

Bottenmonterade mätsystem 2020–2021

Anna Willstrand-Wranne, Martin Hansson, Johanna Linders, Fredrik Waldh, Karin Wesslander, Daniel Bergman-Sjöstrand, Maria Nordström, Raul Salas Labadia, Erik Udéhn, Markus Lindh



Denna sida är avsiktligt blank

Pärmbild

Fotograf: Daniel Bergman-Sjöstrand. Inför utsättning (vänster bild) och under upptagning (höger bild) av bottenmonterat mätsystem vid Understen i Ålands hav.

RAPPORT NR 2021-131

TITEL

Bottenmonterade mätsystem 2020-2021

FÖRFATTARE

Anna Willstrand-Wranne, Martin Hansson, Johanna Linders, Fredrik Waldh, Karin Wesslander, Daniel Bergman-Sjöstrand, Maria Nordström, Markus Lindh, SMHI

UPPDRAGSGIVARE

Havs- och Vattenmyndigheten, Box 11 930, 404 39, Göteborg
Elisabeth Sahlsten (kontaktperson)
Telefon 010-698 60 00
E-post elisabeth.sahlsten@havochvatten.se

PROJEKTANSVARIG

Anna Willstrand Wranne SMHI 426 71 Göteborg
Telefon 011-495 80 00
E-post anna.wranne@smhi.se

TEKNIKANSVARIG

Maria Nordström SMHI 426 71 Göteborg
Telefon 011-495 80 00
E-post maria.nordstrom@smhi.se

SMHI DIARIENUMMER

2021/283/10.7

VERSION 03 – 2022-02-24

Version

01	2021-12-15	Första utkast med struktur
02	2022-01-19	Modifierat dokument
03	2022-02-24	Slutversion för kommentarer

Datum

Granskad av

M Lindh, A Willstrand-Wranne, M Hansson
M Lindh, A Willstrand-Wranne, M Nordström
M Lindh, A Willstrand-Wranne, M Hansson,
D Bergman-Sjöstrand, L Viktorsson, M Nordström

Denna sida är avsiktligt blank

Sammanfattning

För att uppskatta dynamiken i den marina miljön genom miljöövervakning och för att ta fram bra beslutsunderlag till åtgärder i havet så behövs mätningar med hög upplösning i tid och rum. Dagens mätprogram utförs traditionellt med lägre upplösning i tid, i princip månadsvisa provtagningar men med relativt hög rumslig upplösning på olika stationer i svenska vatten.

Målet med projektet är att utvärdera kostnadseffektiva mätsystem med kapacitet att mäta viktiga oceanografiska variabler med hög upplösning i tid som komplement till nuvarande mätprogram. I projektet ingår tre positioner med bottenmonterade system i områden där det kan råda stor variation på korta tidsskalor för variabler som temperatur, salt, syre och ström. De bottenmonterade mätsystemen har mätt temperatur, salinitet och syre vid stationerna L9, Hanöbukten och Understen. Vid Hanöbukten och Understen har även ström mätts. Parametrarna har samlats in med hög upplösning i tid, i snitt var 20:e minut.

De bottenmonterade mätsystemen planerades att sättas ut med R/V Svea och byte av mätsystemen planerades till varje halvår. I en utvärdering av projektet, 1,5 år efter första utsättningen, kan man konstatera att det var svårt att kombinera R/V Sveas schemalagda veckor med bra väder för utsättning och upptag av bottenmätsystemen. Möjligheten för byte av bottenmätsystem är mycket liten då R/V Svea oftast bara passerar förbi varje position för bottenmätsystemen en gång under SMHIs utsjöexpedition. Vid ett tillfälle uppstod ett tekniskt problem som bidrog till att L9-riggen slet sig inför upptag i juni 2021 samt att bottenmätsystemet vid Hanöbukten var borta och inte kunde hittas i oktober 2021, trots upprepade försök. Hanöbukten är en intressant station, men problematisk för bottenmätsystem då området har mycket fiske och framförallt trålande fartyg.

Resultaten från projektet visar att samtliga bottenmätsystem fångar en stor variation och viktig dynamik i temperatur, salinitet, syre och strömförhållanden som den traditionella månadsvisa provtagningen inte lyckas fånga. Månadsvisa mätningar behöver kompletteras med högupplöst data för att oceanografiska händelser, med potentiella viktiga effekter i den marina miljön, skall åskådliggöras tydligt.

SMHIs analys av data i denna rapport visar att bottenmonterade mätsystem har stor potential för att förstå processer som sker på kortare tidsskala i den marina miljön. Till exempel kan de användas för att identifiera områden med korta perioder med syrebrist som har stark negativ inverkan på bottenfauna. Dessa mätsystem ger även värdefulla och kostnadseffektiva data som kompletterar de data som insamlas inom befintliga mätprogram. I rapporten fastslår SMHI att bottenmätsystemen vid L9 Laholmsbukten och Understen bör långsiktigt inkluderas i den nationella miljöövervakningen. SMHI rekommenderar att nästa steg är att testa och utvärdera profilerande flöten, s.k. Argo floats, i lämpliga områden av Östersjön.

Denna sida är avsiktligt blank

Innehåll

1	Bakgrund	1
2	Metodik	1
2.1	Bestyckning av mätsystemen	2
2.2	Referensmätningar	4
2.3	Utförande	4
2.4	Data	5
3	Resultat.....	5
3.1	L9, Laholmsbukten	5
3.1.1	Teknisk analys	5
3.1.2	Analys av data	6
3.2	Understen, Ålands hav.....	9
3.2.1	Teknisk analys	9
3.2.2	Analys av data	10
3.3	Hanöbukten	14
3.3.1	Teknisk analys	14
3.3.2	Analys av data	14
4	Diskussion	19
4.1	Teknisk lösning, utsättning/upptag och fartyg	19
4.2	Insamlad data.....	20
4.3	Mätprogram och mätstrategi	21
5	Slutsatser.....	23
6	Referenser	25

1 Bakgrund

Mätprogrammen för den fria vattenmassan, både nationellt och regionalt, är i huvudsak baserat på traditionella månadsvisa provtagningar. Beroende på målet och syftet i olika mätprogram så anses denna frekvens, om en månad, vara tillräcklig. då t.ex. långsiktig utveckling, trender och klimatförändringar skall undersökas. Men i vissa områden, och för specifika parametrar, så sker omfattande temporala variationer vilket innebär att månadsvisa mätningar behöver kompletteras med mer högupplöst datainsamling.

Små, autonoma och kostnadseffektiva instrument och system öppnar upp för möjligheten att utföra kompletterande mätningar i havsområden där oceanografiska processer sker på kortare tidsskala (Tengberg et al. 1995). Flertalet vetenskapliga studier har visat styrkan i att mäta oceanografiska variabler med bottenmonterade mätsystem, t.ex. nära kusten utanför Göteborg (Nylund et al. 2021) och i synnerhet i Östersjön och Finska viken (Liblik et al. 2013; Stoicescu et al. 2019).

SMHI har sedan tidigare utvecklat och testat bottenmätsystem. Under 2013-2015 genomfördes bl.a. mätningar och test i Havsstensfjord, vid L9 Laholmsbukten, i inre Hanöbukten samt vid Ölands södra udde. År 2020 återupptogs mätningarna med bottenmätsystemen vid tre platser runt Sveriges kust. I den här rapporten presenteras och diskuteras de senaste mätningarna från 2020-2021 vid de tre mätplatserna som valts; L9 Laholmsbukten, Hanöbukten samt Understen i Ålands Hav.

2 Metodik

Enligt överenskommelse med HaV (Miljöövervakning Fria Vattenmassan; HaV Dnr. 40-20) sattes tre bottenmonterade mätsystem ut under 2020-2021, (**Tabell 1, Figur 1**). Ett mätsystem placerades i Kattegatt vid Laholmsbukten (L9), ett i Östersjön i Hanöbukten samt ett i Södra Kvarken vid Understen. I de kommande avsnitten så beskrivs bottenmätsystemen för de tre havsområden där mätningar har samlats in.

De bottenmonterade riggarna är i originalutförande byggda som en pyramidformad ram i rostfritt stål. På mittenstolpen monteras sensorer för strömmätning (Aquadopp, Nortek) och salinitet/temperatur/syre (SBE37-ODO). För att kunna få upp mätsystemet används en akustisk releaser. En akustisk releaser lösgör en flytkula när den tar emot en förprogrammerad akustisk signal. Signalen skickas från en utlösningseenhet ombord på R/V Svea. Riggen och den akustiska releasern är sammankopplade med en s.k. sveplina som är ca 2–3 gånger längre än bottendjupet på positionen. De olika positionerna har helt olika förutsättningar och därför har SMHI under projektets gång utvecklat mätsystemen för att anpassa dem efter position och djup.

Stationen L9 i Laholmsbukten på svenska västkusten valdes av flera skäl (**Figur 1**). Stratifieringen kan vara mycket tydlig med ett tunt lager av saltrikt vatten nära havsbotten där syre förbrukas väldigt snabbt. Stationen L9 är en del av ett regionalt mätprogram för Hallands län och innehåller månadsvisa provtagningar tex salinitet, temperatur och syre. Positionen vid Hanöbukten valdes av två anledningar; dels är havsbassängen Hanöbukten av stort intresse på grund av syresituationen vid botten och dels för att SMHI har en ordinarie station på positionen (**Figur 1**). Datakvaliteten kan verifieras med ett referenskast varje månad enligt miljöövervakningsprogrammet. Positionen Understen i Ålands hav valdes eftersom flödet mellan Bottniska viken och Egentliga Östersjön är av stort intresse (**Figur 1**). Det finns även en stor brist på högupplösta mätningar i området.

Tabell 1. Beskrivning av de tre bottenystemen; Laholmsbukten (L9), Hanöbukten (Hanöbukten) och Understen.

Område	Station/ Stationsnummer	Latitud	Longitud	Instrument	Mätdjup (m)	Mätstart
Kattegatt	L9 33041	N 56° 33,90'	E 012° 43,20'	SBE37SMP- ODO	18	Juni 2020
Hanöbukten	Hanöbukten 33039	N 57° 37,04'	E 014° 52,04'	SBE37SMP- ODO, Aquadopp	79	Juli 2020
Ålands hav	Understen 33038	N 60° 16,20'	E 018° 55,80'	SBE37SMP- ODO, Aquadopp	220	December 2020

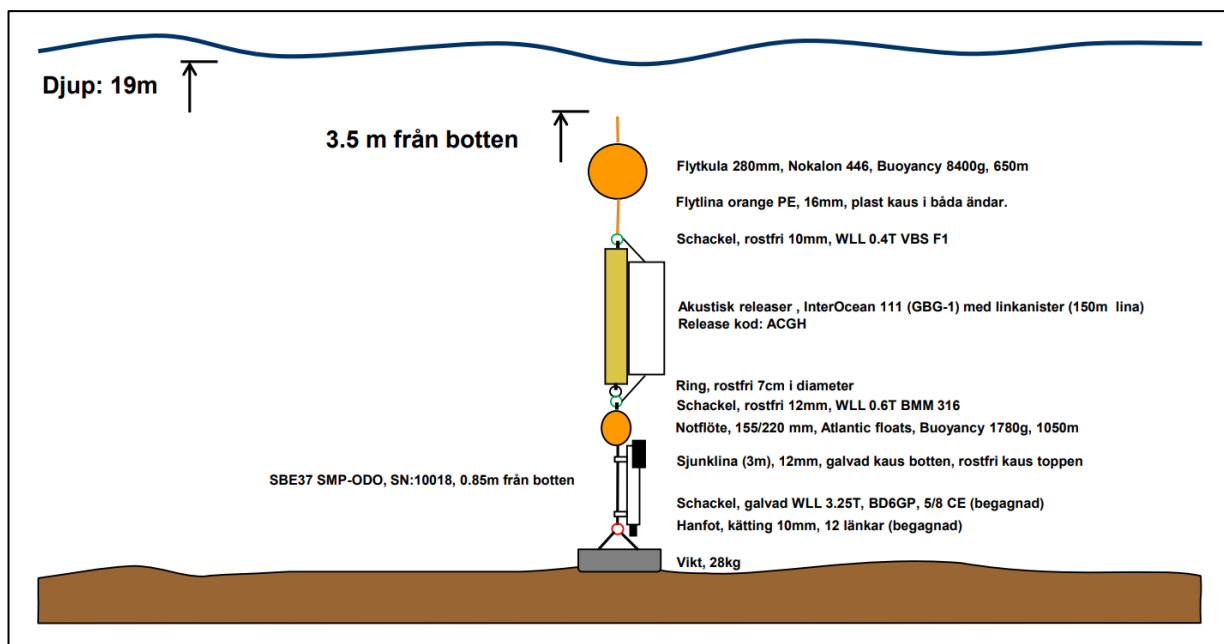


Figur 1. Karta över positionerna för bottenmätsystemen runt Sveriges kust i tre olika havsområden, Laholmsbukten (L9), Hanöbukten och Ålands hav (Understen).

