

Oppstrømming av dyphavsvann

Litteraturstudie av oppstrømming utenfor Salten/Lofoten/Vesterålen



Forsidefoto: Kvalvika med Kjerringa i bakgrunnen. Foto: Mia Husdal.

Akvaplan-niva AS

Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur

Org.nr: NO 937 375 158 MVA

Framsenteret

9296 Tromsø

Tlf nr: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01

www.akvaplan.niva.no**Rapporttittel / Report title****Oppstrømming av dyphavsvann – litteraturstudie av oppstrømming utenfor Salten/Lofoten/Vesterålen****Forfatter(e) / Author(s)**

Anna Helena Falk

Ole-Anders Nøst

Akvaplan-niva rapport nr / report no

6311-01

Dato / Date

09.12.2013

Antall sider / No. of pages

32

Distribusjon / Distribution

Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client

FM i Nordland og Fylkeskommunen i Nordland

Oppdragsg. referanse / Client's reference

Oddlaug Ellen Knutsen

Sammendrag / Summary

Funn av forhøyd nivå av kadmium (Cd) i taskekrabbe fra Salten og Lofoten/Vesterålen (kalt SaLoVe-området) i Nordland har resultert i behov for å finne årsaken til akkumulering av Cd. Undersøkelser som har blitt gjennomført i området har ikke kunnet gitt noe forklaring på fenomenet. I prosjektet som rapporteres her har Akvaplan-niva gjennomført en litteraturstudie av oppstrømming av dyphavsvann inneholdende Cd med videre opptak i biota. Avslutningsvis gis det forslag til videre undersøkelser som kan avklare om slike mekanismer kan være forklaringen på akkumulering av Cd i taskekrabbe i SaLoVe-området.

SaLoVe-området influeres av havstrømmer som bringer opp næringsrikt vann fra dypet. Området har intense virvler pga. at atlantehavsstrømmen og kyststrømmen blir presset sammen når de skal passere Lofoten. Virvelaktiviteten gjør det sannsynlig at oppstrømmingen av dypvann på sokkelen er ekstra sterk her. Havstrømmer blir guidet av havbunnens topografi og når dypvann kommer opp på sokkelen utenfor SaLoVe kan renner/daler i havbunnen føre det langt innover mot land. Lenger syd er det mindre sannsynlig at dette skjer fordi sokkelen er bredere og virvelaktiviteten svakere.

Dyphavsvann som transporteres inn mot kysten fra kontinentalsokkelen er vanligvis svært næringsrikt og skaper grunnlag for stor biologisk produksjon. På flere steder i verden har det også blitt registrert høye Cd-konsentrasjoner i dypvannet. Når Cd blandes inn i kystvannet er det trolig biotilgjengelig og tas opp i næringskjeden, særlig av plante- og dyreplankton ved våroppblomstring. Via plankton føres Cd videre til høyere trofiske nivåer, akkumulerer Cd i SaLoVe-området. Krabbe er kjent for å ta opp og akkumulere Cd i høyere grad enn mange andre dyr.

Videre undersøkelser i SaLoVe-området må gjøres for å bekrefte at oppstrømming faktisk skjer, hva vannet inneholder og hva som skjer med næringsstoffer og metaller når dyphavsvannet når kysten. Bl. a. vil prøvetaking av sjøvann, modellering av strømbildet og undersøkning av Cd i andre dyrearter gi verdifull informasjon om oppstrømming og eventuelle konsekvenser i SaLoVe-området.

Prosjektleder / Project manager

Anna Helena Falk

Kvalitetskontroll / Quality control

Anita Evenset

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	2
1 INNLEDNING	3
1.1 Formål.....	5
2 BAKGRUNN – KADMIUM I KRABBE.....	6
2.1 Tungmetaller.....	6
2.1.1 Kadmium	6
2.2 Taskekrabbe.....	7
2.3 Tidligere og pågående undersøkelser	8
2.3.1 Sedimentundersøkelse	8
2.3.2 Prøvetaking av fisk	9
2.3.3 Geologisk kartlegging av kystområdet	10
2.3.4 Kadmium i bentos.....	11
2.3.5 Ny krabbeundersøkelse.....	11
2.3.6 Tilførsel av kadmium fra oppdrett.....	11
3 OPPSTRØMMING AV DYPHAVSVANN UTENFOR SALTEN, LOFOTEN OG VESTERÅLEN	12
3.1 Havområdene Salten, Lofoten og Vesterålen	12
3.1.1 Planteplankton og våroppblomstring.....	12
3.1.2 Topografi, bunnforhold og strømforhold	12
3.2 Oppstrømming av dyphavsvann	14
3.2.1 Oppstrømming rundt Salten, Lofoten og Vesterålen.....	14
4 OPPSTRØMMING AV DYPHAVSVANN – SAMMENHENGER OG EFFEKTER I MILJØET	16
4.1 Innledning.....	16
4.2 Dyphavsvann og kadmium	16
4.3 Krabbe og kadmium	17
4.4 Skjell og kadmium.....	18
4.5 Kadmium i Antarktis	19
5 KONKLUSJON – OPPSTRØMMING OG KILDE TIL KADMIUM I SALOVE.....	20
6 KARTLEGGING AV OPPSTRØMMING AV DYPHAVSVANN I CD-PÅVIRKET OMRÅDE.....	22
6.1 Prøvetaking av sjøvann.....	22
6.1.1 Prøvetaking og analyse av sjøvann fra Cd-påvirket område	22
6.1.2 Passiv overvåking	22
6.2 Modellering av vannstrømmer og oppstrømningsområder	23
6.3 Kartlegging av kadmium i andre arter	23
6.4 Taskekrabbens helsetilstand	24
6.5 Taskekrabben i Troms	24
REFERANSER.....	25

Forord

Funn av forhøyde nivåer av kadmium (Cd) i taskekrabbe fra Salten og Lofoten/Vesterålen i Nordland har resultert i behov for avklaring av hva som ligger til grunn for denne akkumulering av Cd i taskekrabbe. Akvaplan-niva har i dette prosjektet gjennomført en litteraturstudie som hovedsakelig har fokusert på oppstrømming av dyphavsvann og hvordan dette kan påvirke nivåer av Cd i vann og biota. Rapporten inneholder også forslag til videre kartlegginger i området med forhøyde Cd-nivå i taskekrabbe for å avdekke om biota utsettes for Cd som opprinner fra dyphavsvann.

Oppdragsgiver for prosjektet har vært Fylkesmannen i Nordland og prosjektet er finansiert av Fylkeskommunen i Nordland. Vi takker Oddlaug Ellen Knutsen, Fylkesmannen i Nordland, for godt samarbeid gjennom prosjektet.

Tromsø

09.12.13



Prosjektleder

1 Innledning

Mattilsynet ved Distriktskontoret for Salten mottok i februar 2010 melding om at Livmedelsverket i Sverige ved en stikkprøvekontroll hadde påvist høye nivåer av kadmium (Cd) i taskekrabbe (*Cancer pagurus*) fra et parti fra et krabbemottak i Bodø. Cd-nivåene i klokjøttet (2,05 og 2,8 mg Cd/kg) var over EUs grenseverdi for humant konsum. Matvarer med nivå av fremmedstoffer over grenseverdi er forbudt å omsette.

EU har satt en øvre grenseverdi for Cd-innhold i klokjøtt fra taskekrabbe på 0,5 mg/kg våtvekt. Denne grenseverdien for trygg sjømat er også tatt inn i norsk regelverk. Grenseverdien gjelder ikke for brunmat (innmat) av krabbe fordi brunmat av krabbe generelt inneholder konsentrasjoner av Cd over denne grenseverdien.

