserie som spelats in under övervakningsprogrammet fram till idag. Dock användes ett instrument vid två tillfällen som hade ett internt fel på sin förstärkarinställning, något som inte upptäcktes till en början utan först vid en kvalitetskontroll då alla mätningar sattes ihop i en långtidsserie. Detta visas i figur 5

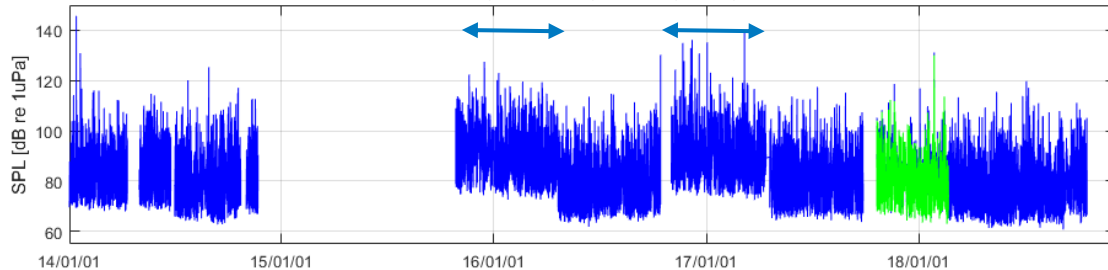
Titel

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

Memo nummer

FOI Memo 7848

där ljudnivån är betydligt högre (~10 dB högre) under perioden HT2015 – VT2016 samt HT2016 – VT2017 då instrumentet med felaktig förstärkning användes, än tidsperioderna före och efter. Ett sätt att undvika detta är att funktionskalibrera varje instrument innan utsättning, något som görs i dagsläget, men inte vid tiden för aktuella mätningarna.



Figur 5. Långtidsserie på 20s-medelvärden för ljudtrycket i 1/3-oktavband (SPL) för kontinuerligt undervattensbuller uppmätt vid Höno-stationen från 2014 till och med 2018 för centerfrekvens 63 Hz. Blå linje är från primära mätstationen och grön linje från en extra mätstation om det funnits någon. Pilar markerar tidsperioder då ett instrument användes som hade fel på sin förstärkarinställning. Mätningarna innan 2018 gjordes med en SM2M från Wildlife Acoustics.

Inköps och anskaffningskostnad

Kostnaderna för systemen har sammanställts för att en jämförelse ska kunna göras. För att göra jämförelsen rättvis har kostnader för att starta upp de båda stationerna tagits med. Kostnaderna kan delas in i anskaffningskostnad och årlig service och underhållskostnad. Specifikationer av de enskilda kostnaderna finns i Appendix, tabell A1. Notera att det är endast en uppskattad kostnad och de faktiska kostnaderna kan vara annorlunda i framtiden.

Vinga kabelansluten station

Det finns kommersiella system som kan köpas med snarlika lösningar som det som FOI tillverkat och till något lägre köpspris men med den stora skillnaden att man inte kan ändra på något och att man inte har en inblick i hur systemen är konstruerade. Valet att utveckla ett nytt system gjordes för att ha maximal frihet att förändra systemet och anpassa det efter de forskningsfrågor som EU projektet har men även andra frågor som kan komma i framtiden. Det finns kommersiella system som är billigare att köpa in och som klarar att leverera nödvändig data för miljöövervakningsprogrammet. Dock är kostnaden för anskaffningen av kabeln och sjösättning den samma. Systemet spelar in kontinuerligt vilket ger en datainsamling på 100 % av tiden.