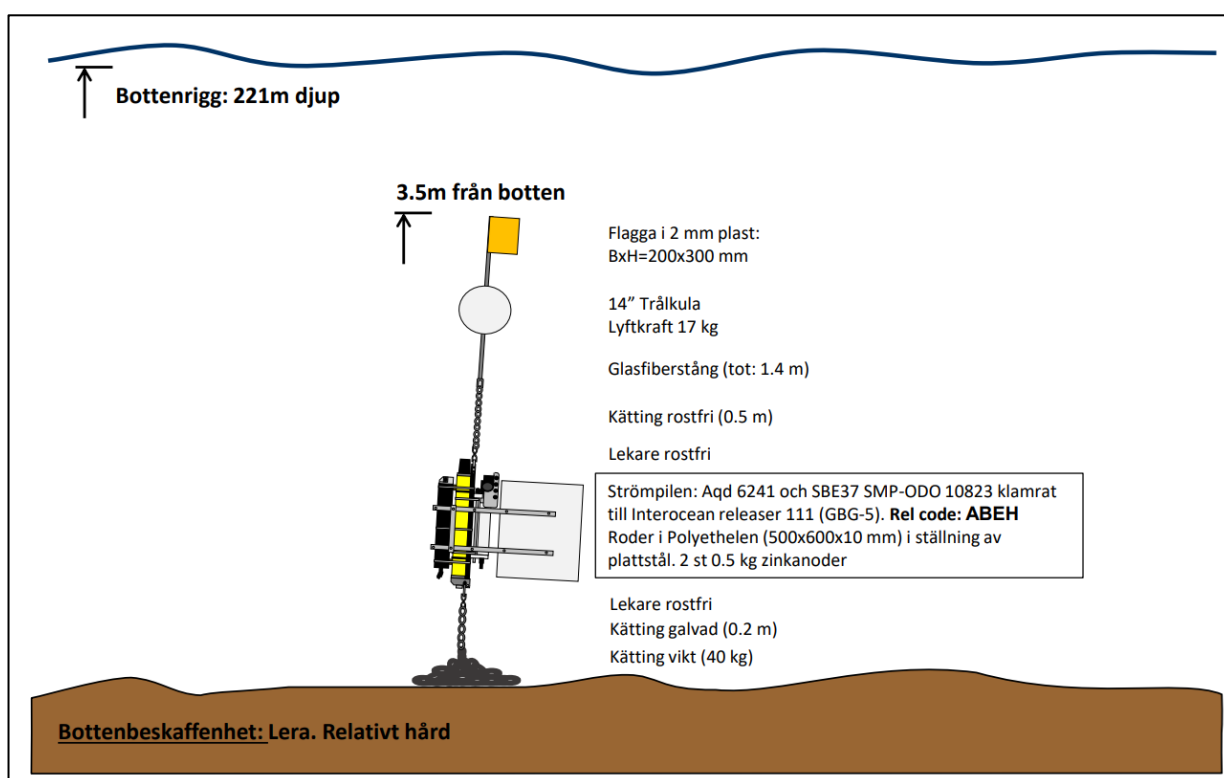
2.1 Bestyckning av mätsystemen

Systemet vid L9 var bestyckat med instrument för att mäta salinitet, temperatur och syre (**Figur 2**). Strömmätningar på L9 har tidigare visat ha mindre betydelse (Opublicerad SMHI-rapport av Borenäs et al.) varför systemet sätts ut utan strömmätare. Vid Hanöbukten och Understen var bottenmätsystemen bestyckade med instrument för att mäta salinitet, temperatur, syre och ström i en punkt (**Figur 3**, **Figur 4**).

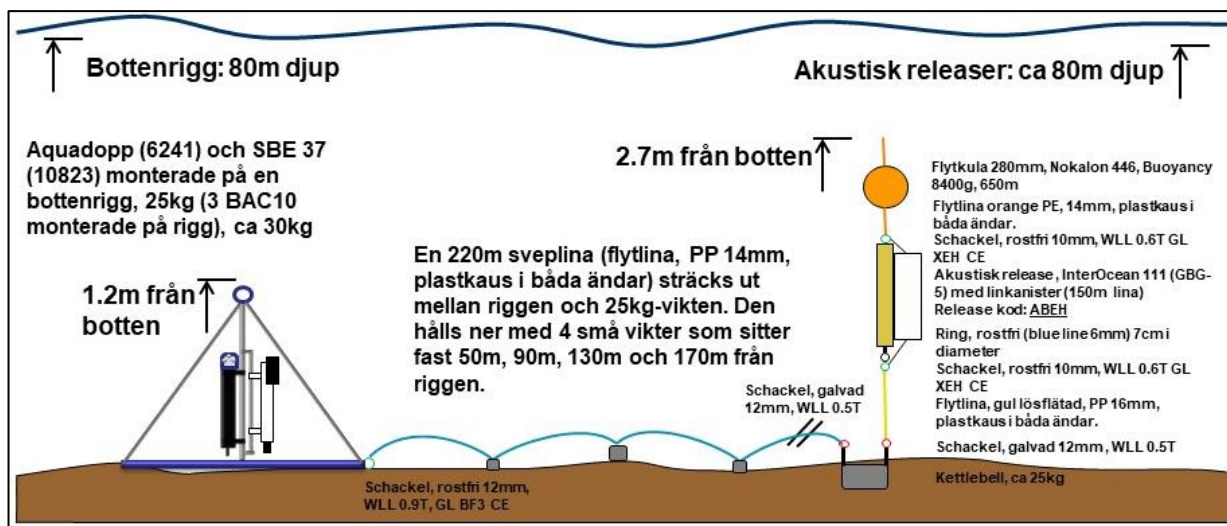
I projektet placerades mätsystemen ut med en eller två månaders mellanrum och planering gjordes för att försöka byta systemen efter 6 månader och ersätta system 1 med ett reservsystem, för att skapa obrutna mätserier. Det system som togs upp skickades hem till verkstaden för service och underhåll för att kunna vara utbytessystem för system 2 o.s.v. Inom projektet har SMHI byggt nya riggar för att kunna göra byten vid positionerna på ett smidigt sätt.



Figur 2. Skiss över bottenmätsystemet vid L9 med sensorer för salinitet, temperatur och syre. På skissen har systemet ingen akustisk release monterad utan skall enligt plan draggas upp med hjälp av sveplina.



Figur 3. Skiss över det nyutvecklade mätsystemet vid Understen.



Figur 4. Skiss över mätsystemet vid Hanöbukten.

2.2 Referensmätningar

Referensmätningar görs alltid vid utsättning och upptag av mätsystemen. Utöver dessa tillfällen finns följande provtagning:

- L9 Laholmsbukten: Månatlig provtagning inom Hallands Kustvattenkontroll.
- Hanöbukten: Månatlig provtagning inom det nationella utsjöprogrammet.
- Understen: Ingen referensprovtagning har varit möjlig under projektiden bland annat på grund av att FMI har inte fått tillstånd att gå till positionen med R/V Aranda av svenska Försvarsmakten.

2.3 Utförande

Utförandet av upptag och utsättning samt mätperiod anges i **Tabell 2**.

Tabell 2. Verkligt utfall för upptag och utsättning av bottenmätsystemen.

Position	Parametrar	Mätstart	Byten	Försök till byten
L9 (Laholmsbukten)	Salt, temperatur, syre	Juni 2020	December 2020, juli 2021	Juni, oktober och december 2021, januari 2022
Hanöbukten	Salt, temperatur, syre, ström	Juli 2020	Mars 2021	Januari, februari, oktober samt november 2021
Understen (Ålands hav)	Salt, temperatur, syre, ström	December 2020	Maj och december 2021	

2.4 Data

Data som insamlas med automatiska mätsystem tas om hand av SMHIs oceanografiska datagrupp. När samtliga observationer från ett mätsystem inkommit till SMHI genomgår de automatiska kontroller för gränsvärde (gross range test), spiktest (spike test), förändringstest (rate of change test) och flat-line test (Bushnell 2019). Detta följs sedan av en visuell kontroll av data.

I samband med strömmätningen gör ADCP instrumentet egna kvalitetskontroller. Faktorer som signalstyrka, instrumentets lutning, pitch och roll kontrolleras (N3015-023-Integrators-Guide-Classic_0821 och N3015-031 ComprehensiveManual_ADCP_0921-compressed). Detta ger upphov till ett tiotal kvalitetsflaggor per mätvärde som också beaktas vid granskningen av data. Den data som insamlats med SMHIs bottenmätsystem har databaslagts till SMHIs interna databaser samt finns tillgänglig via SMHIs öppna data (<https://www.smhi.se/data/oceanografi/ladda-ner-oceanografiska-observationer>). Använd länken nedan eller sök på ”Ladda ner oceanografiska observationer” på hemsidan för att nå SMHIs öppna data. Via kartan i användargränssnittet eller genom att söka på stationsnamn kan data, per parameter, sökas ut och därefter laddas hem. I filerna är det noterat om data har genomgått kvalitetsgranskning eller ej.

De referensdata, insamlade inom nationell eller regional miljöövervakning, som har använts i denna rapport är hämtade från SHARKweb (<https://sharkweb.smhi.se/hamta-data/>). Här kan biologiska, fysikaliska och kemiska marina miljöövervakningsdata fritt laddas ner. SMHI är på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten nationell datavärd för oceanografi och marinbiologi och är av UNESCO utsedd till Nationellt Oceanografiskt Data Center (NODC).

All visualisering och analys av data utfördes med hjälp av programmet R och paketet ggplot2 (R Core Team 2021; Wickham H 2016).

3 Resultat

3.1 L9, Laholmsbukten

3.1.1 Teknisk analys

Ett första system sattes ut under sommaren 2020 och byttes sedan innan jul samma år. När systemet återigen skulle bytas i juni 2021 kom ingen flytkula upp efter att den akustiska releasern aktiverats. Någon dag efter anmälde allmänheten att mätutrustning hittats på stranden i Påarp, d.v.s. längts in i Laholmsbukten. Det var den akustiska releasern som hittats och det kunde konstateras att den legat där sedan en längre tid och alltså inte lossat i samband med bärgningsförsöket samma vecka. Under juliexpeditionen gjordes ett försök att dragga upp systemet, d.v.s. man drar med en krok längs botten för att fånga sveplinan. Detta lyckades och systemet kunde plockas upp och ett nytt system sattes ut.

Byte av systemet under vintern 2021 har misslyckats på grund av dåligt väder och svårigheter att komma till positionen under dagsljus. Under vinterperioden är dagarna korta och det är svårt att planera in besöket under dagtid vilket är att föredra.

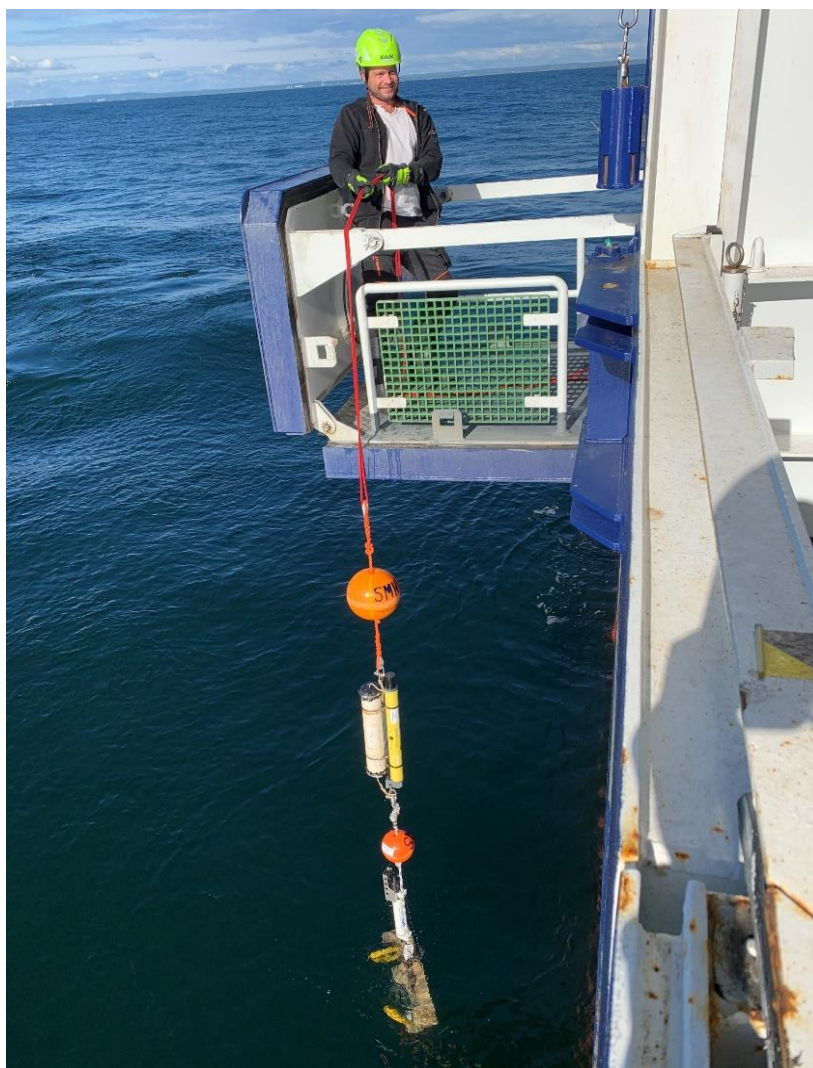


Bild 1. Utsättning av mätsystemet vid L9 med R/V Svea. Foto: Martin Hansson, SMHI.