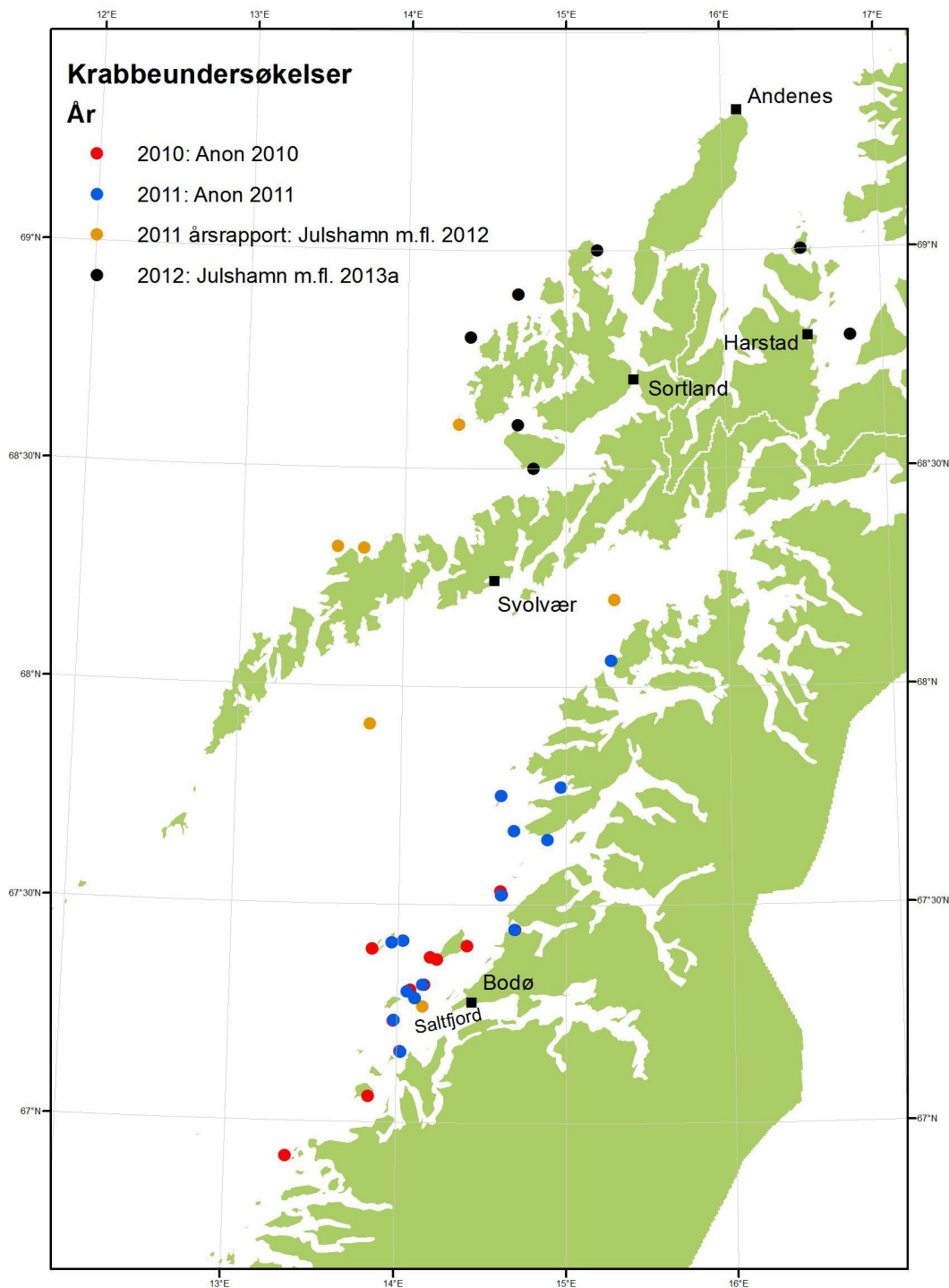
På grunn av funn av høye Cd-nivåer i krabbe ble det ytret ønske fra både krabbefiskere og andre næringsinteresser om å undersøke og kartlegge nivå av Cd i taskekrabbe fangstet i området fra Støtt og nordover til Folda (Steigen). Mattilsynet gjennomførte på grunn av dette i 2010 en kartlegging av taskekrabbe prøvetatt ved 14 ulike lokaliteter i Saltenområdet. Her ble det funnet at tre av de 14 prøvene hadde Cd-konsentrasjoner i klokjøtt over 0,5 mg/kg våtvekt, og nivåene i både klokjøtt og brunmat var en god del høyere enn det som ble funnet i fem prøver fra Hordaland, Sogn og Fjordane. Undersøkelsen viste at det er en høy risiko for at klokjøttet fra taskekrabber fangstet i dette området har Cd-konsentrasjoner som overstiger grenseverdien på 0,5 mg Cd/kg. Undersøkelsen indikerte at Cd-nivået avtar jo lengre sør i området taskekrabben er fangstet (Anon 2010).

En ny kartleggingsundersøkelse med 15 nye samleprøver ble gjennomført i Salten sommeren 2011. Den nye undersøkelsen bekreftet de høye Cd-konsentrasjonene funnet i 2010, med seks prøver over grenseverdien, også i prøver tatt noe lenger nord (Anon 2011). Etter undersøkelsene i 2010 og 2011 ble det kommersielle fisket stanset og Mattilsynet advarer gjennom kostholdsråd mot krabber fangstet til eget bruk nord for Saltfjorden. I dag pågår et begrenset kommersielt krabbefiske i Lofoten/Vesterålen. Mattilsynet har pålagt næringen å ta regelbundne stikkprøver for å kontrollere Cd-innhold.

Etter funnene av Cd i taskekrabbe i 2010 besluttet Mattilsynet i 2011 å gjennomføre en større kartlegging av fremmedstoffer i taskekrabbe langs hele den delen av norskekysten der taskekrabben finnes. Resultatene viste at konsentrasjonene både i klokjøtt og brunmat var betydelig høyere i Nord-Norge nord for Saltfjorden enn lenger sør i landet. Nord for Saltfjorden var det kun to lokaliteter som ikke viste en gjennomsnittlig Cd-konsentrasjon i klokjøtt over EUs grenseverdi for humant konsum. Det ser ikke ut som om det er en gradvis økning i Cd-innholdet nordover langs kysten. Det skjer en brå økning ved Salten (Julshamn m. fl. 2012).

Ytterligere en undersøkelse av krabbe innsamlet i Vesterålen ble utført i 2012 på oppdrag av Mattilsynet. Analyseresultatene viste at det var individuelle variasjoner, men på kun en stasjon av syv var Cd-konsentrasjonene i klokjøtt under grenseverdien på 0,5 mg/kg (Julshamn m. fl. 2013a). Undersøkelsen bekreftet at taskekrabbe også nord for Salten og Lofoten inneholdt Cd-konsentrasjoner over EUs grenseverdi. Prøvetakingen ble utført i november/desember og viser konsentrasjoner i klokjøtt opp til 3,0 mg Cd/kg. Dette tyder på at uavhengig av sesong inneholder krabben høye Cd-konsentrasjoner i det berørte området.

Figur 1 viser hvor prøver av krabber er tatt i undersøkelsene gjennomført i 2010 – 2012



Figur 1. Oversikt over lokaliteter hvor det er tatt prøver av taskekrabbe i perioden fra 2010 – 2012.

Hva som er årsak til nivåer av Cd over grenseverdien i taskekrabbe fangstet i dette området er ukjent. Det er heller ikke kjent om Cd-nivåene i området er naturlig høye eller om det er menneskelig aktivitet som er kilden. Potensielle kilder kan være utslipp fra aktive eller nedlagte bedrifter og gruvevirksomhet i området, dumpet avfall/ammunisjon, avløp eller utsig fra forurenset grunn. Undersøkelser fram til nå har ikke avdekket noen punktkilder der Cd er påpekt som problematisk (se avsnitt 2.3) Undersøkelser gjennomført i andre havområder har vist at oppstrømmende dyphavsvann kan inneholde forhøyd nivå av Cd som kan føre til økte nivå i biota. Det er mulig at slike prosesser kan bidra til forhøyd nivå av Cd i krabbe langs deler av norskekysten.

1.1 Formål

Formålet med dette prosjektet har vært å forsøke å besvare om de høye Cd-nivåene i krabbe i Salten/Lofoten/Vesterålen-området (heretter benevnt SaLoVe-området) kan skyldes oppstrømming av naturlig Cd-rikt dyphavsvann.

Det har ikke vært gjennomført noen ny prøvetaking som del av prosjektet. Konklusjonene er derfor basert på litteraturstudier av oppstrømming og transport av dyphavsvann fra kontinentalsokkelen inn til kysten i området fra Saltenfjorden, rundt Lofoten og opp til Vesterålen. Relevante forskningsresultater fra andre havområder der dette fenomenet har vært observert er sammenstilt og resultater fra oseanografiske undersøkelser i det aktuelle området er vurdert. Det er også satt opp forslag til videre undersøkelser i SaLoVe-området.