Totalkostnaden för att anskaffningen och installation av Vinga systemet blev ca 1160 tkr (Appendix, tabell A1). De flesta delar till Vinga station köptes in men vissa komponenter i sjödelen utvecklades av FOI. Kabeln köptes efter en upphandling av Teledyne Reson i USA men kontakterna (från LEMO) fick personal på FOI fästa vilket medförde ca 80 tkr högre totalkostnad för den kompletta kabeln än budgeterat. Frakt av en sådan här kabel är inte helt försumbar (30-50 tkr). Vid installationen krävs ett stort fartyg med kran vilket gör att fartygskostnaden är en väsentlig del av installationskostnaden. I detta fall kunde FOI hyra in ett av Kustbevakningens fartyg. Andra fartyg från privata företag med samma förmåga medför högre kostnader.

Under JOMOPANS-projektet gjordes ett par resor för att se över landenheter inkl. sätta upp en bättre 4G antenn och för att byta hårddiskar. Detta kan anses vara en normal service som behövs göras en gång per år och beräknas kosta 30 tkr (Appendix, tabell A1). Om sjöenheten behöver lyftas något år blir det dyrare, ca 290 tkr per gång, vilket innefattar två fartygshyror, men detta ska endast behöva göras om man noterar att hydrofonernas känslighet börjar avvika från det förväntade, vid skador på kabel eller annat avbrott av datainsamlingen. Designen med en sändare som pingar med jämna mellanrum är till för att man inte ska behöva lyfta systemen i onödan om allt fungerar. Efter ett upptag

Titel

Memo nummer

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

FOI Memo 7848

görs en större översyn av elektroniken i sjöenheten där ev. trasiga komponenter byts eller uppdateras om några störningar har noterats. Om kabeln går sönder eller skadas, kan en helt ny behöva anskaffas vilket blev fallet inom JOMOPANS under 2020 då fiberkabeln var skadad och det medförde en ökad kostnad på ca 380 tkr det året. Sett över en 9-årsperiod blir totalkostnaden 2770 tkr, vilket inkluderar all anskaffningskostnad, årligt underhåll samt en större service inkl. kabelbyte var tredje år. Det går att köpa in en kraftigare kabel som klarar en längre tid men det är betydligt dyrare.

Hönö batteridrivna station

Det finns idag ett antal olika batteridrivna hydrofonsystem på marknaden och FOI har under åren testat flertalet och utvärderat deras prestanda, kvalitet och driftssäkerhet. De två olika system som används idag inom övervakningsprogrammet kostar ca 75 tkr/st. För att starta igång stationen behöver fyra system anskaffas så man kan ha två i vattnet hela tiden. Efter inköpet kalibreras de för att man ska veta hela systemets känslighet, inte bara hydrofonens. Systemen spelar in 30 min/timme vilket ger en datainsamling på av 50 % av tiden. Arbete med att ta fram ett system som är redo att sjösättas kostar ca 70 tkr (Appendix, tabell A2). Förutom hydrofonsystemet består en rigg av en akustisk utlösare, bojar, rep och barlastvikter till en total inköpskostnad på ca 35 tkr. Dessa system kan försvinna i havet eller gå sönder och sett över en längre perioder, har FOI erfarenheten att man behöver köpa in ett nytt system efter ca tre år.

Systemens serviceintervall är sex månader och då sjösätts två nya riggar och den gamla tas upp. Detta årliga arbete inkl. resor samt bearbetning av data och analys kostar ca 110 tkr per år. Sett över en 9-årsperiod blir kostnaden 1830 tkr vilket inkluderar inköp av nya hydrofonsystem var tredje år.

Geografiska begränsningar

En begränsning med ett kabelsystem är att de endast kan användas kustnära och då ett par kilometer ut från land. Därefter blir kabelkostanden extremt hög. Det kan finnas existerande fiberoptiska kablar man kan koppla in sig på i framtiden på andra platser i svenska havsområden men inte idag. De batteridrivna hydrofonsystemen har därmed fördelen att de kan sättas ut i stort sett var som helst ner till 100 m djup, dock beaktat risk för trålning och andra bottenstörande aktiviteter.