3.1.2 Analys av data

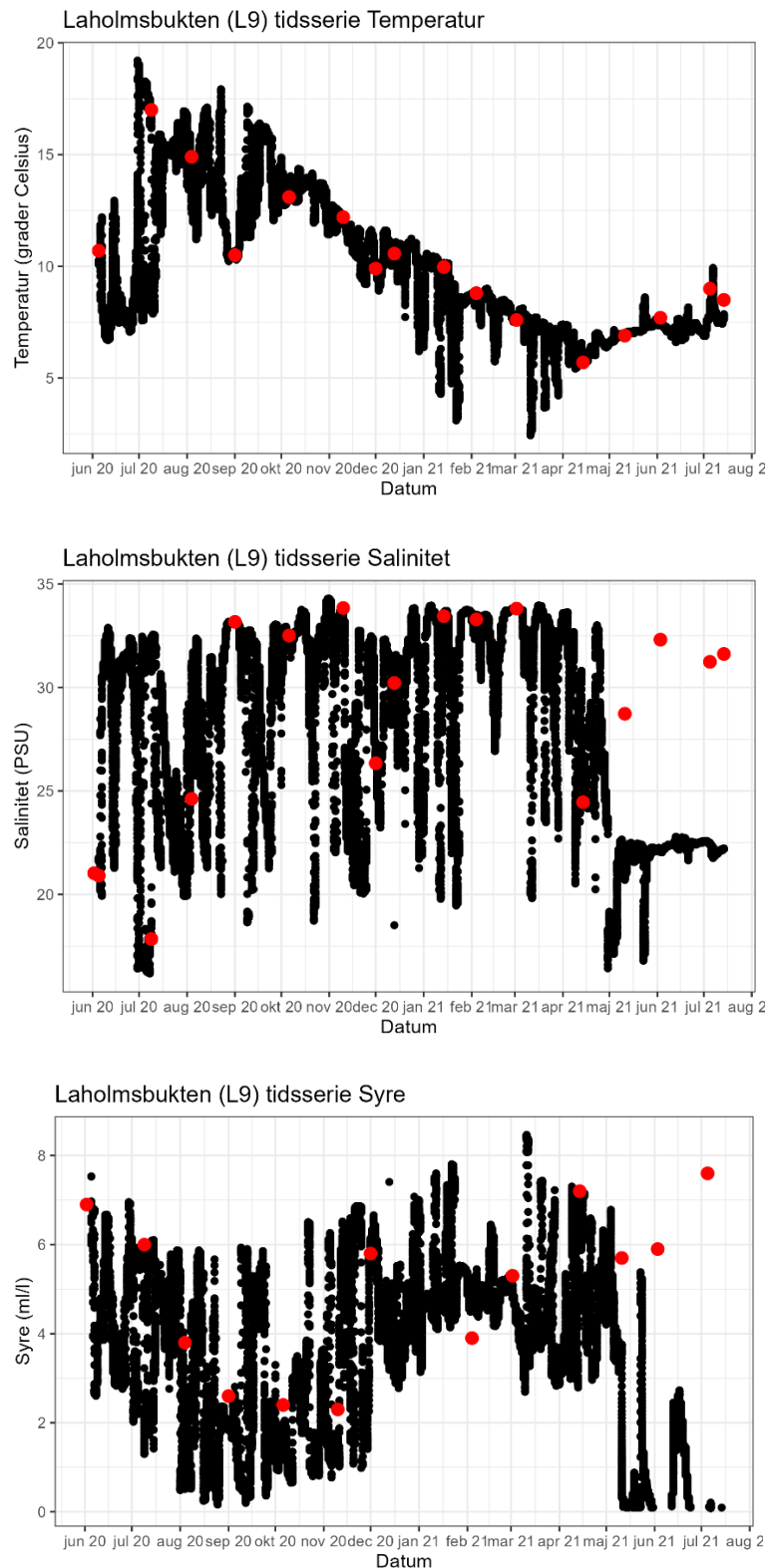
En analys av data för att skapa tidsserier med parametrarna temperatur, salinitet och syre presenteras i **Figur 5**. För den första perioden så är temperaturen högst under sommar och tidig höst från juli-september men sjunker succesivt under senare delen av hösten fram till april innan temperaturen ökar igen. Överlag så stämmer mätningar av temperatur med bottenmätsystemet väl överens med referensmätningar (CTD temperaturmätning) på samma position. Det finns en viss tendens där låga syrekoncentrationer sammanfaller med höga temperaturer då lösligheten minskar med ökad temperatur samtidigt som biologiska processer som förbrukar syre går snabbare med ökad temperatur.

Under perioden så observerades en relativt stor variation i salinitet mellan 20–33 psu där hög salinitet sammanfaller med låg syrekoncentration och tvärtom (**Figur 5**). Saliniteten från referensmätningar (laboratorieanalys av salinitet) stämmer relativt bra överens med mätningar från bottenmätsystemet. Associeringen mellan salinitet och syre är tydligare i en visuell korrelationsanalys mellan syre, temperatur och salinitet med undantag för perioden maj-juli 2021 (**Figur 6**). Vid tiden för de lägsta uppmätta syrekoncentrationerna omkring 0–3 ml/l uppmättes högre salinitet omkring 33 psu för samma period, både från bottenmätsystemen och referensmätningar (**Figur 5**). Noterbart är att dynamiken i syrekoncentrationer fångas till viss del i referensmätningar. Men vid flera tillfällen så har bottenmätsystemet uppmätt en stor

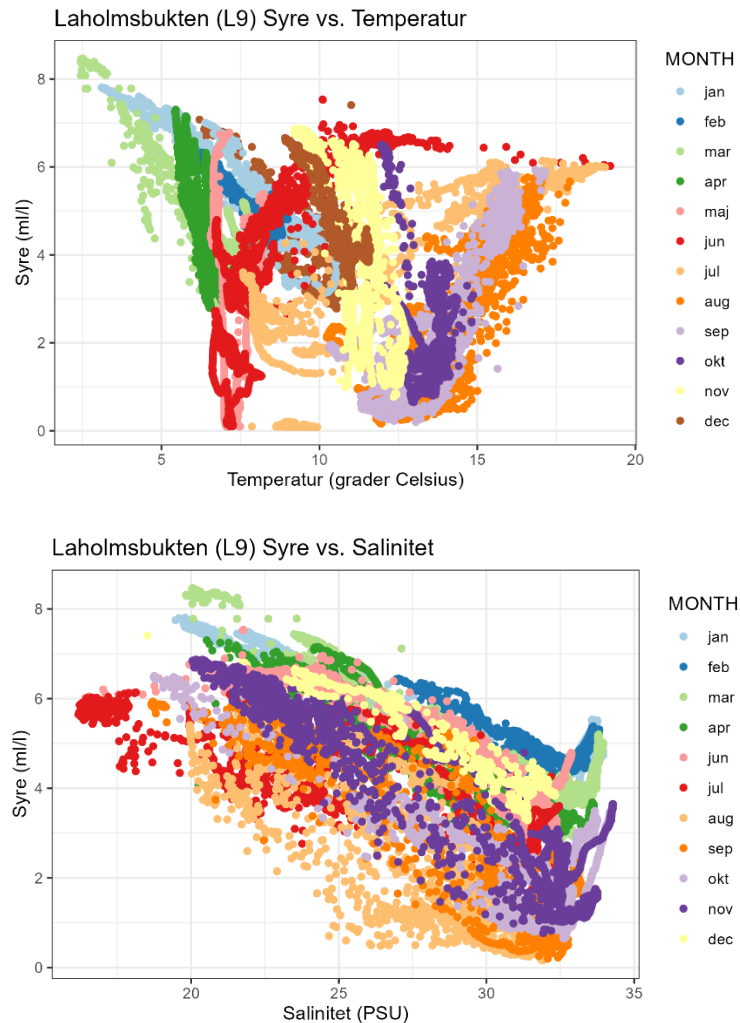
variation i syrekonzentrationer som helt eller delvis missas vid den månatliga provtagningen i det regionala miljöövervakningsprogrammet vid positionen. En förklaring till skillnaden mellan bottenmätsystemets uppmätta syrehalt och referensmätningarna kan vara att bottenmätsystemet är placerat så att de alltid mäter 1 meter ovan botten. Vid vattenprovtagning nära botten eftersträvas också opåverkade mätningar 1 meter ovan botten men sjöhävning och andra förhållanden kan påverka vilket vatten som provtas. Ett litet fel i djupled kan innebära en större skillnad i t.ex. syrehalt då språngskiktet vanligtvis ligger nära botten och vattenprovtagningen då görs i vatten strax ovanför bottenmätsystemet, ovanför språngskiktet, där då högre syrehalter uppmäts.

Den skarpa skiktningens effekter noterades också gällande påväxten på mätsystemet vid L9. Bottendelen och mätsystemet saknade nästan helt påväxt medan flytkulan och releaser som befinner sig någon meter högre upp i vattenmassan var påverkad av kraftig påväxt. Troligen har påväxten på bottendelen inte varit möjlig på grund av de låga syrehalterna som då och då förekommit närmast botten, medans flytkulan har befunnit ovanför språngskiktet där syretillgången varit god under hela mätperioden. Detta visar tydligt på hur stor påverkan även kortare perioder med syrebrist har på växt och djurliv och betydelsen av att göra högfrekventa mätningar i områden med stor variabilitet.

Från och med maj 2021 till upptaget i augusti 2021 är det tydligt att något har hänt med mätsystemet. Syre- och salthalt ger uppenbart felaktiga värden. När systemet bärgades påträffades sand inne i mätinstrumentets mätcell. Troligen har mätsystemet utsatts för yttre påverkan som gjort att releaserdelen har skadats och släppt från förankringen och mätinstrumentet kan ha släpats en kort sträcka eller lagt sig på botten, vilket skulle förklara sanden i mätcellen, se de rödmarkerade rutorna i **Figur 5** och **Figur 6**.



Figur 5. Tidsserier för parametrarna temperatur, salinitet och syre vid stationen L9 för perioden december 2020 – juli 2021. Röda punkter indikerar referensmätningar med flaskdata från laboratorieanalyser, med undantag för referensmätningar för temperatur och salinitet som är uppmätt med CTD, inom det regionala miljöövervakningsprogrammet vid L9 (Hallands kustvattenkontroll).



Figur 6. Visuellt korrelationsanalys mellan syre och temperatur (A), och syre och salinitet (B) för perioden december 2020 – juli 2021. Observationer för olika månader indikeras med specifika färger.

3.2 Understen, Ålands hav

3.2.1 Teknisk analys

Det första mätsystemet vid Understen i Södra Kvarken sattes ut i december 2020 med R/V Svea. Då sattes ett liknande system som för Hanöbukten ut på positionen. Eftersom positionen har ett mycket större djup än någon av de andra två positionerna i projektet (220 m), har SMHI arbetat fram en bättre rigg som visas i **Figur 3**. R/V Svea passerar Södra Kvarken endast en gång under året, i december, då Bottniska Viken karteras för näringsämnen. Mätsystemet har vid två tillfällen, i maj och december 2021, bytts ut med arbetsbåten Andrea med hemmahamn i Öregrund. Detta eftersom upptag med R/V Svea inte var möjlig under SMHIs decemberexpedition då det planerade upptaget hamnade nattetid både på uppvägen och nedvägen från Bottniska Viken.



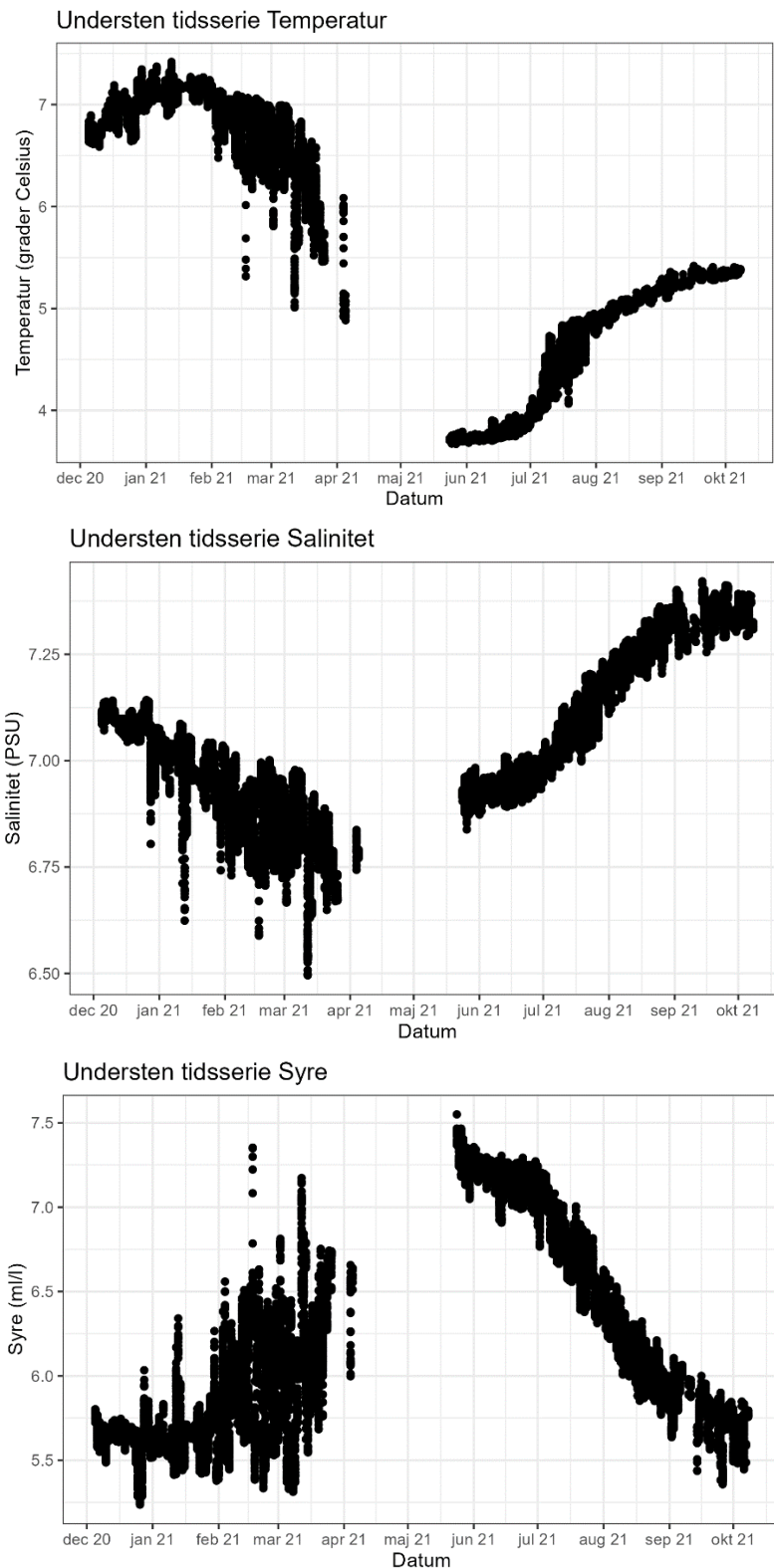
Bild 2. Till vänster utsättning av mätsystemet vid Understen med arbetsbåten Andrea och, till höger bottenmätsystemet "Strömpilen". Foto: Daniel Bergman Sjöstrand.