2 Bakgrunn – kadmiium i krabbe

2.1 Tungmetaller

Tungmetaller er persistente grunnstoffer som ikke kan brytes ned av biologiske, fysiske eller kjemiske prosesser. Derfor kan de akkumuleres i organismer og næringskjeder. Opptaket av tungmetaller i dyr kan foregå over huden, gjeller, lunger, eller fordøyelseskanalen. Det er stor variasjon blant ulike arter når det gjelder evnen til å regulere nivået av tungmetaller i kroppen. Noen dyr kan balansere opptaket av et metall med utskillelse, mens andre derimot kan regulere nivået i kroppen innenfor helt bestemte grenser. Det kan være verdt å merke seg at det kun er de essensielle metallene som det ser ut til å være reguleringsmekanismer for (Cu, Cr, Ni og Zn). Det er imidlertid mange dyr som har liten eller ingen evne til å regulere eller balansere opptak av tungmetaller i det hele tatt (Poleo m. fl. 1997).

I tillegg til at vi må vite hvor giftig en miljøgift er, bør vi ha kunnskap om hvordan den tas opp av biologien og hvor mye det foreligger i miljøet. Vi må også vite hva som er det naturlige bakgrunnsnivået av stoffet, hvilket kan være vanskelig å fastslå, dersom man ikke kjenner området tilstrekkelig mhp. naturlige geologiske, biologiske og kjemiske prosesser. Dermed kan det finnes områder som kan karakteriseres som forurenset, selv om dette ikke skyldes menneskelig aktivitet. Mange stoffer som regnes for miljøgifter er samtidig naturlige bestanddeler av miljøet, men da i lave konsentrasjoner. Det er først når vi har for mye av disse stoffene at de blir giftige. Hva som er et naturlig bakgrunnsnivå av en miljøgift er enklere å avgjøre for organiske miljøgifter, som f. eks. polyklorete bifenyler (PCB), fordi disse er menneskeskapt og ikke finnes naturlig i miljøet (Poleo m. fl. 1997).

2.1.1 Kadmium

Kadmium er oppført på miljømyndighetenes prioritetsliste, som er en liste over elementer/forbindelser som Miljødirektoratet jobber aktivt for å redusere bruk og utslipp av. Målet er å stanse eller redusere utslippene vesentlig innen 2020. Både lokale kilder og forurensninger fra andre land bidrar med tilførsler av Cd til norsk natur. Tilførslene omfatter både menneskeskapt utslipp og utslipp fra naturlige kilder. Utslipp og deponering av Cd i miljøet regnes som et betydelig problem i Norge. Akkumulering av Cd i mat, som f. eks. blåskjell og fiskelever, er et av de største problemene med dette tungmetallet.

Kadmium er et tungmetall som er naturlig utbredt i jordskorpen, og det finnes ofte sammen med sink. Cd brukes i mange industrielle prosesser, og er også knyttet til gruvedrift. Typiske bruksområder er i batteriproduksjon, i galvanisering og som stabilisator og pigment i plastprodukter. Langtransporterte forurensninger bidrar med større tilførsler av Cd til norsk natur enn utslipp fra norske kilder (www.miljostatus.no).

Generelt, er det mulig å skille mellom 8 forskjellige kilder som kan gi opphav til forurensning av Cd i havet (Poleo m. fl. 1997):

1. Geologisk vitring og tilførsel fra ferskvann.
2. Prosessindustri f. eks. malmforekomster, med utslipp av uorganiske komponenter.
3. Bruk av metaller og metallkomponenter.
4. Lekkasje av metaller fra avfallsforbrenning, søppelplasser og deponier.
5. Utslipp av avløpsvann.
6. Avrenning fra byer og landbruk (Cd er vanlig forekommende i kunstgjødsel).
7. Oppstrømming av Cd-rikt dyphavsvann.

8. Diagenetisk mobilisering av metaller i sediment til vann (når sediment omdannes til berg).

Kadmium er meget giftig og forekommer naturlig i miljøet i svært lave konsentrasjoner. Cd er et ikke-essensielt metall og frigjøres naturlig fra blant annet vulkaner, berggrunn og råtnende planterester. I det marine miljøet danner Cd svake bindinger til partikulært materiale og derfor fordeler løst Cd seg i havet på samme måter som næringsalter. Cd er et mobilt metall som lett tas opp i marine alger og biota (blant annet krabbe, snegl og muslinger, som er kjent for å akkumulere Cd). Algene tar opp Cd som er assosiert med næringsalter i vannet, mens biota tar opp metallet gjennom føden. Også for fisk og sjøpattedyr er føden en betydningsfull Cd-kilde. Det er vist at sjøpattedyr akkumulerer Cd i nyrene og i leveren etterhvert som de blir eldre. Dette skyldes ikke bare et høyt opptak av Cd, men også det faktum at metallet har meget lang oppholdstid i kroppen (halveringstid: 10-20 år) (Poleo m. fl. 1997).

De mest alvorlige konsekvensene av Cd-forgiftning hos virveldyr, medregnet mennesket, er nyresvikt og skader på benvev. Mange organismer har metallbindende proteiner som et forsvar mot metallforgiftning. Proteinene metallotionein er et slikt protein, og Cd kompleks lett med dette proteinet som senker konsentrasjonen av frie ioner i kroppsvæskene. Cd bundet til metallotionein er ikke toksisk. Det er først når Cd-konsentrasjonen overskrider konsentrasjonen av proteinet at Cd blir mobilt i organismen og kan virke giftig (Poleo m. fl. 1997). Cd akkumuleres lite i fiskemuskel, men mer i skalldyr og skjell (Meltzer m. fl. 2000).

2.2 Taskekrabbe

Taskekrabber lever lenge, opp til 20 år er ikke uvanlig. Den kan veie opp til 2,5 kg, med en maksimal skallbredde på ca. 26 cm. Taskekrabben er utbredd fra Troms i nord til Egeerhavet og Marokkos kyst i sør. Taskekrabben finnes også i Skagerrak og Kattegat og ved Orkenøyene, Shetland og Færøyene. Hovedutbredelsen er i området ved den engelske kanal og langs den engelske, skotske og irske kysten. Utbredelsen nordover har ekspandert de siste 10 – 20 årene.



Figur 2. Taskekrabbe (*Cancer pagurus*). Foto: Astrid Woll, Møreforskning.

Taskekrabbens livssyklus er delt i et kortvarig stadium hvor den oppholder seg i de frie vannmasser (6 – 8 uker som larver) og et lengre dominerende bunn-stadium. Taskekrabben blir kjønnsmoden i en alder av 4 – 5 år. Ved gyting blir alle eggene klebet fast til haleføttene på hunnen. Gyteperioden strekker seg i hovedsak fra oktober til desember og perioden fra gyting til klekking er 7 – 8 måneder og under store deler av denne tiden ligger hunnen halvt nedgravde på bunnen (Figur 3).



Figur 3. Hunkrabbens befruktete egg (utrogn) utvikles mens de sitter fast under haleklaffen. Foto: Astrid Woll, Møreforskning.

Krabber er nattaktive og opptrer både som rovdyr og åtseletere. Krabbene er nærmest altetende og forsyner seg av det som til enhver tid er tilgjengelig der den oppholder seg. Taskekrabbe lever av ulike typer av bunndyr, men spiser også det meste av dødt og levende materiale som finnes på bunnen, fisk og andre krepsdyr, men den foretrekker skjell og børstemark. På grunn av krabbens allsidige meny er den på et relativt høyt trofisk nivå.

Krabber forflytter seg over relativt store avstander og oppholder seg i alt fra kystnære strøk til dyp på 400 m, men er vanligst grunnere enn 40 m. Taskekrabbe foretrekker hardbunnsområder, men kan vandre ut på sjøbunn med skjellsand og leire. Om vinteren trekker den til dypere områder, der temperaturen på bunnvannet er noe høyere enn i kystområder. Unge, ikke kjønnsmodne krabber, vandrer lite. For kjønnsmodne krabber er det påvist ulike vandringmønstre som sesongvandring, gytevandring og døgnvandring. Det er forskjeller i vandremønsteret til hunner og hanner. Store hunkrabber kan foreta vandring over flere mil, sannsynligvis i forbindelse med gytesyklusen. Hankrabbene er mer stasjonære. (www.imr.no, Woll 2005).