Diskussion

För att uppfylla de krav på data som behövs för rapportering enligt havsmiljödirektivet bör alla 1/3-oktavband upp till 20 kHz spelas in. För ett kabelsystem, likt Vingasystemet, är detta inget problem då det har en kontinuerlig inspelning samt att samplingsfrekvensen ökas till 102,4 kHz. För batteridrivna system behövs en optimering av inställningar göras för att nödvändig data ska spelas in. Men det finns många skäl att få så mycket data i så brett frekvensintervall som möjligt när man väl har hydrofonsystem ute i havet. Detta är viktigt inte bara för rapportering enligt havsmiljödirektivet utan även för andra forskningssyften då det finns få civila dataserier av undervattenljud från svenska vatten. I detta kapitel presenteras ett par faktorer och överväganden som kan påverka datainsamling och datakvalitet beroende på ljudinspelningens syfte. Ytterligare information om erfarenheter och lärdomar från det nationella övervakningsprogrammet som har implikationer på val av framtida system presenteras i (Lalander, Nordström and Andersson, 2021).

Tekniska aspekter

Ett kabelsystem som är designat likt Vingasystemet klarar att leverera den data som behövs för havsmiljödirektivet men det är designat att göra mycket mer. För ett kabelanslutet system är nackdelen den högre kostnaden, men parametrar som begränsar datainsamlingen i ett batteridrivet system finns inte. Att ha hydrofonsystemet anslutet till land medför kontinuerlig insamling av data och samplingsfre-

Titel

Memo nummer

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

FOI Memo 7848

kvensen kan sättas i stor sett till vad man vill, beroende på den maskinvara som är installerad. Dessutom sker datahantering och analys parallellt med datainsamlingen och medför ingen extra tid för att tömma minneskort och eller kontrollera datakvaliteten. Sändaren på sjöenheten gör att man kan säkerställa datakvaliteten regelbundet under tiden som systemet ligger ute och systemet servas bara när det föreligger ett behov och inte enbart cykliskt.

För ett batteridrivet system är det först när ett system är inköpt och testat som man har en uppfattning om det är lämpligt för den forskningsfråga som man vill svara på. Det beror på att alla system har egenskaper som inte alltid framkommer i teknisk specifikation som t.ex. hela systemets känslighet eller klockdrift. Inköpskostnaden är låg, men erfarenheter visar att det innebär en del arbetskostnader när man byter tillverkare för att förstå och hantera, både program- och maskinvaruproblem, som kommer att uppstå.

Mervärde för civila myndigheter och fartygsindustrin

Ett kabelanslutet system kan potentiellt användas till mycket mer än vad batteridrivna system kan göra. Ett exempel är en noggrannare mätning av ett fartygs utstrålade undervattensbuller (eng. underwater radiated noise, URN). Idag följer Vingasystemet i stort sett Bureau Veritas tekniska specifikation för att mäta ett fartygs URN (Veritas, 2018). Ett fartygs individuella nivå av URN kan komma att ha betydelse för ett framtida regelverk för begränsningar av undervattensbuller. En station i närheten av Sveriges största hamn där ett fartyg kan få en uppskattning av sitt URN har många fördelar. Till exempel har en metod för att på ett nästan automatisk sätt få fram enskilt fartygs URN har demonstrerats i ett annat FOI-projekt och denna metod kan kopplas till Vingastationen (Lalander *et al.*, 2021). Nivån av URN från enskilda fartyg används idag även för att förbättra källmodeller som används vid framtagandet av ljudkartor likt de som gjorts inom JOMOPANS projektet (Macgillivray and de Jong, 2021). Vidare kan kommersiella fartyg som kör utan AIS detekteras vilket medför en mer korrekt bild av ljudlandskapet vilket leder till en ny typ av statistik som är till nytta för sjöfartsmyndigheter. Även andra detektionsalgoritmer kan kopplas på för att detektera ljud som t.ex. från marina djur i realtid. Samplingsfrekvensen kan vara högre i det kabelanslutna systemet vilket gör att fler intressanta bullerkällor i de högre frekvensintervallen kan spelas in som t.ex. vid geofysiska undersökningar eller i vissa fall vanliga ekolod från fartyg och båtar. Dessa ljudkällor kan få en ökad betydelse i framtiden inom övervakningsprogrammet för undervattensbuller.