3.2.2 Analys av data

En analys av data för att skapa tidsserier med parametrarna temperatur, salinitet och syre presenteras i **Figur 7**. För den första perioden är temperaturen högre under vintermånaderna och sjunker från ca. 7,5 °C till 3,5 °C i juni innan temperaturen ökar igen. Samtidigt så är höga syrekoncentrationer associerade med lägre salinitet och lägre temperatur. Denna associering är tydligare i en visuell korrelationsanalys mellan syre, temperatur och salinitet (**Figur 8**).

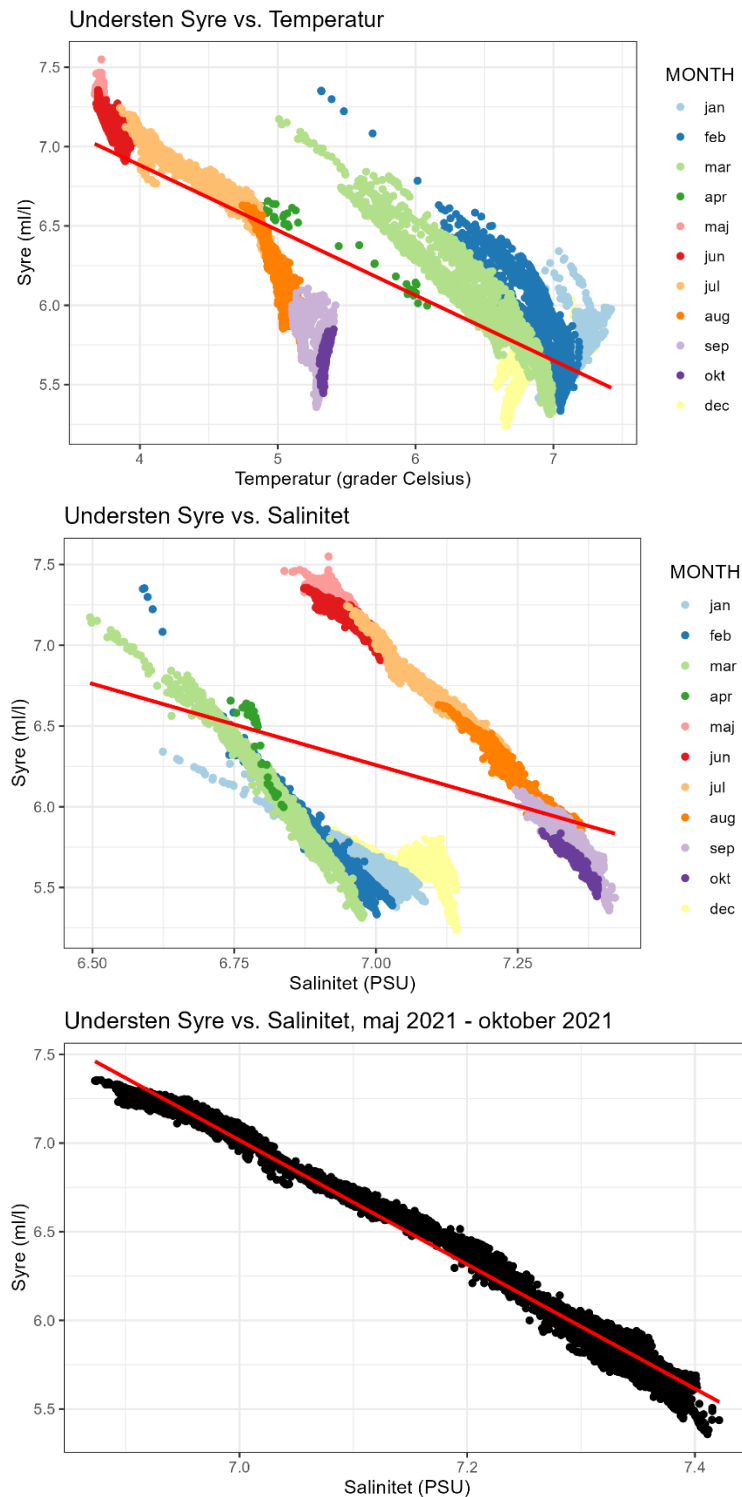
Under perioden så observerades en mycket liten variation i salinitet mellan ungefär 6,5–7,5 PSU (**Figur 7**). Trots liten variation så sammanfaller hög salinitet med låg syrekoncentrationen och tvärtom (**Figur 7** och **Figur 8**). För både temperatur och salinitet noteras en tydlig indelning i två olika regimer för perioderna december 2020 – mars 2021 och maj 2021 – oktober 2021. Båda perioderna har stark korrelation mellan syre och temperatur och salinitet men de skiljer sig något i hur stark korrelationen är, speciellt mellan syre och salinitet som var starkare under maj 2021 – oktober 2021.

Det har varit ett problem vid Understen att batteritiden för mätinstrumentet för salinitet, temperatur och syrehalt varit kortare än beräknat. SMHI har kontaktat leverantören för att diskutera detta då mätperioden inte borde vara ett problem i normalfall.



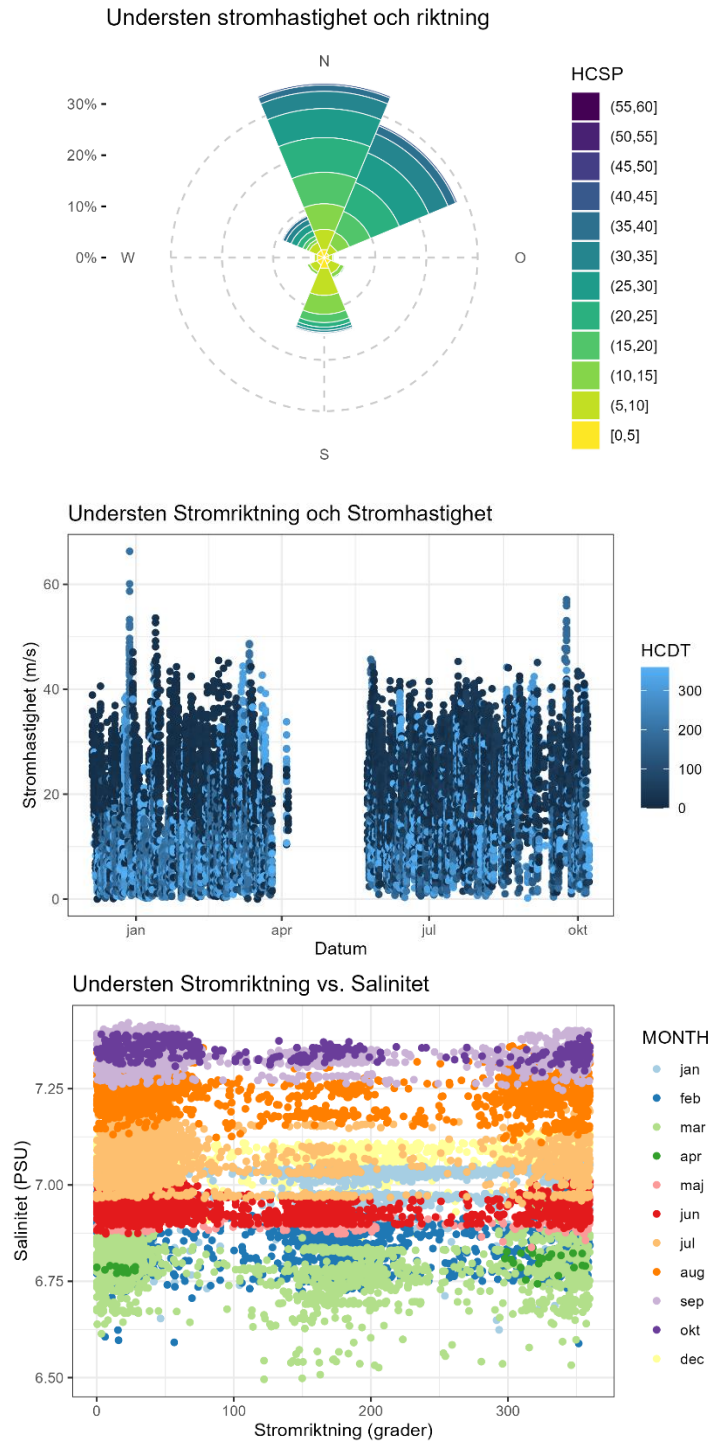
Figur 7. Tidsserier för parametrarna temperatur (A), salinitet (B) och syre (C) vid stationen Understen för perioden december 2020 – oktober 2021. I perioden april till juni finns inga mätningar då batterierna i mätinstrumenten tagit slut.

För strömriktning och strömshastighet så analyserades den dominanta strömriktningen och variation i strömshastighet över tid (**Figur 9**). På positionen Understen så är den dominanta strömriktningen nordlig till nordöstlig där ungefär 33 procent av mätperioden domineras av nordliga strömmar och endast 10–15 procent av mätperioden har en sydlig strömriktning.



Figur 8. Visuellt korrelationsanalys mellan syre och temperatur (A) och syre och salinitet (B) för perioden december 2020 – oktober 2021 och mellan syre och salinitet för perioden maj 2021 – oktober 2021 (C). Observationer för olika månader indikeras med specifika färger. Röda linjer indikerar resultatet av en linjär regressionsanalys där en stark lutning pekar mot att en större del av variationen i syrekoncentrationer kan förklaras av variationen i temperatur och/eller salinitet.

Variationen i strömshastighet var mycket stor och ingen tydlig samvariation med strömriktning kunde observeras. På samma sätt kunde ingen tydlig korrelation mellan uppmätta parametrar och strömriktning observeras.



Figur 9. Strömriktning och strömshastighet vid Understen för perioden december 2020 – oktober 2021. Strömros analys (A) där den dominerande strömriktningen indikeras i N, Ö, S eller V riktning inklusive strömshastighet i cm/s som visas med olika färger, strömshastighet över tid (B) där riktningen indikeras i färgskala, och en visuell korrelationsanalys mellan strömriktning och salinitet (C) där färger indikerar månad. Data saknas i april-maj samt okt-december 2021 och beror på att batterierna i det primära mätinstrumenten tagit slut samt att kvalitetskontroll ännu inte har färdigställts eller att data flaggats som misstänkt.

3.3 Hanöbukten

3.3.1 Teknisk analys

Det första mätsystemet vid Hanöbukten sattes ut i juli 2020. Det byttes sedan i mars 2021, efter två månaders försening p.g.a. dåligt väder och mörker. Vid nästkommande byte, oktober 2021, svarade inte den akustiska releasern och systemet kunde inte återfinnas trots draggning i området. Under novemberexpeditionen gjordes nya försök att dragga med R/V Svea på positionen under en längre tid för att lokalisera mätsystemet, men utan framgång. Det är mycket fiske i området och det troliga är att systemet har fastnat i en trål och dragits iväg. Positionen är utsatt på grund av fisket och behöver kompletteras av en trålsäker rigg för sensorerna för att kunna fortsätta som position i projektet. Efter att mätsystemet förlorades har inget nytt system placerats ut i Hanöbukten då risken att förlora systemet igen är för stor.



Bild 3. Förberedelser inför utsättning av mätsystemet vid Hanöbukten med R/V Svea.

3.3.2 Analys av data

Temperaturen var lägre under första perioden juli till november och låg omkring 8,3 °C (**Figur 10**). Temperaturen är sedan högre under vintermånaderna och ökar från ca. 8,3 °C till 10 °C i december innan temperaturen sjunker igen fram till januari 2021, dock med stor variation för att sedan öka igen i slutet av januari 2021 och fortsatte att öka tills mätsystemet plockades upp i mars 2021.