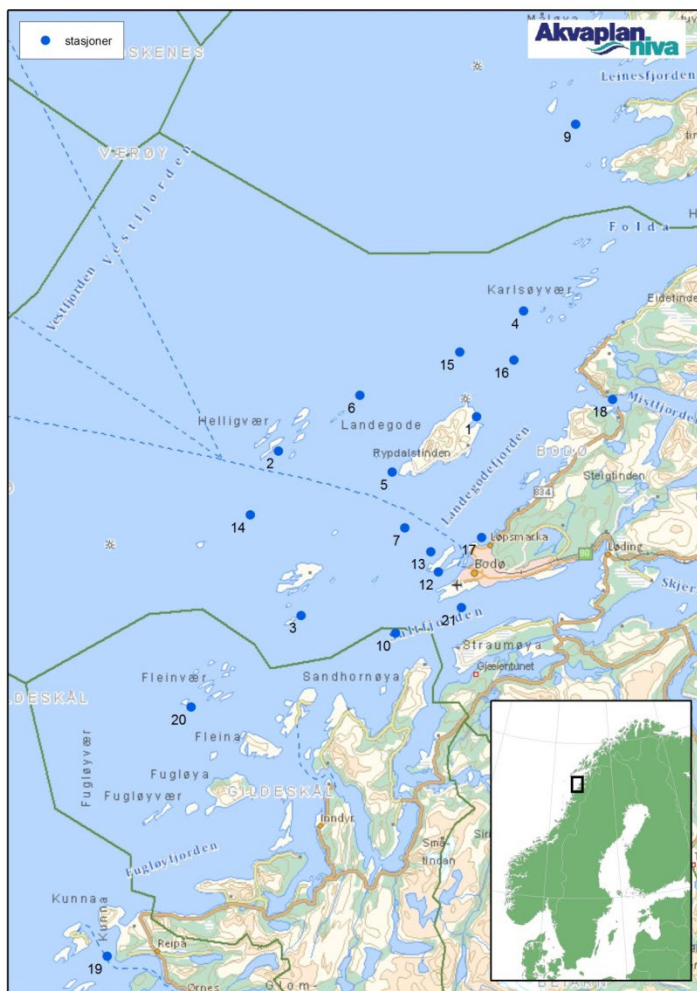
2.3 Tidligere og pågående undersøkelser

Oppdagelsen av høye Cd-konsentrasjoner i taskekrabbe fra SaLoVe-området har ført til et flertall undersøkelser av miljøet i området for å finne forklaringen til akkumuleringen av Cd i krabben. I tillegg til undersøkelsene som omtales nedenfor har Fylkesmannen i Nordland (FM) utarbeidet et notat om aktiviteter i perioden 2010 – 2013, som er gjennomført for å finne en forklaring til at krabben i nordre Nordland har et så høyt Cd-nivå. FM har i samarbeid med Miljødirektoratet arbeidet med kildeoppsporing av Cd gjennom å sammenstille eksisterende kunnskap om kilder fra egne arkiver og rapporter, databasen «Norske Utslipp» og nasjonale overvåkningsprogram. De har også utført tilsyn med bedrifters utslippskontroll. FM har ikke klart å påpeke noen store punktutslipp som kan forklare påvirkningen av et så stort område det her handler om (Knutsen 2013).

2.3.1 Sedimentundersøkelse

På oppdrag fra Miljødirektoratet gjennomførte Akvaplan-niva høsten 2012 en kartlegging av metaller i marint sediment i Salten-området for å kartlegge eventuelle Cd-kilder på havets bunn. Totalt ble 157 stk. sedimentprøver samlet inn fra Støtt i sør til Andholmen i nord (Figur 4). Stasjonsnettet var utarbeidet for å dekke lokaliteter der krabbe hadde blitt innsamlet, med både lave og høye Cd-konsentrasjoner, og lokaliteter der lokal kunnskap tilsa at det kunne være lokale kilder til Cd (båtvrak og dumpingplasser fra blant annet andre verdenskrig). Resultatene fra undersøkelsen viste at det generelt var lave metall-konsentrasjoner i sedimentprøvene (tilsvarende tilstandsklasse I – bakgrunnsnivå). Noen stasjoner skilte seg ut

med resultater tilsvarende tilstandsklasse II (god), blant annet for nikkel (Ni), bly (Pb) og kvikksølv (Hg). I et fåtall sedimentprøver ble det målt lett forhøyde Cd-nivå (tilstandsklasse II), men ingen konsekvente trender ble observert, og det var heller ikke direkte samsvar mellom forhøyde nivå i sediment og i krabbe fra undersøkelsene i 2010 og 2011. Ingen konkrete punktkilder til Cd i Saltenområdet ble avdekket gjennom denne undersøkelsen og resultatene indikerer at anrikningen i krabbe er en naturlig prosess og ikke skyldes tilførsler fra menneskeskapte kilder (Falk 2012).



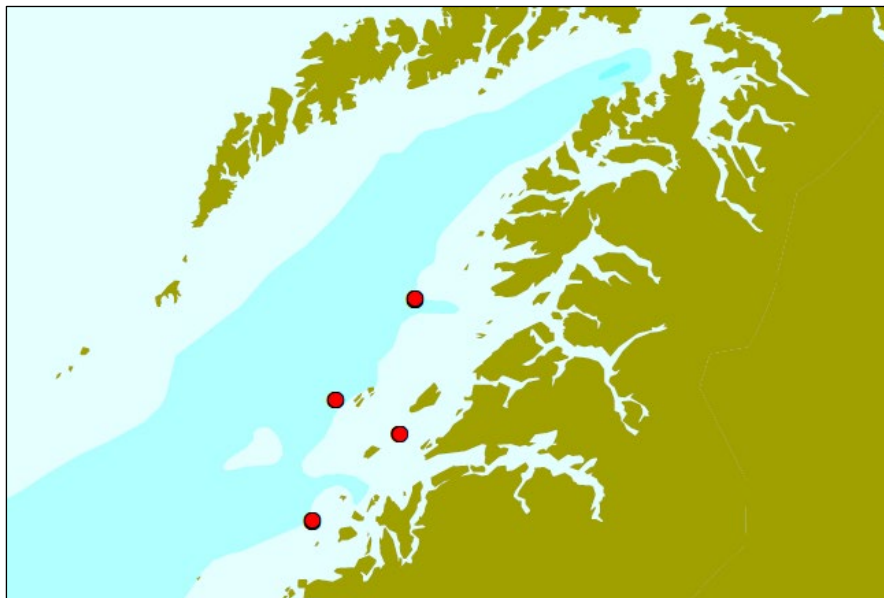
Figur 4. Stasjonskart for sedimentprøvetaking i Saltenområdet, oktober 2012 (Falk 2012).

2.3.2 Prøvetaking av fisk

Funn av forhøyde nivå av Cd i krabbe førte til at det ble stilt spørsmål om det kunne være forhøyde nivå også i fisk. Mot slutten av 2012 tok derfor Mattilsynet avgjørelsen om å samle inn prøver av brosme, kveite og uer, som alle er bunnlevende arter som kunne tenkes å ta opp Cd fra eventuelle tilførsler i området, se prøvetakingsstasjoner i Figur 5. Resultatene viste lave verdier for Cd i filet av de undersøkte fiskeartene. Ingen enkelt fisk hadde Cd-verdier over EUs maksimums grense på 0,05 mg/kg våtvekt i fiskefilet, unntatt en kveite på 28 kg som hadde et innhold på 0,055 mg/kg våtvekt. Cd-innholdet i lever var som ventet høyere enn i filet for alle de undersøkte fiskeartene. EU har ikke satt maksimums grenser for Cd i lever. Det ble ikke funnet noen signifikante sammenhenger mellom Cd-innhold i lever og vekten av fisken for noen av de tre artene.

NIFES har i løpet av de siste 5 årene gjennomført 4 store basisundersøkelser av ulike fiskearter der det har vært prøvetaking i Nordland. Det gjelder basisundersøkelser for torsk,

sei, NVG-sild og blåkveite. Data herifra er ikke direkte rettet inn mot SaLoVe-området, men det store datamaterialet gir imidlertid ikke grunnlag for uro over Cd-verdier i fiskefilet. Verdiene er generelt svært lave, men noe høyere i NVG-sild enn i torsk, sei og blåkveite. Dette regnes som naturlig artsvariasjon (Julshamn m. fl. 2013b).