Slutsatser

Sammanfattningsvis räcker de batteridrivna systemen till för syftet att enbart samla in data för att rapportera enligt Havsmiljödirektivet. Dessa system är enkla att hantera, har relativt god datakvalitet och driftssäkerhet och kan placeras var som helst i havsområdena. Datainsamlingen blir 50 % av tiden med det serviceintervall som används idag. Till nackdelarna hör att man inte vet om data har spelats in förrän systemet är upptaget och att det finns vissa problem med datakvalitet vid specifika frekvenser för systemen. Vidare finns det begränsningar i batteri- och minneskapaciteten.

Ett kabelanslutet hydrofonsystem kan köpas kommersiellt men då med vissa begränsningar men leverera betydligt mer data för fler ändamål. De stora fördelarna med ett kabelanslutet system är att man i realtid kan följa inspelningen och agera om något händer. Samtidigt finns det i stort sett ingen begränsning i mängd inspelad data eller drifttid. I Vingastationen kan man idag utföra automatiserade analyser i systemets dator och viss data kan skickas över 4G mobilnätet. Datakvaliteten är hög, men elektroniska störningar från elnätet måste beaktas vid systemdesign.

Sett ur ett mer långsiktigt ekonomisk perspektiv är batteridrivet hydrofonsystem fortfarande billigare än ett kabelanslutet, ca 35 %, men ett kabelsystem har större flexibilitet och driftsäkerhet. Den höga kostnaden hänger ihop med kostnaden för kabeln. Om den håller längre än tre år kommer skillnaden bli mindre. Ett batteridrivet system ger 50 % av den datamängd som den kabelanslutna ger, pga. det mindre antalet minuter per timme som spelas in med det serviceintervall som används idag. Utifrån

Titel

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

Memo nummer

FOI Memo 7848

FOIs erfarenheter från både Vinga- och Hönöstationen kan dessa två typer av system komplettera varandra eftersom de svarar på olika forskningsfrågor, där det ena kan leverera data till miljöövervakningsprogrammet på olika geografiska platser och det andra kan fungera som kustnära övervakning samt användas för uppskattning av URN.

Referenser

EU (2017) 'KOMMISSIONENS BESLUT (EU) 2017/848 av den 17 maj 2017 om fastställande av kriterier och metodstandarder för god miljöstatus i marina vatten, specifikationer och standardiserade metoder för övervakning och bedömning och om upphävande av beslut 2010/477/EU', *Official Journal of the European Union*, 125(Maj), pp. 43–74.

HELCOM (2021) *HELCOM Guidelines for monitoring continuous noise*. Available at: <https://helcom.fi/media/documents/Guidelines-for-monitoring-continuous-noise.pdf>.

Lalander, E. *et al.* (2021) *The soundscape in the port of Gothenburg and estimations of ship underwater signatures*. FOI-R--5156--SE.

Lalander, E. and Andersson, M. H. (2017) *Övervakning av buller enligt havsmiljödirektivets deskriptor 11 , slutrapport KABAM 2017*. FOI Memo 6310.

Lalander, E., Nordström, R. L. and Andersson, M. H. (2021) 'Underwater soundscape at the Northern Midsea bank - The influence of ship noise on ambient noise and its implications for marine mammal management'. FOI report FOI-R--5168--SE.

Macgillivray, A. and de Jong, C. A. F. (2021) 'A Reference Spectrum Model for Estimating Source Levels of Marine Shipping Based on Automated Identification System Data', *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4), p. 369. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse9040369>.

Merchant, N., Farcas, A. and Powell, C. (2018) *Acoustic metric specification*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS). Available at: https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20180925143035_Jomopans_Acoustic_indicator_report.pdf.