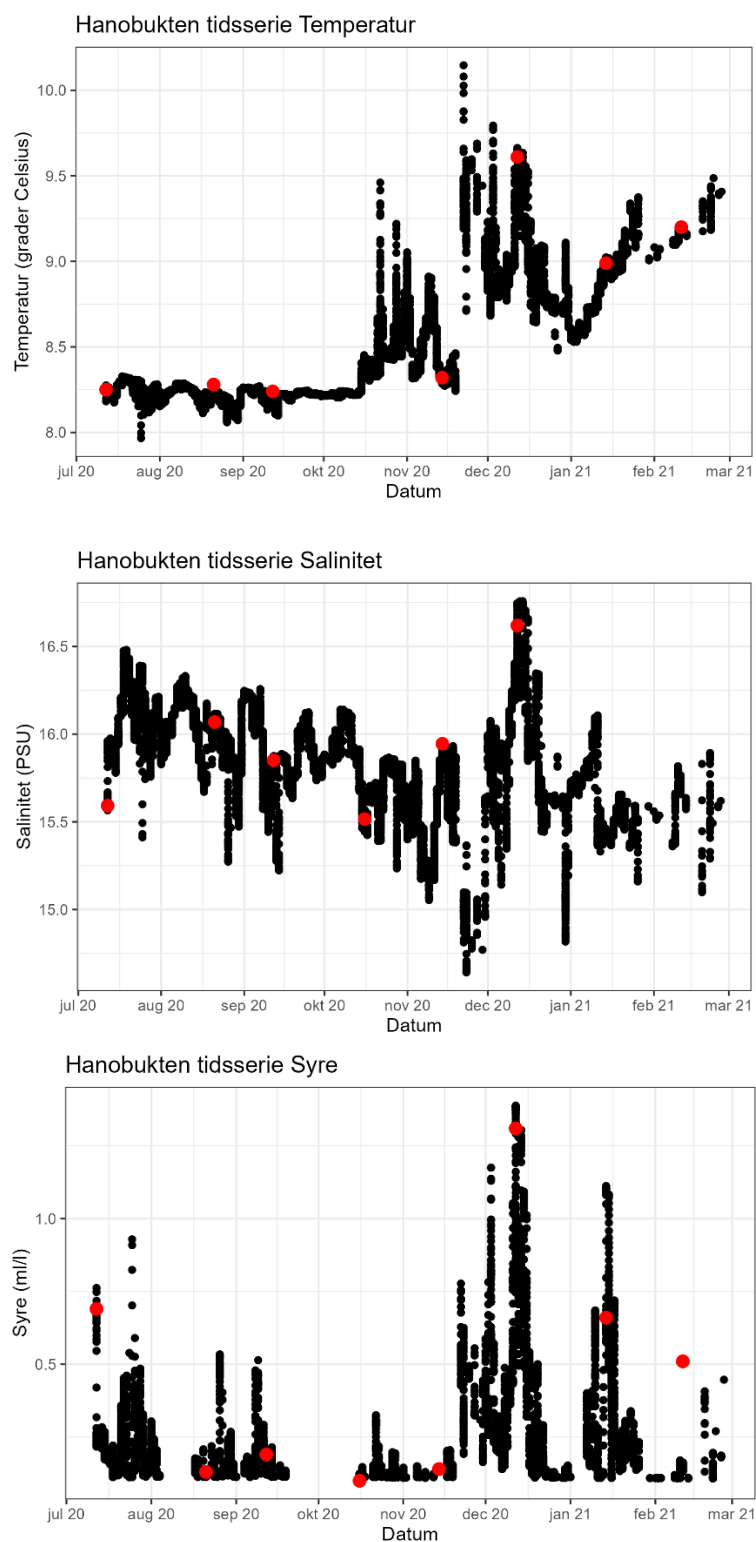
Saliniteten vid Hanöbukten varierar generellt mycket lite mellan 15,5 till 16 psu. Men den lägsta uppmätta saliniteten var omkring 14,7 psu i början av december 2020 och saliniteten steg snabbt till den högsta omkring 16,8 psu i slutet av samma månad.

Samtidigt så har Hanöbukten under mätperioden för bottenmätsystemen mycket låga syrekoncentrationer, alltid under 2 ml/l och ofta omkring 0 ml/l. Låga syrekoncentrationer i Hanöbukten är associerade med lägre salinitet och till viss del högre temperatur. Denna associering är tydligare i en visuell korrelationsanalys mellan syre, temperatur och salinitet, speciellt för vintermånaderna och tydligast för december (**Figur 11**). Den ökade salthalten under vintermånaderna beror på att det är den period då mindre inflöden från hösten når fram till Hanöbukten med lite saltare och varmare vatten som härstammar från Kattegatt. Detta är också tydligt i Figur 10.

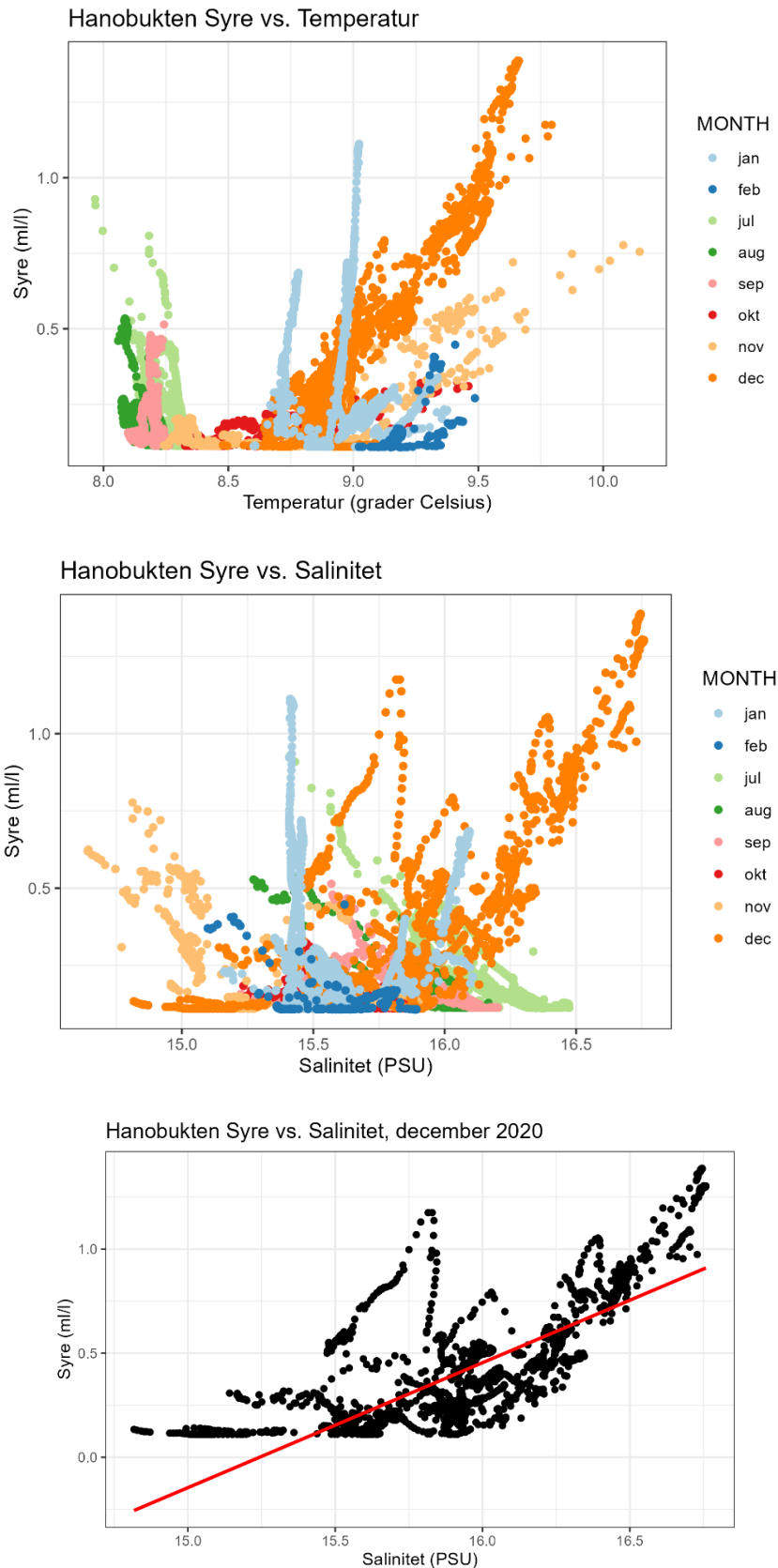
Variationen i temperatur, salinitet och syrekoncentration stämmer bra överens med referensprovtagning vid positionen (**Figur 10**). För alla tre parametrar så är det tydligt att flera kraftiga minskningar och ökningsar som inträffar mellan den månatliga provtagningen av t.ex. syrekoncentration inte fångas upp i det nationella miljöövervakningsprogrammets provtagning vid positionen.

Man kan se effekten av inflöden som inträffade mellan september och november vid botten systemet vid Hanöbukten genom ökad temperatur, salinitet och syrehalt i mitten av november och december 2020 (**Figur 10**). För mer info om inflöden:

https://www.smhi.se/hfa_coord/BOOS/Oresund.html

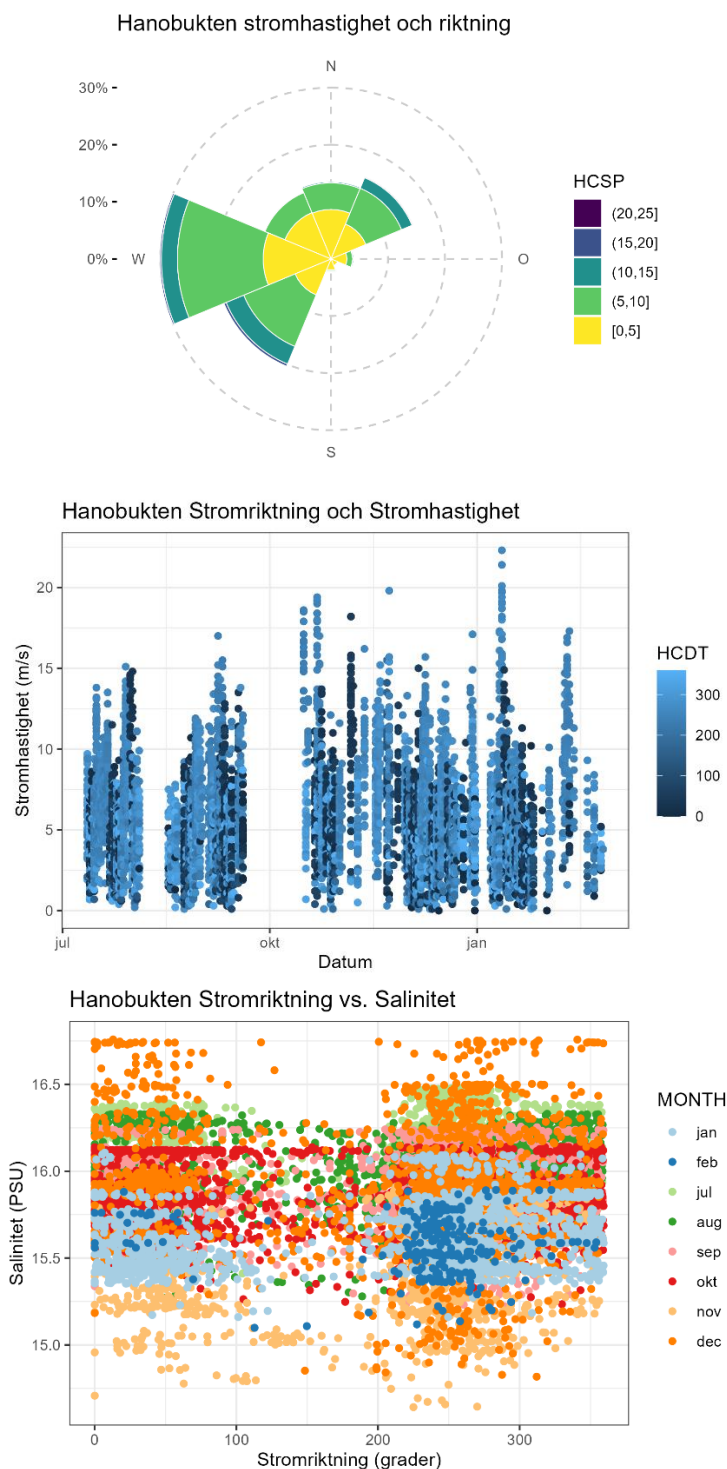


Figur 10. Tidsserier för parametrarna temperatur (A), salinitet (B) och syre (C) vid stationen Hanöbukten för perioden juli 2020 – mars 2021. Röda punkter indikerar referensmätningar med flaskdata från laboratorieanalyser inom det nationella miljöövervakningsprogrammet vid Hanöbukten förutom temperaturen som är från CTD-data.



Figur 11. Visuell korrelationsanalys mellan salinitet och syre för perioden december 2020 – oktober 2021 (A-B), och mellan salinitet och syre för perioden december 2020 (C). Observationer för olika månader indikeras med specifika färger. Röd linje indikerar resultatet av en linjär regressionsanalys.

På positionen Hanöbukten är den dominanta strömriktningen västlig till sydvästlig där ungefär 30 procent av mätperioden domineras av västliga strömmar och endast 10–15 procent av mätperioden har en nordlig till nordöstlig strömriktning (**Figur 12**). Variationen i strömhastighet var mycket stor utan samvariation med strömriktning och ingen tydlig korrelation kunde observeras mellan uppmätta parametrar och strömriktning.



Figur 12. Strömriktning och strömhastighet vid Hanöbukten för perioden december 2020 – oktober 2021. Strömros analys (A) där den dominerande strömriktningen indikeras i N, Ö, S eller V riktning inklusive strömhastighet i cm/s som visas med olika färger, strömhastighet över tid (B) där riktningen indikeras i färgskala, och en visuell korrelationsanalys mellan strömriktning och salinitet (C) där färger indikerar månad.

4 Diskussion

Nedan följer diskussion om bottenmätsystemens tekniska lösning, SMHIs erfarenheter från utsättningar och upptag från olika fartyg och utvecklingsförslag. En diskussion kring de data som insamlats och hur bottenmätsystem kan användas och komplettera den traditionella provtagningen som utförs inom det nationella mätprogrammet samt vilken utveckling av autonoma mätsystem som behövs framöver inom programmet.