Figur 5. Kart som viser de fire stasjonene hvor det ble tatt prøver av brosme, kveite og uer i november/desember 2012 (Julshamn m. fl. 2013b).

2.3.3 Geologisk kartlegging av kystområdet

Norges geologiske undersøkelse (NGU) satte i 2012 i gang en detaljert kartlegging av metaller i kystområdene i Salten. De har samlet inn prøver av overflatevann, grunnvann fra borebrønner i fjell, løsmasser og berggrunn fra et 50-talls steder i kystlandskapet. NGU har fokusert på små vassdrag med direkte avrenning til sjøen, ettersom disse er lite karakterisert når det gjelder vannkjemi. Tre av de største vassdragene i området ble også inkludert; Beiarn, Saltdal og Sulitjelma. Det ble også tatt prøver av de viktigste bergartsgruppene i området, for å kunne gjøre overslag over hvilke "depoter" av Cd som finnes i naturen. Fokus har vært på å dokumentere tilstanden i vannet i de små vassdragene som ikke tidligere er undersøkt, og som har utløp direkte til sjøen, samt å etablere eventuell sammenheng mellom Cd-status i ferskvann og i berggrunn og løsmasser.

I overflatevannet er det bare fire av prøvene som har Cd-konsentrasjoner som overstiger deteksjonsgrensen på 0,03 µg/L. Bare to av grunnvannprøvene har verdier over deteksjonsgrensen. Data for vann i små vassdrag hittil ikke rapportert i RID har ikke Cd-verdier som avviker fra det kjente bildet i området. Det opprinnelige regionale bildet av Cd i løsmassene er uendret etter utfyllende prøvetaking, og utover å bekrefte generell kunnskap om at kalkstein/marmor kan ha noe høyere innhold av Cd, er det lite konkret som peker på at det er andre forhold i abiotisk terrestrisk miljø i Salten og Lofoten enn øvrige områder langs kysten, der taskekrabbe ikke er funnet å ha høye Cd-verdier. Et nylig igangsatt større prosjekt på NGU om forvitningsstatus kan bidra til ny kunnskap om geografisk variasjon i Cd-tilgjengelighet (Finne 2013).

2.3.4 Kadmium i bentos

Universitetet i Nordland holder på med et mastergrad-prosjekt med fokus på problemstillinger knyttet til Cd-forekomst i næringskjeden til krabben i Saltenområdet. Målet med mastergrad prosjektet er å gi innsikt i Cd-akkumulering i bunnlevende organismer (bentos) i forhold til deres levemåte og trofisk nivå. Målet skal nås gjennom å (1) bestemme Cd-innholdet i utvalgte bunndyr, som representerer forskjellige trofiske nivåer og (2) beskrive mangfoldet av bentos og samfunnsstruktur på forskjellige steder. Studien vil forhåpentligvis si noe om hvordan krabben eksponeres for Cd gjennom sitt fødevalg. Bunndyrsprøver ble innsamlet i mai/juni 2013 og en oppfølgende prøvetaking utføres i november/desember 2013. Studien avsluttes og rapporteres våren 2014.

2.3.5 Ny krabbeundersøkelse

Fiskeri- og Kystdepartementet, Nordland fylkeskommune og Miljødirektoratet har i oktober 2013 gitt midler til å gjøre ytterligere prøvetaking og kartlegging av Cd-nivåene i taskekrabber langs Nordlandskysten og i deler av Sør-Troms. Denne undersøkelsen skal gjennomføres vinteren 2013/2014. Formålet med denne oppfølgende prøvetakingen er å få økt kunnskap om fra hvilke områder det eventuelt er trygt å spise krabber fra og som på nytt kan åpnes opp for taskekrabbefiske. Krabbe skal samles inn fra 20 lokaliteter og i denne prøveserien er stasjonene plassert lenger inn i fjorder som eventuelt kan være mindre påvirket av oppstrømming av bunnvann som er rikt på næring og eventuelt også Cd. Resultater og rapport vil preliminært foreligge i mars 2014.

2.3.6 Tilførsel av kadmium fra oppdrett

Miljødirektoratet holder på med å undersøke Cd-nivå i krabbe samlet inn rundt tre oppdrettsanlegg. Fiskefôr kan inneholde Cd og er dermed en potensiell kilde til tilførsler av Cd til miljøet. Det er derfor et behov for å undersøke om fiskefôr faktisk er en kilde for tilførsler av Cd til norsk miljø. Formålet med prosjektet er å kartlegge tilførsel og konsentrasjoner av Cd fra produksjon av laksefisk i åpne merder i sjø.

Møreforskning gjennomførte innsamling av taskekrabbe, blåskjell, børstemark, sediment og vann i august 2013. Oppdraget gikk så videre til Akvaplan-niva for analyse og rapportering. Prøvematerialet har blitt analysert i november 2013 og en rapport vil foreligge i januar 2014.

3 Oppstrømming av dyphavsvann utenfor Salten, Lofoten og Vesterålen

3.1 Havområdene Salten, Lofoten og Vesterålen

Lofoten og nærliggende områder er helt unikt på grunn av kombinasjonen av stabile og næringsrike hav- og kyststrømmer som kommer opp fra dypet og blandes på grunt vann mellom mange øyer. Her skapes grunnlag for en stor biologisk produksjon fra små planteplankton til store fiskebestander, sjøfugl, hval og mennesker.

Øyene i Lofoten stikker langt ut i havet. Her bryter de opp havstrømmene. Det bringer vannet fra dypet opp til overflaten. Dette kalles oppstrømmer. Vannet som bringes opp til grunnere vann inne på kontinentalsokkelen fanges av bunntopografien og øyene. I tillegg bidrar vinden til en god blanding av disse vannmassene.

Vannet i strømmene er gjerne svært næringsrikt, men så lenge havstrømmene går så dypt at de er utenfor sollysets rekkevidde, kommer ikke den biologiske produksjonen i gang. Bunnvannet er rikt på næringsalter som stammer fra bunnfelt dødt organisk materiale, mens overflatevann normalt er næringsfattig. Når næringsrikt dyphavsvann presses opp omkring SaLoVe-området, starter en enorm biologisk produksjon og mye lys om sommeren gir tilnærmet døgkontinuerlig planteplanktonproduksjon (www.imr.no).

3.1.1 Planteplankton og våroppblomstring

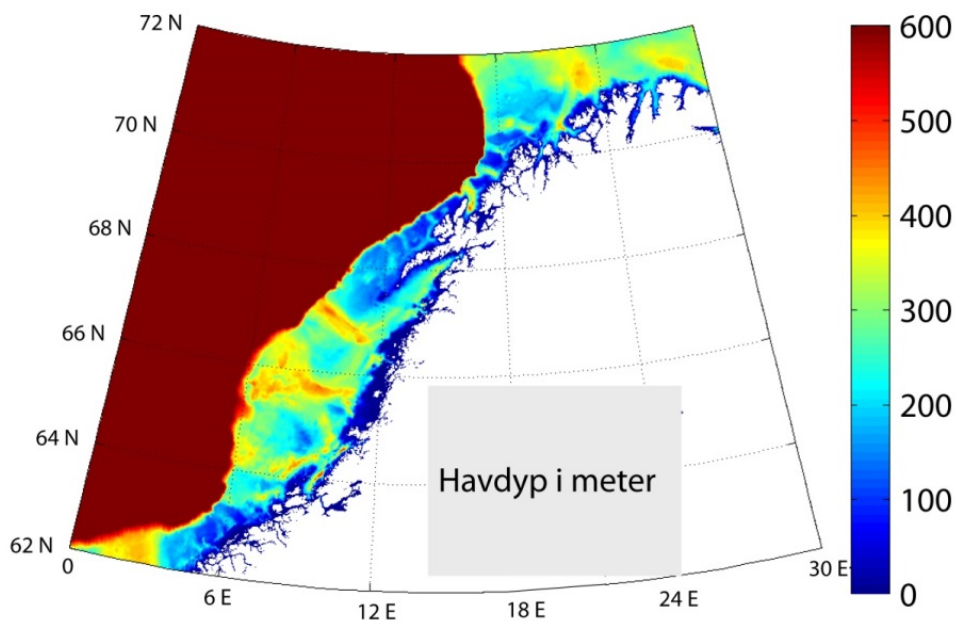
Planteplanktonet er primærprodusentene i havet, og er grunnlaget for det meste av livet i havet, fra bakterier til hval. Det er store variasjoner i planteplanktonmengdene både i tid og rom. Tidspunktet for når våroppblomstringen av planteplankton skjer varierer (generelt fra mars til midten av mai), og mengden planteplankton varierer både gjennom året og fra år til år. Om høsten kan det registreres en ny oppblomstring, men denne oppblomstringen skjer ikke hvert år og kan variere betydelig. Om vinteren er mengden planteplankton i Norskehavet ekstremt lav (www.miljøstatus.no).