Mustonen, M. *et al.* (2019) 'Spatial and Temporal Variability of Ambient Underwater Sound in the Baltic Sea', *Scientific Reports*, 9(1), pp. 1–13. doi: [10.1038/s41598-019-48891-x](https://doi.org/10.1038/s41598-019-48891-x).

Robinson, S. *et al.* (2021) *Standard procedure for equipment performance, calibration and deployment*. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS). Available at: https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20190325133343_Jomopans_STD_EquipmentPerformance_Calibration-Deployment.pdf.

Veritas, B. (2018) *Underwater Radiated Noise (URN), Rule Note NR 614 DT R02 E*.

Titel

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

Memo nummer

FOI Memo 7848

Appendix

Här återfinns en mer detaljerad översikt av kostnader för de två typerna av hydrofonsystem. Notera att det är endast en uppskattad kostnad och de faktiska kostnaderna kan förändras i framtiden.

Kabelanslutet system

Tabell A1. Kostnader för anskaffning, samt underhåll av Vinga kabelsystemet på kort (1 år) och lång sikt (9 år). För 9 års cykel innefattar summan själva anskaffningskostnaden för stationen samt två nya kablar och service och underhåll

Anskaffnings- och sjösättningskostnad 1 år	Kostnad uppstart [tkr]
Sjöenhet (anskaffnings- och personalkostnad)	300
Kabel (anskaffnings - och personalkostnad)	380
Landenhet (anskaffnings - och personalkostnad)	160
Installationskostnad (fartygs-, rese- och personalkostnad)	280
Utveckling av programvara för datahantering	40
Summa	1160

Servicekostnad för 9 år	Totalt för 9 års mätning [tkr]
Service och underhåll landenhet, ej upplyft av sjöenhet, 1 ggr per år á 30 tkr per gång	270
2 x Service och underhåll sjö- och landenhet, inkl. upplyft och sjösättning av sjöenhet och service á 290 tkr per gång	580
2 x Anskaffning av kabel vid behov alt. var tredje år á 380 tkr	760
Summa	1610

Totalt på 9 år inkl. anskaffning av två extra kablar	2770 tkr
---	-----------------

Titel

Memo nummer

Utvärdering av två olika metoder för mätningar av bakgrundsljud i havet

FOI Memo 7848

Batteridrivna hydrofonsystem

Tabell A2. Ekonomisk översikt av anskaffningskostnader för att starta upp och driva en övervakningsstation med två batteridrivna hydrofonsystem på kort (1 år) och lång sikt (9 år) inkl. anskaffning av ett nytt hydrofonsystem var tredje år.

Anskaffning-, sjösättning och driftskostnad 1 år	Kostnad uppstart [tkr]
Anskaffning hydrofonsystem, 4 st vid uppstart á 75 tkr	300
Anskaffning av rigg inkl., boj, barlast och akustiska utlösare á 35 tkr, 4 st, 5 års beräknad livslängd, vid uppstart	140
Initiala tester inkl. kalibrering (arbetskostnad) 4 st vid uppstart	140
Första sjösättningen inkl. en service (1 år)	80
Bearbetning av data och analys á 30 tkr (1 år)	30
Summa	690

Servicekostnad för 9 år	Totalt för 9 års mätning [tkr]
Anskaffning hydrofonsystem, 1 st var tredje år, á 75 tkr	150
Anskaffning av rigg inkl., boj, barlast och akustiska utlösare, 1 st var tredje år á 35 tkr	70
Initiala tester inkl. kalibrering (arbetskostnad) per system	70
Service och underhåll av hydrofonsystem, inkl. riggar, 2 ggr per år á 40 tkr per gång (8 år)	640
Bearbetning av data och analys á 30 tkr per år (8 år)	210
Summa	1140

Totalt på 9 år inkl. anskaffning av nya hydrofonsystem	1830 tkr
---	-----------------