4.1 Teknisk lösning, utsättning/upptag och fartyg

Utformningen av bottenmätsystemen har utvecklats till viss del och anpassats till den position där systemet har placerats och utifrån vilket fartyg som har hanterat utsättning och upptag. Målet har varit att systemen skall vara enkla och att de skall kunna hanteras av olika personer till sjöss.

De rutiner kring utsättning, upptag och service som tagits fram av SMHIs teknikgrupp har fungerat bra och har varit en förutsättning för obrutna tidsserier. Då manualer och rutiner finns välbeskrivna har det varit enklare att genomföra byten oavsett vilken personal eller vilken besättning som fanns tillgänglig ombord för att sköta om upptag och utsättning.

De erfarenheter som SMHI samlat på sig är att det fungerar bra att placera ut bottenmätsystemen med R/V Svea men det är svårare att anpassa upptag p.g.a. väderberoende och att upptag måste ske dagtid. Vid många tillfällen passerar Svea endast en gång per position och expedition och det finns inte heller möjlighet att ligga och vänta på dagsljus och bättre väder. I vissa fall har det fungerat bättre att chartra en mindre båt/fartyg för upptag vid lämpligt väderfönster dagtid. Generellt fungerar bottenmätsystem bättre i kustnära, trålfria områden där mindre båt/fartyg kan användas som komplement vid upptag/utsättning.

Det mätsystem som användes i Hanöbukten har med stor sannolikhet släpats iväg av något av de fiskefartyg som trålar i området. För att inte förlora utrustning i framtiden bör trålsäkra bottenriggar användas. Dessa riggar är formade med ett skyddande hölje av metall som gör att en trål glider över riggen utan att släpa iväg den (**Bild 4**).

I vissa områden är det också möjligt att med hjälp av lokala fiskare diskutera fram alternativa positioner som fiskarna normalt undviker, t.ex. i närheten av vrak eller andra undervattenshinder. Detta är dock tidskrävande och kan även försvåra upptagen om man riskerar att själv fastna med sin egen utrustning.

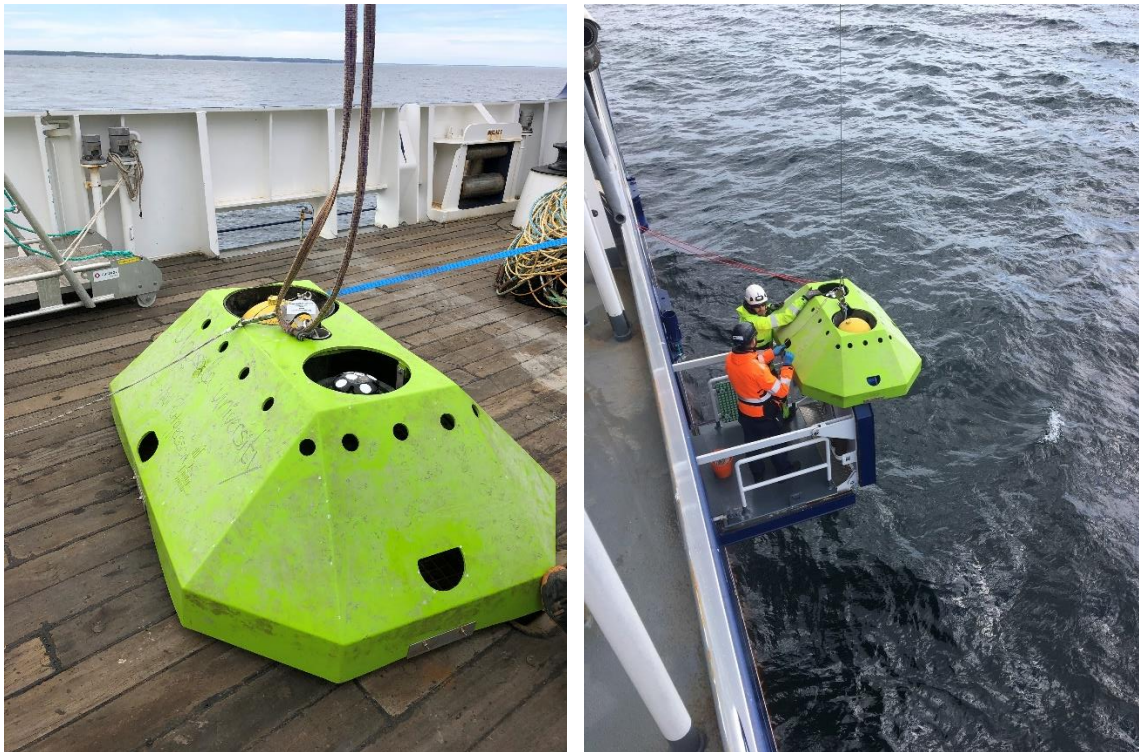


Bild 4. Exempel på trålsäker rigg som används av Uppsala Universitet vid Östergarnsholm. Systemet är utrustat med en strömmätare (ADCP) och en releaserenhet för upptag. Foto: SMHI.

4.2 Insamlad data

Bottenmätsystemen samlar in stora mängder data under en längre tid till en jämförelsevis låg kostnad och liten arbetsinsats.

Syftet med bottenmätsystemen var att undersöka hur förhållandena närmast botten varierar mellan de traditionella mätningarna som vanligtvis utförs månatligen t.ex. inom regional och nationell miljöövervakning. Data från bottenmätsystem har visat på stora variationer, på korta tidsskalor, i bottenförhållanden vid samtliga undersökta platser. Variationerna är som förväntat större i dynamiska områden så som i Kattegatt och södra Östersjön jämfört med områden som har stabilare förhållanden, som Ålands Hav.

Data från de bottenmonterade systemen har visat att kortvarig syrebrist kan detekteras. Kortvarig syrebrist eller kortvariga perioder av helt syrefria förhållanden kan delvis eller helt slå ut bottenlevande djur och växter. Är dessa fenomen frekvent återkommande kan återhämtning och återkolonisation helt upphöra. Mätningarna kan därför användas för att t.ex. förklara varför fiskar undviker, eller helt har försvunnit, från vissa bottenområden samt komplettera annan miljöövervakningsdata så som t.ex. bottenfauna. På samma sätt kan marina värmeböljor kartläggas.

I södra Östersjön är inflöden en viktig förutsättning för vilka förhållanden som råder närmast botten. Data från bottenmätsystem har tydligt visat på inflödesevent som kan kopplas till registrerade inflöden via Öresund.

En nackdel med bottenmätsystemen är de endast ger information av förhållandena närmast botten. Sensorerna är placerade ca. 1 meter ovanför botten och ger därmed ingen information om hur förhållandena ser ut högre upp i vattenmassan. Det är därför viktigt att komplettera mätningarna från bottenmätsystem med traditionella mätmetoder, t.ex. CTD-profiler som ger information om hur förhållandena i hela vattenmassan ser ut och att även komplettera med mätningar i ett större område, samt studie av djupförhållandena för att säkerställa att de förhållandena som uppmäts verkligen är representativa för hela området. Om mätsystemen placeras i en mindre djuphåla kommer troligen dåliga förhållanden noteras med de behöver inte betyda att alla djuphålur i området är påverkade av samma förhållanden vilket kan feltolkas i en statusutvärdering.

Nuvarande indikatorer för påverkan av övergödning på syrebrist både i kust och utsjö fokuserar på syrebrist under längre perioder (>1 månad). Men även återkommande perioder med syrebrist som är kortare än 1 månad påverkar bottendjur och fiskar. För att kunna identifiera områden med återkommande syrebrist under perioder kortare än två veckor behövs högfrekventa mätningar av syrekonscentrationen vid botten. Inom HELCOM har det under flera år diskuterats att det finns ett behov av en syreindikator som kan visa på effekter av övergödning på syrebrist även i grundare områden där det inte är långvarig syrebrist. Ett förslag är en indikator som baserar sig på att detektera antal perioder med syrebrist kortare än 2 veckor, men för det saknas högfrekventa data. Här kan bottenmätsystemen leverera den data som saknas i många kustområden.

4.3 Mätprogram och mätstrategi

Bottenmätsystem har visat sig fungera bra på vissa platser och sämre på andra. SMHI anser att platserna där bottenmätsystemen placeras måste anpassas då risken att förlora instrumenten är större i vissa områden där trålning förekommer. Det bör också vara genomtänkt så att referensmätningar och alternativa fartygslösningar kan användas.

SMHI föreslår ett fortsatt arbete med bottenmätsystemen vid L9 Laholmsbukten. Positionen har stor potential, både baserat på möjligheten till teknisk framgång, positionen är innanför trålgränsen och möjligheterna med användning av data samt då jämförande data insamlas av Hallands Kustkontrollprogram. Det är också en plats där högupplöst data på framförallt syrekonscentration är viktig för att följa och förstå förutsättningarna för bottenlevande djur, vilket tydligt visades genom flera perioder med låga syrekonscentrationer mellan månadsmätningarna samt avsaknaden av påväxt på botten systemet. L9 Laholmsbukten bör även fortsättningsvis vara en del av SMHIs mätprogram.

Mätsystemet vid Understen är specialbyggt för att fungera på stort djup. SMHI har etablerat ett väl fungerande samarbete med en lokal fartygresurs då R/V Svea enbart är i området i december. SMHI anser att mätningarna vid denna position bör fortsätta för att kunna utvärdera en längre mätperiod. Eventuell borde samordning ske med SU/DEEP och deras mätningar vid U19-Norra randen. Positionen vid Understen ligger ca. 8 nm från U19-Norra randen. Ett nytt beslut kan troligen fattas om eventuell fortsättning då mätsystem tas upp eller byts ut under 2022.

Positionen i Hanöbukten är intressant för att följa inflöden och variationerna som sker vid botten vid utbytet av vatten i Bornholmsbassängen. Området är dock starkt påverkade av fiskeaktiviteter och om mätningarna skall fortsätta måste en trålsäker rigg konstrueras (**Bild 4**) och användas. SMHI behöver då också ersätta den utrustning som förlorades vid Hanöbukten.

SMHI ser ett tydligt syfte med att fortsätta mätningarna på ovan nämnda positioner för att skapa längre tidsserier. Ett komplement till ovan nämnda fasta mätsystem kan vara att ha ett antal bottenmätsystem som flyttas runt och används i olika mätkampanjer. Eftersom mätsystem är relativt billiga, små och enkla att hantera från olika båtar och fartyg kan de också lätt placeras ut för kortare mätuppdrag eller projekt. En eller ett kluster av mätsystem skulle då kunna användas för t.ex. statusklassning av kustnära områden eller för att samla mer information om bottenförhållandena i ett speciellt område.

En naturlig fortsättning på SMHIs arbete med små och kostnadseffektiva mätsystem är att komplettera bottenmätsystem med fritt profilerande flöten, s.k. Argo floats (**Bild 5**; Roemmich et al., 2019; Walczowski et al., 2020). För begränsade utsjöområden/bassänger är Argo floats mer lämpade och ger data i hela profilen i nära realtid. Argo floats kan utrustas med sensorer för temperatur, salt, syre och Chl-*a* fluorescens och marina institut i Finland, Tyskland och Polen har visat att de fungerar utmärkt att operera i t.ex. Östra Gotlandsbassängen med minimalt underhåll och bibehållen datakvalitet (Haavisto et al., 2018; Roiha et al., 2018; Siiriä et al., 2019; Walczowski et al., 2020). Dessa mätsonder programmeras så att de befinner sig vilande i djuphållorna och utför en profil från botten till ytan med bestämd regelbundenhet, t.ex. dagligen. Därefter återvänder den till botten där den vilar till nästa profil. På så sätt kan fritt flytande mätinstrument hållas relativt stationär i en avgränsad och djup bassäng med svaga strömförhållanden. I dynamiska områden, med starkare strömförhållande vid ytan och botten, är profilerande flöten ett sämre alternativ. I t.ex. Västerhavet är det svårare att få till relativt stationära mätningar då strömmarna skulle föra mätsystemet mot land eller ut i Nordsjön.

Vid normal användning kan ett profilerande flöte vara operationellt i omkring 6-10 månader innan batterierna behöver bytas och sensorerna kontrolleras. Mätinstrumentet kan styras så att de vid lämpligt tillfälle går till ytan för att plockas upp av tex Svea eller annat fartyg. SMHI anser att två till tre profilerande flöten borde ingå i det nationella mätprogrammet och placeras i avgränsade bassänger så som; Västra Gotlandsbassängen och Bottniska viken, där de skulle kunna bli stationära och komplettera de mätningar som görs i de nationella mätprogrammen, Samordning mellan de nationella utförarna, SU/DEEP, UMF och SMHI skulle kunna användas vid upptag och isättning i dessa områden för att ytterligare minska fartygskostnaderna.

En stor fördel med Argo floats är att data fås från hela profilen och att data skickas in i nära realtid och kan därför användas vidare för dataassimilering till operativa havsmodeller samt inom SMHIs varningstjänst. Högfrekventa mätningar skulle också förbättra de årliga syrekartorna som SMHI publicerar som visar utbredningen av syrefattiga och syrefria områden i Östersjöområdet. Data skulle också ge värdefull information om marina värmeböljor och snabba variationer i t.ex. planktonsamhällen och skiktningens dynamik samt skulle kunna användas för validering av satellitdata. Ett samarbete och samfinansiering med försvarsmakten skulle troligen också kunna starta då deras intresse för dessa mätningar är stort.



Bild 5. SMHI assisterar finska FMI med upptag och utsättning av Argo floats i Östra Gotlandsbassängen.

5 Slutsatser

I detta projekt har SMHI visat tre exempel på hur bottenmonterade mätsystem kan ge ny och värdefull kunskap om oceanografiska händelser, fenomen och variationer som sker på en kortare tidsskala än månader. Informationen som samlats in skulle inte ha varit möjlig att se i vanliga mätprogram som traditionellt utgörs av månadsvisa provtagningar.