Våroppblomstringen gir næringsgrunnlag for dyreplankton som igjen er bytte for fisk. I Norskehavet finnes våre viktigste fiskebestander. Fisk som torsk, sei, sild og hyse vandrer lange avstander til dette området for å gyte. Området er også viktig for fisk resten av året. Dette skjer i skjæringspunktet mellom to sorter økosystemer; Barentshavet mot øst og nord, Norskehavet mot sør og vest. Det som skjer her har stor påvirkning på begge disse økosystemene (www.imr.no).

3.1.2 Topografi, bunnforhold og strømforhold

Havbunnen utenfor SaLoVe-området er kjennetegnet ved en smal kontinentalsokkel med grunner og renner med dyp mellom 50 og 500 meter. Bare få kilometer fra land går kontinentalskråningen brått ned til dypvannsslettene på flere tusen meters dyp (se Figur 6).

Den breie kontinentalsokkelen utenfor Midt-Norge ble laget av istidene som brakte store mengder morenemasser med seg til havs. Utenfor SaLoVe-området var isens avsetninger langt mindre. Derfor trenger man ikke dra så langt fra land før det går stupbratt nedover i dyphavet til den vulkanske havbunnen som ble dannet for 60 millioner år siden.

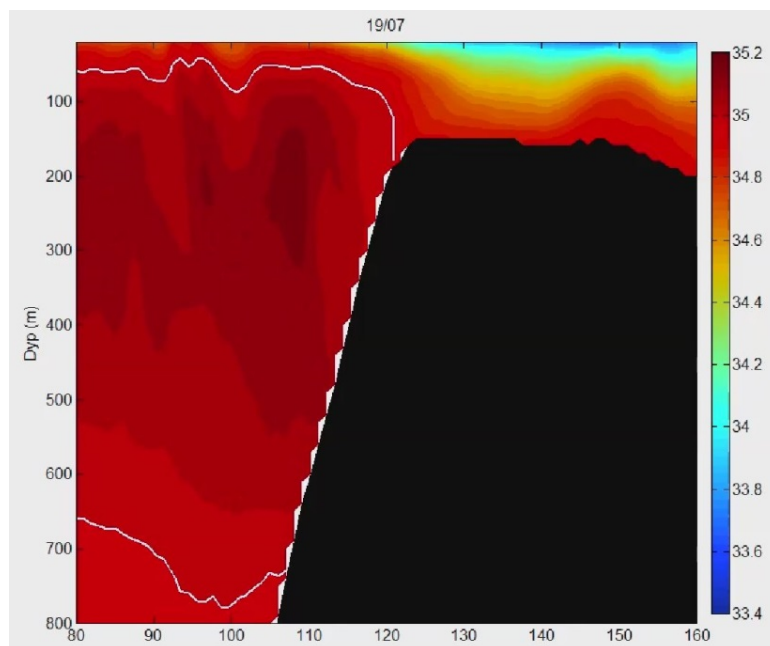


Figur 6. Havbunnens topografi på kontinentalsokkelen (Amante og Eakins 2009).

Lofotøyene stikker ut i havet som en plog og påvirker både Atlanterhavsstrømmen og den norske kyststrømmen. Strøm og vind fører til oppstrøm, næringsrikt dyphavsvann presses opp over Eggakanten. Det oppstår en blanding av ferskere kystvann som flyter over det saltere, relativt varme atlantiske vannet når de to strømmene treffes (www.imr.no).

Dette er i utgangspunktet et fenomen som forårsaker høy marin produksjon på en rekke steder i verden. Den norske kontinentalsokkelen er imidlertid særlig smal utenfor Lofoten og Vesterålen. Blandingen av de ulike vannmassene forekommer derfor i et uvanlig lite og avgrenset område. Fronter mellom vannmassene er derfor nærmere land enn andre steder langs kysten. I tillegg får disse frontene en ustabil karakter på grunn av stedets topografi. Dette fører til en kraftig omrøring og blanding av vannmasser fra dypet og kysten.

Vannmassene på kontinentalsokkelen er påvirket av avrenning av ferskvann fra land. Vannmassene over kontinentalskråningen består for det meste av varmt og salt vann som har blitt transportert nordover av Golfstrømmen. Utenfor kysten av Norge blir vannmassene med opprinnelse i Atlanterhavet liggende ved siden av kystvannet over kontinentalsokkelen, og dette vises tydelig i et vertikalt snitt av saltholdighet i vannmassene utenfor kysten (figur 7).



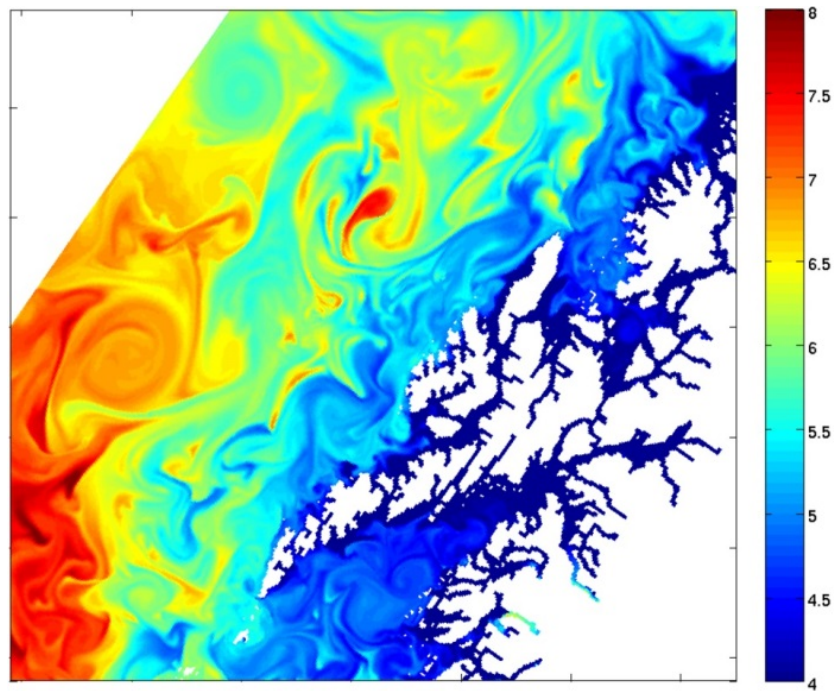
Figur 7. Saltholdighet i et vertikalt snitt gjennom vannmassene på tvers av kontinentalsokkelen utenfor Lofoten/Vesterålen. Legg merke til det relativt ferskere kystvannet over kontinentalsokkelen. Data er hentet fra simuleringer med modellen Norkyst-800 (Albretsen m. fl. 2011).

3.2 Oppstrømning av dyphavsvann

Oppstrømning er en form for vertikal sirkulasjon av vannmasser som skjer under bestemte forutsetninger i havet, og som fører til at kaldt, tungt og næringsrikt bunnvann kommer opp og erstatter overflatevannet. Når en vind blåser over åpent hav, vil de øvre vannlagene trekkes til høyre for vindretningen (på nordlige halvkule). Når overflatevann på denne måten trekkes vekk fra en kyst vil det erstattes med vann fra dypet – oppstrømning. Dette fenomenet kalles ekman pumping, ettersom vannet på en måte blir pumpet opp fra dypet av vinden. Men vind er ikke den eneste drivkraften til oppstrømning selv om teorier med vind som forklaringsmodell er mest kjent. I en studie fra Antarktis ser vi at oppstrømning skjer selv om vinden trekker overflatevannet mot kysten og virker til å hindre oppstrømning (Nøst m. fl. 2011). Her er det tetthetsfordelingen mellom kystvannet og vannet over dyphavet som er avgjørende.