Traditionell miljöövervakning har som fokus att vara långsiktigt, skapa långa tidsserier, kunna upptäcka trender, visa storskaliga processer och klimatförändringar över lång tid. Bottenmätsystemen och de förändringar på korta tidsskalorna som man med dessa kan upptäckas är ett viktigt komplement till den traditionella miljöövervakningen. De bottenmonterade mätsystemen kunde bekräfta att månatliga mätningar kan uppskatta viss variation på en grov skala, men att den missar värdefull småskalig dynamik med högupplösta data i tid. Exempel på händelser på kortare tidsskala är in- och utflöden till Östersjön som snabbt förändrar salthalten, syrekoncentrationer och marina värmeböljor på en specifik plats som bör utredas i detalj för att rätt åtgärd sätts in på rätt plats av beslutsfattare.

Bottenmätsystem har visat sig fungera bäst i kustnära områden, innanför trålgränsen, där risken att förlora mätinstrumenten är mindre. Upptag och utsättningar underlättas också om man inte är låst till större fartyg vilket lätt blir fallet om mätsystem placeras långt från kusten. Nedan anges de fördelar och nackdelar som SMHI har noterat med de bottenmonterade mätsystemen:

Fördelar med bottenmonterade mätsystem:

- Billigt och enkelt mätsystem som ger högupplöst data i tiden som kan upptäcka variationer som det ordinarie mätprogrammet missar mellan dess provtagningar.
- Mätsystemen kan ge ny och värdefull kunskap om händelser i havet med korta tidsskalor t.ex. syrebrist, inflöden eller värmeböljor nära botten som påverkar bottenlevande djur och växter.
- Enkelheten medför att mätsystemen kan användas flexibelt vid enstaka positioner på permanenta platser "klimatstationer" eller som kluster av mätstationer vid mätprojekt.
- Data kan användas vid utvärdering av ekologisk status och stötta arbetet inom havsmiljökonventionerna med miljöindikatorer i områden där man misstänker problem närmast botten eller vill veta mer om förhållandena närmast botten.

Nackdelar med bottenmonterade mätsystem:

- Mätsystemet ger data från ett djup. Information från djup ovanför saknas, d.v.s. det är t.ex. svårt att utvärdera hur stor yta som är påverkad av syrebrist i ett område då man inte känner till hur skiktningen ovanför ser ut.
- Upptag och byte av mätsystemen måste planeras in dagtid och är väderberoende. För att flytkulan skall kunna lokaliseras och bärgas behöver det vara ljust och relativt lugnt väder. Vintertid har det varit svårt att genomföra byten under pågående expeditioner med R/V Svea då dagarna är korta och vädret oftast är sämre.
- Data som samlas in är loggade i mätinstrumentens interna minne. Data töms efter upptag. Direktöverföring av data är inte möjligt med dessa system och alla dataanalys görs i efterhand.
- Utanför trålgränsen finns det en risk att mätsystemen blir upptrålade eller flyttas från sin position.

Den allmänna slutsatsen är att bottenmonterade mätsystem har stor potential för att förstå processer som sker på kortare tidsskala och att de ger värdefulla och kostnadseffektiva data som kompletterar de data som insamlas inom det befintliga mätprogrammet.

SMHI anser att bottenmätsystemen vid L9 Laholmsbukten och Understen långsiktigt skall inkluderas i den nationella miljöövervakningen. En utvärdering av trålsäkra riggar behöver genomföras om mätningar skall fortsätta i havsområden utanför trålgränsen t.ex. i Hanöbukten. Det bör också utredas om ett antal bottenmätsystem skall finnas tillgängliga för att kunna placeras ut på fler positioner längs svenska kusten för att stötta havsmiljöarbetet med syreindikatorer och bidra till mer kunskap om riskområden för påverkan av syrebrist på bottenfauna i kusten.

Nästa naturliga steg i SMHIs utvecklingsarbete med autonoma mätsystem är att testa och utvärdera profilerande flöten, s.k. Argo floats, i lämpliga områden av Östersjön. SMHI ser stor potential i att profilerande flöten skall kunna leverera värdefulla data i realtid, till en låg kostnad till en mängd olika dataanvändare.

6 Referenser

Bushnell, M. (2019). Manual for Real-Time Quality Control of In-Situ Surface Wave Data: A Guide to Quality Control and Quality Assurance of In-Situ Surface Wave Observations Version 2.1. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-759>.

Haavisto, N., Tuomi, L., Roiha, P., Siiriä, S. M., Alenius, P., & Purokoski, T. (2018). Argo floats as a novel part of the monitoring the hydrography of the Bothnian Sea. *Frontiers in Marine Science*, 324. <https://dx.doi.org/10.3389/fmars.2018.00324>.

Havs- och Vattenmyndigheten (2021). Överenskommelse: Miljöövervakning Fria Vattenmassan. Dnr. 40-20.

Liblik, T., Laanemets, J., Raudsepp, U., Elken, J., & Suhhova, I. (2013). Estuarine circulation reversals and related rapid changes in winter near-bottom oxygen conditions in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Ocean Science*, 9(5), 917-930. <https://doi.org/10.5194/os-9-917-2013>.

Nylund, A. T., Arneborg, L., Tengberg, A., Mallast, U., & Hassellöv, I. M. (2021). In situ observations of turbulent ship wakes and their spatiotemporal extent. *Ocean Science*, 17(5), 1285-1302. <https://doi.org/10.5194/os-17-1285-2021>.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Roemmich, D., Alford, M. H., Claustre, H., Johnson, K., King, B., Moum, J., ... & Yasuda, I. (2019). On the future of Argo: A global, full-depth, multi-disciplinary array. *Frontiers in Marine Science*, 6, 439. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00439>.

Roiha, P., Siiriä, S. M., Haavisto, N., Alenius, P., Westerlund, A., & Purokoski, T. (2018). Estimating currents from argo trajectories in the Bothnian Sea, Baltic Sea. *Frontiers in Marine Science*, 308. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00308>.

Siiriä, S., Roiha, P., Tuomi, L., Purokoski, T., Haavisto, N., & Alenius, P. (2019). Applying area-locked, shallow water Argo floats in Baltic Sea monitoring. *Journal of Operational Oceanography*, 12(1), 58-72. <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2018.1544783>.

Stoicescu, S. T., Lips, U., & Liblik, T. (2019). Assessment of eutrophication status based on sub-surface oxygen conditions in the Gulf of Finland (Baltic Sea). *Frontiers in Marine Science*, 6, 54.. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00054>.

Tengberg, A., De Bovee, F., Hall, P., Berelson, W., Chadwick, D., Ciceri, G., ... & De Wilde, P. (1995). Benthic chamber and profiling landers in oceanography—a review of design, technical solutions and functioning. *Progress in Oceanography*, 35(3), 253-294. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(95\)00009-6](https://doi.org/10.1016/0079-6611(95)00009-6).

Walczowski, W., Merchel, M., Rak, D., Wieczorek, P., & Goszczko, I. (2020). Argo floats in the southern Baltic Sea. *Oceanologia*, 62(4), 478-488. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2020.07.001>.

Wickham H (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.

<https://www.smhi.se/data/oceanografi/ladda-ner-oceanografiska-observationer>

<https://sharkweb.smhi.se/hamta-data/>

https://www.smhi.se/hfa_coord/BOOS/Oresund.html

SMHI har en livsviktig roll som pålitlig expertmyndighet. Genom vår gedigna kunskap om väder, vatten och klimat bidrar vi till att öka hela samhällets hållbarhet.

Vi samlar in mängder av data som vi bearbetar, modellerar och visualiserar utifrån olika scenarier. Vi följer omvärldens utveckling och genom vår egen forskning utvecklar och sprider vi kunskap och tjänster som bygger på vetenskaplig grund. Vi utvärderar, analyserar, prognostiserar och följer upp. Varje dag, dygnet runt, året om.

Därför vågar vi lova dig ständigt aktuella beslutsunderlag som gör det lättare att planera på både kort och lång sikt – allt från din utflykt till framtidens infrastruktur. Våra underlag hjälper samhället att nå de nationella miljökvalitetsmålen och hantera morgondagens globala utmaningar.

SMHI omsätter 916 miljoner kronor och har cirka 670 medarbetare. Huvudkontoret finns i Norrköping. SMHI har också kontor i Göteborg och Uppsala.

SMHI. Alltid de bästa underlagen för dina beslut.



SMHI – SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

601 76 Norrköping • Besöksadress Folkborgsvägen 17 • Telefon 011-495 80 00 • E-Post smhi@smhi.se • www.smhi.se

Denna sida är avsiktligt blank

SMHI Publikationer

SMHI publicerar sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationella läsare och skrivs oftast på Engelska. I de övriga serierna används oftast Svenska men även Engelska.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

I serien OCEANOGRAFI har tidigare utgivits:

1. Lennart Funkquist (1985)
En hydrodynamisk modell för spridnings- och cirkulationsberäkningar i Östersjön
Slutrapport
2. Barry Broman och Carsten Pettersson. (1985)
Spridningsundersökningar i yttre fjärden Piteå
3. Cecilia Ambjörn (1986)
Utbyggnad vid Malmö hamn; effekter för Lommabuktens vattenutbyte
4. Jan Andersson och Robert Hillgren (1986)
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen perioden 84/85
5. Bo Juhlin (1986)
Oceanografiska observationer utmed svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1985
6. Barry Broman (1986)
Uppföljning av sjövärmepump i Lilla Värtan
7. Bo Juhlin (1986)
15 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningen (1970 - 1985)
8. Jonny Svensson (1986)
Vågdata från svenska kustvatten 1985
9. Barry Broman (1986)
Oceanografiska stationsnät - Svenskt Vattenarkiv
10. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
11. Cecilia Ambjörn (1987)
Spridning av kylvatten från Öresundsverket
12. Bo Juhlin (1987)
Oceanografiska observationer utmed svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1986
13. Jan Andersson och Robert Hillgren (1987)
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen 1986
14. Jan-Erik Lundqvist (1987)
Impact of ice on Swedish offshore lighthouses. Ice drift conditions in the area at Sydostbrotten - ice season 1986/87
15. SMHI/SNV (1987)
Fasta förbindelser över Öresund - utredning av effekter på vattenmiljön i Östersjön
16. Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström (1987)
Undersökning av vattenmiljön vid utfyllnaden av Kockums varvsbassäng. Slutrapport för perioden 18 juni - 21 augusti 1987
17. Erland Bergstrand (1987)
Östergötlands skärgård - Vattenmiljön
18. Stig H. Fonselius (1987)
Kattegatt - havet i väster
19. Erland Bergstrand (1987)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1986
20. Kjell Wickström (1987)
Bedömning av kylvattenrecipienten för ett kolkraftverk vid Oskarshamnsverket

21. Cecilia Ambjörn (1987)
Förstudie av ett nordiskt modellsystem för kemikaliespridning i vatten
22. Kjell Wickström (1988)
Vågdata från svenska kustvatten 1986
23. Jonny Svensson, SMHI/National Swedish Environmental Protection Board (SNV) (1988)
A permanent traffic link across the Öresund channel - A study of the hydro-environmental effects in the Baltic Sea
24. Jan Andersson och Robert Hillgren (1988)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1987
25. Carsten Peterson och Per-Olof Skoglund (1988)
Kylvattnet från Ringhals 1974-86
26. Bo Juhlin (1988)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1987
27. Bo Juhlin och Stefan Tobiasson (1988)
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1987.
28. Cecilia Ambjörn (1989)
Spridning och sedimentation av tippat lermaterial utanför Helsingborgs hamnområde
29. Robert Hillgren (1989)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1988
30. Bo Juhlin (1989)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1988
31. Erland Bergstrand och Stefan Tobiasson (1989)
Samordnade kustvattenkontrollen i Östergötland 1988
32. Cecilia Ambjörn (1989)
Oceanografiska förhållanden i Brofjorden i samband med kylvattenutsläpp i Trommekilen
33. 33a Cecilia Ambjörn (1990)
Oceanografiska förhållanden utanför Vendelsöfjorden i samband med kylvattenutsläpp

33b Eleonor Marmefelt och Jonny Svensson (1990)
Numerical circulation models for the Skagerrak - Kattegat. Preparatory study
34. Kjell Wickström (1990)
Oskarshamnsverket - kylvattenutsläpp i havet - slutrapport
35. Bo Juhlin (1990)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1989
36. Bertil Håkansson och Mats Moberg (1990)
Glommaälvens spridningsområde i nord-östra Skagerrak
37. Robert Hillgren (1990)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1989
38. Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - the gateway to the North Sea
39. Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - porten mot Nordsjön.
40. Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström (1990)
Spridningsundersökningar i norra Kalmarsund för Mönsterås bruk
41. Cecilia Ambjörn (1990)
Strömningsteknisk utredning avseende utbyggnad av gipsdeponi i Landskrona
42. Cecilia Ambjörn, Torbjörn Grafström och Jan Andersson (1990)
Spridningsberäkningar - Klints Bank
43. Kjell Wickström och Robert Hillgren (1990)
Spridningsberäkningar för EKA-NOBELS fabrik i Stockviksverken
44. Jan Andersson (1990)
Brofjordens kraftstation -
Kylvattenspridning i Hanneviken

45. Gustaf Westring och Kjell Wickström (1990)
Spridningsberäkningar för Höganäs kommun
46. Robert Hillgren och Jan Andersson (1991)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1990
47. Gustaf Westring (1991)
Brofjordens kraftstation - Kompletterande simulering och analys av kylvattenspridning i Trommekilen
48. Gustaf Westring (1991)
Vågmätningar utanför Kristianopel - Slutrapport
49. Bo Juhlin (1991)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1990
50. 50A Robert Hillgren och Jan Andersson (1992)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1991
- 50B Thomas Thompson, Lars Ulander, Bertil Håkansson, Bertil Brusmark, Anders Carlström, Anders Gustavsson, Eva Cronström och Olov Fäst (1992).
BEERS -92 Final edition
51. Bo Juhlin (1992)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1991
52. Jonny Svensson och Sture Lindahl (1992)
Numerical circulation model for the Skagerrak - Kattegatt
53. Cecilia Ambjörn (1992)
Isproppsförebyggande muddring och dess inverkan på strömmarna i Torneälven
54. Bo Juhlin (1992)
20 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningens fartyg (1970 - 1990)
55. Jan Andersson, Robert Hillgren och Gustaf Westring (1992)
Förstudie av strömmar, tidvatten och vattenstånd mellan Cebu och Leyte, Filippinerna
56. Gustaf Westring, Jan Andersson, Henrik Lindh och Robert Axelsson (1993)
Forsmark - en temperaturstudie. Slutrapport
57. Robert Hillgren och Jan Andersson (1993)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1992
58. Bo Juhlin (1993)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1992
59. Gustaf Westring (1993)
Isförhållandena i svenska farvatten under normalperioden 1961-90
60. Torbjörn Lindkvist (1994)
Havsområdesregister 1993
61. Jan Andersson och Robert Hillgren (1994)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1993
62. Bo Juhlin (1994)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1993
63. Gustaf Westring (1995)
Isförhållanden utmed Sveriges kust - isstatistik från svenska farleder och farvatten under normalperioderna 1931-60 och 1961-90
64. Jan Andersson och Robert Hillgren (1995)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1994
65. Bo Juhlin (1995)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1994
66. Jan Andersson och Robert Hillgren (1996)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1995
67. Lennart Funkquist och Patrik Ljungemyr (1997)
Validation of HIROMB during 1995-96
68. Maja Brandt, Lars Edler och Lars Andersson (1998)
Översvämningar längs Oder och Wisla sommaren 1997 samt effekterna i Östersjön

69. Jörgen Sahlberg SMHI och Håkan Olsson, Länsstyrelsen, Östergötland (2000)
Kustzonmodell för norra Östergötlands skärgård
70. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
71. *Vakant – kommer ej att utnyttjas!*
72. Fourth Workshop on Baltic Sea Ice Climate Norrköping, Sweden 22-24 May, 2002
Conference Proceedings
Editors: Anders Omstedt and Lars Axell
73. Torbjörn Lindkvist, Daniel Björkert, Jenny Andersson, Anders Gyllander (2003)
Djupdata för havsområden 2003
74. Håkan Olsson, SMHI (2003)
Erik Årnefelt, Länsstyrelsen Östergötland
Kustzonssystemet i regional miljöanalys
75. Jonny Svensson och Eleonor Marmefelt (2003)
Utvärdering av kustzonmodellen för norra Östergötlands och norra Bohusläns skärgårdar
76. Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson, Helma Lindow och Jonny Svensson, Thalassos Computations (2004)
Integrerat kustzonssystem för Bohusläns skärgård
77. Philip Axe, Martin Hansson och Bertil Håkansson (2004)
The national monitoring programme in the Kattegat and Skagerrak
78. Lars Andersson, Nils Kajrup och Björn Sjöberg (2004)
Dimensionering av det nationella marina pelagialprogrammet
79. Jörgen Sahlberg (2005)
Randdata från öppet hav till kustzonmodellerna (Exemplet södra Östergötland)
80. Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson (2005)
Integrerat Kustzonssystem för Hallandskusten
81. Tobias Strömberg (2005)
Implementation of a Flux Corrected Transport scheme in the Rossby Centre Ocean model
82. Martin Hansson (2006)
Cyanobakterieblomningar i Östersjön, resultat från satellitövervakning 1997-2005
83. Kari Eilola, Jörgen Sahlberg (2006)
Model assessment of the predicted environmental consequences for OSPAR problem areas following nutrient reductions
84. Torbjörn Lindkvist, Helma Lindow (2006)
Fyrskottsdata. Resultat och bearbetningsmetoder med exempel från Svenska Björn 1883 – 1892
85. Pia Andersson (2007)
Ballast Water Exchange areas – Prospect of designating BWE areas in the Baltic Proper
86. Elin Almroth, Kari Eilola, M. Skogen, H. Søiland and Ian Sehested Hansen (2007)
The year 2005. An environmental status report of the Skagerrak, Kattegat and North Sea
87. Eleonor Marmefelt, Jörgen Sahlberg och Marie Bergstrand (2007)
HOME Vatten i södra Östersjöns vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar
88. Pia Andersson (2007)
Ballast Water Exchange areas – Prospect of designating BWE areas in the Skagerrak and the Norwegian Trench
89. Anna Edman, Jörgen Sahlberg, Niclas Hjerdt, Eleonor Marmefelt och Karen Lundholm (2007)
HOME Vatten i Bottenvikens vatten-distrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar
90. Niclas Hjerdt, Jörgen Sahlberg, Eleonor Marmefelt och Karen Lundholm (2007)
HOME Vatten i Bottenhavets vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar

91. Elin Almroth, Morten Skogen, Ian Sehested Hansen, Tapani Stipa, Susa Niiranen (2008)
The year 2006
An Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea
A demonstration Project
92. Pia Andersson editor and co-authors¹
Bertil Håkansson¹, Johan Håkansson¹, Elisabeth Sahlsten¹, Jonathan Havenhand², Mike Thorndyke², Sam Dupont² *Swedish Meteorological and Hydrological Institute¹ Gothenburg University, Sven Lovén, Centre of Marine Sciences²* (2008)
Marine Acidification – On effects and monitoring of marine acidification in the seas surrounding Sweden
93. Jörgen Sahlberg, Eleonor Marmefelt, Maja Brandt, Niclas Hjerdt och Karen Lundholm (2008)
HOME Vatten i norra Östersjöns vatten-distrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar.
94. David Lindstedt (2008)
Effekter av djupvattenomblandning i Östersjön – en modellstudie
95. Ingemar Cato¹, Bertil Håkansson², Ola Hallberg¹, Bernt Kjellin¹, Pia Andersson², Cecilia Erlandsson¹, Johan Nyberg¹, Philip Axe² (2008)
¹Geological Survey of Sweden (SGU)
²The Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
A new approach to state the areas of oxygen deficits in the Baltic Sea
96. Kari Eilola, H.E. Markus Meier, Elin Almroth, Anders Höglund (2008)
Transports and budgets of oxygen and phosphorus in the Baltic Sea
97. Anders Höglund, H.E. Markus Meier, Barry Broman och Ekaterina Kriezi (2009)
Validation and correction of regionalised ERA-40 wind fields over the Baltic Sea using the Rossby Centre Atmosphere model RCA3.0
98. Jörgen Sahlberg (2009)
The Coastal Zone Model
99. Kari Eilola (2009)
On the dynamics of organic nutrients, nitrogen and phosphorus in the Baltic Sea
100. Kristin I. M. Andreasson (SMHI), Johan Wikner (UMSC), Berndt Abrahamsson (SMF), Chris Melrose (NOAA), Svante Nyberg (SMF) (2009)
Primary production measurements – an intercalibration during a cruise in the Kattegat and the Baltic Sea
101. K. Eilola, B. G. Gustafson, R. Hordoir, A. Höglund, I. Kuznetsov, H.E.M. Meier T. Neumann, O. P. Savchuk (2010)
Quality assessment of state-of-the-art coupled physical-biogeochemical models in hind cast simulations 1970-2005
102. Pia Andersson (2010)
Drivers of Marine Acidification in the Seas Surrounding Sweden
103. Jörgen Sahlberg, Hanna Gustavsson (2010)
HOME Vatten i Mälaren
104. K.V Karmanov., B.V Chubarenko, D. Domnin, A. Hansson (2010)
Attitude to climate changes in everyday management practice at the level of Kaliningrad region municipalities
105. Helén C. Andersson., Patrik Wallman, Chantal Donnelly (2010)
Visualization of hydrological, physical and biogeochemical modelling of the Baltic Sea using a GeoDomeTM
106. Maria Bergelo (2011)
Havsvattenståndets påverkan längs Sveriges kust – enkätsvar från kommuner, räddningstjänst, länsstyrelser och hamnar
107. H.E. Markus Meier, Kari Eilola (2011)
Future projections of ecological patterns in the Baltic Sea
108. Meier, H.E.M., Andersson, H., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B., Höglund, A., Hordoir, R., Schimanke, S (2011)
Transient scenario simulations for the Baltic Sea Region during the 21st century

109. Ulrike Löptien, H.E. Markus Meier (2011)
Simulated distribution of colored dissolved organic matter in the Baltic Sea
110. K. Eilola¹, J. Hansen⁴, H. E. M. Meier¹, K. Myrberg⁵, V. A. Ryabchenko³ and M. D. Skogen² (2011)
¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden, ²Institute of Marine Research, Norway, ³St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia, ⁴National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark, ⁵Finnish Environment Institute, Finland
Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea: A model study
Years 2001-2005
111. Semjon Schimanke, Erik Kjellström, Gustav Strandberg och Markus Meier (2011)
A regional climate simulation over the Baltic Sea region for the last Millennium
112. Meier, H. E. M., K. Eilola, B. G. Gustafsson, I. Kuznetsov, T. Neumann, and O. P. Savchuk, (2012)
Uncertainty assessment of projected ecological quality indicators in future climate
113. **Vakant – kommer ej att utnyttjas!**
114. Domnina, Anastasia¹. Chubarenko, Boris¹ (2012) *Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia.*¹
“Discussion on the Vistula Lagoon regional development considering local consequences of climate changes Interim report on the ECOSUPPORT BONUS+project No. 08-05-92421.
115. K. Eilola¹, J.L.S. Hansen⁴, H.E.M. Meier¹, M.S. Molchanov³, V.A. Ryabchenko³ and M.D. Skogen² (2013)
¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden. ²Institute of Marine Research, Norway. ³St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia. ⁴Department of Bioscience, Aarhus University, Denmark
Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea: A model study. Present and future climate
117. Kari Eilola¹, Elin Almroth-Rosell¹, Moa Edman¹, Tatjana Eremina³, Janus Larsen⁴, Urszula Janas², Arturas Razinkovas-Basiukas⁶, Karen Timmermann⁴, Letizia Tedesco⁵, Ekaterina Voloshchuk³ (2015)
¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden. ²Institute of Oceanography, Gdansk University, Poland. ³Russian State hydrometeorological University, Sankt-Petersburg, Russia. ⁴Aarhus University, Roskilde, Denmark. ⁵Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland. ⁶Coastal and Planning Research Institute, Klaipėda, Lithuania.
Model set-up at COCOA study sites
118. Helén C. Andersson, Lena Bram Eriksson, Niclas Hjerdt, Göran Lindström Ulrike Löptien och Johan Strömqvist. (2016)
Översikt av beräkningsmodeller för bedömning av fiskodlingars näringsämnesbelastning på sjöar, vattendrag, magasin och kustvatten
119. Ivan Kuznetsov, Kari Eilola, Christian Dieterich, Robinson Hordoir, Lars Axell, Anders Höglund and Semjon Schimanke. (2016)
Model study on the variability of ecosystem parameters in the Skagerrak - Kattegat area, effect of load reduction in the North Sea and possible effect of BSAP on Skagerrak - Kattegat area
120. Johannes Johansson, Martin Hansson (2016)
Slutrapport 2015 för uppdraget
”Databaslagring av historiska fys/kemdata från Stockholm Vatten
”Datavärdskapet Oceanografi och Marinbiologi
121. Arnold Andreasson, Patrik Strömberg, Maria Prager, Nils Nexelius (2016)
Automatisering av nationellt dataflöde till ICES genom skördning - en förstudie
122. Anders Höglund (2016)
Invasive species in the Baltic Sea A model study of plankton transport
123. Sofie Schöld, Sverker Hellström, Cajsa-Lisa Ivarsson, Per Kållberg, Helma Lindow, Signild Nerheim, Semjon Schimanke, Johan Södling och Lennart Wern (2017)
Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust

116. **Vakant – kommer ej att utnyttjas!**

124. Johan Södling, Signild Nerheim (2017)
Statistisk metodik för beräkning av extrema havsvattenstånd
125. Lasse Johansson, Walter Gyllenram, Maria Andersson och Signild Nerheim (2017)
Lokala effekter på extrema havsvattenstånd
126. Josefina Algotsson, Frank Van Der Stelt and Diala Abdoush (2019)
Swedish coastal water bodies on Wikidata
Combining WFD data with Wikidata
127. Josefina Algotsson, Moa Edman (2019)
Förslag till statusklassning av parameter 9.5
Sötvatteninflöde och vattenutbyte i
kustvatten och vatten i övergångszon En
jämförelse mellan Kustzonsmodellens
naturliga och normala uppsättning
128. Moa Edman, Jörgen Sahlberg (2019)
The Swedish Coastal zone Model (SCM)
129. Per Pemberton Lisa Lind, Anette Jönsson,
Lars Arneborg, Lars Axell Magnus
Hieronymus (2021)
Framtida isutbredning i svenska farvatten.
Analys av isförhållanden runt år 2040-2070
130. Jörgen Öberg (2022)
Cyanobakterier i Östersjön sommaren 2021

Denna sida är avsiktligt blank



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

ISSN 0283-7714 © SMHI