3.2.1 Oppstrømning rundt Salten, Lofoten og Vesterålen

Tetthetsfordelingen mellom kyst- og dypvann utenfor SaLoVe-området er lik den vi ser i Antarktis: ferskt og lett kystvann ligger side om side med saltere og tyngre dypvann over kontinentalskråningen. Vind-effekter kan være en årsak til oppstrømning i området, men det er sannsynlig at tetthetsfordelingen i vannmassene også er viktig. Som en konsekvens av jordas rotasjon er virvlene i havet viktig for den tetthetsdrevne oppstrømningen. Disse virvlene er dannet i en prosess som kalles baroklin instabilitet, hvor den potensielle energien i havet blir omdannet til bevegelsesenergi. Denne omformingen av energi krever vertikal sirkulasjon og er en viktig årsak til oppstrømning langs kysten. Virvlene som er dannet ved baroklin instabilitet er ca. 20-30 km i diameter, og de finnes overalt langs Norskekysten, selv om intensiteten varierer. Området med de mest intense virvlene finnes utenfor SaLoVe, og de sees tydelig i bilder av overflatetemperatur i modeller (se Figur 8).



Figur 8. Overflatetemperatur i Salten og Lofoten/Vesterålen området. Virvelstrukturene vises tydelig. Data er hentet fra simuleringer med modellen Norkyst-800 (Albretsen m. fl. 2011).

At dette området har intense virvler kommer av at strømmene i området er ekstra sterke fordi den varme Atlanterhavsstrømmen og kyststrømmen blir presset sammen når de skal passere Lofoten. Den intense virvelaktiviteten i dette området gjør det sannsynlig at oppstrømningen av dypvann på sokkelen vil være sterk her.

Havstrømmer blir guidet av havbunnens topografi. Derfor følger ofte strømmene formasjoner som kontinentalskråningen. Når dypvann kommer opp på sokkelen kan renner/daler i havbunnen føre det langt innover mot land. Utenfor Lofoten finnes et flertall renner på havbunnen som ligger nært kysten og syd for Lofoten er det spesielt en markert renne i havbunnen med dyp ned mot 500 m (se figur 6). Denne rennen, Vestfjordrenna, vil kunne føre dypvann helt inn mot land i Salten-området. Det finnes ingen andre like markerte renner i området, og det er sannsynlig at det i denne dype rennen, til sammen med rennene utenfor Lofoten, blir ført mer dypvann mot land enn andre steder langs kysten av Nordland og Troms. Dette er en mulig årsak til at de høye Cd-konsentrasjonene bare blir funnet nord for Saltfjord. Lenger nord i Troms vil oppstrømning også forekomme, men rennene i havbunnen er grunnere hvilket trolig betyr at effekten av oppstrømning vil være svakere. Andfjorden, som går inn nord for Andøya, er en mulig lokalitet hvor dyphavsvann kan strømme opp. I Nord-Troms og Finnmark er sokkelen, akkurat som lenger syd, betydelig bredere og det er lite trolig at oppstrømning vil ha en stor effekt.

Strømmene i SaLoVe området har store sesongvariasjoner. Både middelstrømmene og virvelaktiviteten er sterkest om vinteren og våren, mest pga. sterkere vinder over havet på den årstiden. Oppstrømningen vil trolig følge det samme mønsteret og være sterkest om vinteren/våren.

4 Oppstrømming av dyphavsvann – sammenhenger og effekter i miljøet

4.1 Innledning

Dyphavsvann som kommer inn mot kysten fra kontinentalsokkel, er vanligvis svært næringsrikt og inneholder særlig mye fosfor. På flere steder rundt om i verden har det sammen med fosfor også blitt registrert høye Cd-konsentrasjoner. Dette er bl.a. observert i Antarktis, Portugal, Mexico, USA, Canada og England. I disse områdene har forhøyde Cd-konsentrasjoner også blitt målt i akvatiske organismer. I Antarktis er det lave Cd-konsentrasjoner i marine sedimenter, men forhøyde nivå i biota. Forklaringen på de forhøyde nivåene i biota har vist seg å være oppstrømming av naturlig Cd-rikt dyphavsvann. Cd er løst i vannet og dermed biotilgjengelig. Cd tas det opp i biota, men bindes ikke direkte til sedimentpartikler. Sjøvannet har høyest Cd-konsentrasjon før algeblomstringen skjer og mengden biotilgjengelig Cd kan gå drastisk ned gjennom algeoppblomstringen etter hvert som planteplankton akkumulerer Cd som er løst i vannet. Noen uker etter algeoppblomstringen har Cd-konsentrasjonen økt i organismer som filtrerer vann og deretter i høyere trofiske nivåer (Informasjon fra Francesco Regoli, Università Politecnica delle Marche, Italia).

4.2 Dyphavsvann og kadmium

Den totale mengden av Cd i verdenshavene er beregnet til ca. 68 millioner tonn (Lares m. fl. 2002). Mye av det Cd som finnes i havvann har fra begynnelsen vulkansk opprinnelse. Cd distribueres som et næringsstoff i vannsøylen, dvs. at det er mobilt stoff som forbrukes i overflaten av plankton, synker ned med døde plankton og anrikes på nytt på dypere vann, der organisk materiale brytes ned av bakterier og frigjør (remineraliserer) næring og spormetaller til vannsøylen. Cd bindes svakt til partikler i sjøvann og er isteden løst i vannet. Andelen frie ioner av Cd^{2+} i havvann er imidlertid lav, ca. 2,5 %, største delen er bundet i forskjellige klorkompleks, avhengig av salinitet. Cd er spesielt sammenkopleet med de viktige næringsstoffene fosfat (PO_4) og nitrat (NO_3) og forekommer også sammen med andre metaller som nikkel (Ni), mangan (Mn), kobolt (Co), sink (Zn), kobber (Cu), jern (Fe) og bly (Pb) i dyphavsvann (Lares m. fl. 2002). Når dypvannet transporteres til overflaten gjennom oppstrømming blir stoffene biotilgjengelige i den fototropiske sonen av vannet. Cd har blitt observert å ha en biologisk funksjon gjennom å erstatte det essensielle spormetallet Zn i marine fytoplankton (Löscher m. fl. 1998, Shiel m. fl. 2012). Stora datasett av dypvannets sammensetning har presentert at relasjonen mellom Cd og fosfat er relativt konstant i verdens oseaner, med en maksimal variasjon på $\pm 7\%$ (Frew 1995).

Variasjoner av styrken på oppstrømming og kontinental sokkelens bredde styrer tilgangen på næringsstoffer og spormetaller i kystvannet, man kan også se store sesongvariasjoner (Biller & Bruland 2013). Foruten å bruke temperatur (lavere), salinitet (høyere) og fosfat (høyere) som indikatorer på tilstedeværelse av nylig oppstrømmet dypvann kan også Cd brukes som tracer av oppstrømming til kysten da metallet distribueres likt fosfat og salinitet i vannsøylen (Kudo m. fl. 1996, van Geen & Husby 1996). Det er stort sett lineære forhold mellom Cd og fosfat og/eller nitrat i dyphavet (de Baar m. fl. 1994), men når vannet tar seg til kysten kan forholdet forandres pga. at næringsstoffene tas opp i mye større grad i fytoplankton enn hva Cd gjør (Takesue & van Geen 2002). I noen studier har det imidlertid blitt vist at

mengdeforholdet mellom Cd og fosfat og nitrat har vært konstant etter oppstrømming (Abe 2005, Biller & Bruland 2013).

Studiene av oppstrømming og koplingen til næringsstoffer og metaller omtalt i dette avsnittet har blitt utført utenfor California og Mexico, der oppstrømming er meget preget av sesongvariasjoner. I disse områdene er det på enkelte steder intensiv oppstrømming, noe som gir tydelige forskjeller i nærings- og Cd-konsentrasjoner sammenlignet med omkringliggende kystområder som er mindre påvirket av oppstrømming. Segovia-Zavala m. fl. (1998) oppgir at 99 % av alt Cd i kystvannet rundt California/Mexico grensen opprinner fra dyphavsvann og at bare 1 % kommer fra antropogene kilder.

Til tross for mye løst Cd i vannet i et oppstrømmingsområde under våroppblomstring viser Matthews m. fl. (2008) med vannprøvetaking at konsentrasjonene kan være lave. Dette kan forklares med at den biologiske akkumulasjonen foregår like fort som tilførselen av Cd (og næringsstoffer). Prøvetaking og analyse av zooplankton fra den samme tiden viste at zooplankton tok opp Cd fra vannet.

4.3 Krabbe og kadmium

Miljøgifter, som klororganiske forbindelser, Pb og Cd, akkumuleres i størst grad i den fettholdige innmaten av krabber, men metaller kan også finnes i høye konsentrasjon i kjøttet fra klørne. Undersøkelsene utført av NIFES og Mattilsynet viser at det kan forekomme store individuelle forskjeller i opptak av miljøgifter hos taskekrabbe som befinner seg innen samme geografiske område. Noen viktige faktorer for akkumulering av Cd i krabbe er følgende (Poleo 1997);

- Metallens fysikalske/kjemiske tilstandsform - foreligger metallet som frie ioner eller assosiert til suspendert partikulært materiale.
- Konsentrasjon av andre metaller og næringssalter i omgivelsen.
- Fysiske forhold som f. eks. lys, salinitet og temperatur.
- Krabbens helsetilstand, utviklingstrinn, alder og kjønn.
- Krabbens vandringsmønster.
- Ulike organ tar opp metaller med hjelp av forskjellige mekanismer.
- Evnene til å produsere proteiner (metallotioniner) som binder metaller.
- Evnen til å regulere forholdet mellom opptak og ekskresjon ("turnover frekvens").

Den naturlige tilstedeværelsen av Cd i taskekrabbe har blitt konstatert mange ganger siden den første rapporten kom i begynnelsen av 70-tallet. Særlig i Skottland og i den Engelske kanalen har høye konsentrasjoner av Cd flere ganger blitt målt i taskekrabbe (Overnell & Trehella 1979, Davies m. fl. 1981, Overnell 1986, Falconer m. fl. 1986). Høyest konsentrasjoner (opptil 62 mg/kg v.v.) er målt i krabbens brunmat (hepatopankreas - tilsvarer leveren i høyerestående dyr). Cd finnes også i gjeller, gonade (kjønnskjertel) og klomuskel. I krabben bindes Cd til metallotioniner, et protein som det finnes spesielt mye av i hepatopankreas, som til en viss grad kan uskadeliggjøre ikke-essensielle stoffer. Det er konstatert at Cd hovedsakelig tas opp med føden, men i områder med mye biotilgjengelig Cd i vannet kan krabben også ta opp Cd direkte fra vannet (Falconer m. fl. 1986). I nærheten av prøvetatte lokaliteter rundt Skottlands kyst finnes ikke noen kjente antropogene kilder til Cd, og det er derfor konkludert med at en naturlig høy konsentrasjon av Cd forekommer i regionen. Kilden er trolig av geologisk opprinnelse, gjennom remineralisering som frigjør

Cd til vannmassen (Falconer m. fl. 1986). Et forsøk med taskekrabbe (Davies m. fl. 1981) der den ble utsatt for Cd-kontaminert vann og/eller føde i 300 dager, viste tydelig at krabben akkumulerte Cd, for det meste i brunmat i forsøket med kontaminert mat. Den høyest konsentrasjonen av Cd i gjeller ble målt i forsøket med kontaminert vann. I det samme forsøket ble relativt lite Cd tatt opp i brunmaten.

Andre krabbearter har også blitt studert i forskningsprosjekt koplet til akkumulering av Cd. I et opptak- og elimineringsforsøk av Bjerregaard m. fl. (2005) tok strandkrabbe (*Carcinus maenas*) opp mellom 41 og 86 % av det Cd som ble tilsatt i dens føde, og over 90 % av det ble akkumulert i brunmaten. Opptak av Cd over gjeller representerte en brøkdel av den totale Cd-mengden i krabben etter forsøket. Dette var dessuten regulert av salinitet og temperatur i vannet, ettersom akkumulering av Cd fra vann øker med økende temperatur og med minkende salinitet. Den biologiske halveringstiden (tiden det tar før konsentrasjonen av en substans er halvert i kroppen) for akkumulert Cd var 626 dager. Dette var mye lengre tid enn for metaller som f. eks. Zn som blir halvert på 7 dager. Bjerregaard m. fl. (2005) observerte også sesongvariasjoner i Cd-verdier (høyest på sommeren) og forskjell mellom hunner og hanner (hunner hadde generelt lavere konsentrasjoner i brunmaten enn hanner).

Etter 4 uker med føring med Cd-kontaminerte skjell ble Cd-akkumulering målt i svømmekrabbe (*Portunus Pelagicus*) (McPherson & Brown 2011). Etter 8 uker var det av 6 stk. metaller (Cd, Cu, Zn, As, Fe og Al) bare Cd som viste en signifikant forskjell sammenlignet med konsentrasjoner i begynnelsen av forsøket. Cd ble bare akkumulert i brunmaten og forsøket viste tydelig biomagnifikasjon av Cd (oppkonsentrering fra et tropisk nivå til et annet).

Opptak av løst Cd fra vann styres av mange faktorer, hvorav salinitet er en av dem. En reduksjon av salinitet reduserer andelen Cl-ioner som er tilgjengelige for kompleksdannelse med Cd og dermed øker andel av frie Cd²⁺ ioner i vannet. Cd kan bruke de samme membranene i gjeller hos biota som kalsium (Ca) da de har lik størrelse. Dette ble observert hos strandkrabbe i et forsøk med forskjellige saliniteter og konsentrasjoner av Ca og Cd i vannet (Rainbow & Black 2005).

4.4 Skjell og kadmium

Skjell blir mye brukt som indikator for forurensing av miljøgifter i overvåkningsprogram, basert på at skjell akkumulerer miljøgifter og gir et langtidsbilde av forurensningssituasjonen. Lares & Orians (1997) og Lares m. fl. (2005) viste imidlertid at Cd-konsentrasjonen i blåskjell kan variere med 40 % over en to-dagers periode. Skjell kan derfor med fordel brukes som indikator på plutselige forandringer av stoffer i vann, som f.eks. skjer ved oppstrømming av dyphavsvann. Et alternativ til å bruke skjellens mykdeler er og prøveta det senest avsatte lagret av perlemor på skjellens innside, der er Cd-konsentrasjonen mer stabil. Lares og Orians (1997) utførte et korttidsforsøk med prøvetaking av vann (fosfat, temperatur og salinitet) og analyse av Cd i en type av blåskjell (*Mytilus californianus*) i fire uker under en oppstrømningsperiode utenfor Vancouver Island i Canada. Resultatene viste tydelig at når mengden av dyphavsvann var høy i vannet (lav temperatur, høy salinitet og høyt innhold av fosfat) inneholdt skjellene signifikant mer Cd sammenlignet med dager da oppstrømmingen var mindre. Bidrag fra føde til skjellens totale Cd-innhold var lavt, men faktorer som størrelse, tilvekst-rate, alder, kjønn, sesong, posisjon i tidevannssonen, salinitet, temperatur og konsentrasjon av andre stoffer i omgivelsen kan påvirke hvor mye Cd som tas opp.

I et uberørt og kjent oppstrømningsområdet utenfor Baja California, Mexico, ble det tatt prøver av blåskjell og kjempehare (*Macrocystis pyrifera*) hver måned fra januar til oktober (Lares m. fl. 2002). Prøvene ble analysert for Cd, Hg, Zn, Mn og Al. For Cd samsvarte

nivåene i skjell og tare godt med perioder med intensiv oppstrømming av dyphavsvann. De høyeste konsentrasjonene ble målt med ca. en måneds forskyving etter den mest intensive oppstrømmingen (mai/juni). I dette havområdet er 95 – 97 % av alt Cd i vannmassen beregnet å opprinne fra dyphavsvann og bare 3 – 5 % kommer fra antropogene kilder (Segovia-Zavala m. fl. 2004).

På øst- og vestkysten av USA har høye konsentrasjoner av Cd i skjell blitt koblet til oppstrømming av dyphavsvann (Apeti m. fl. 2009). På lokaliteter med høye Cd-verdier i skjell og østers har det ikke blitt målt forhøyde nivå i sedimentet og det er heller ikke påvist antropogene kilder i nærheten. Forklaringen til at det ikke er samsvar mellom høye Cd-verdier i biota og sediment er pga. at det trolig skjer en diagenetisk mobilisering av Cd i sedimentet. Når sedimenter omdannes til en fast bergart oppstår det forskjellige diagenetiske prosesser. Den første endringen er kompaksjon som skjer på grunn av vekten av overliggende masser og fører til at porerommet mellom kornene reduseres, og porevannet tvinges ut. Metaller som er løst i porevannet kan da remineraliseres og disponeres til vannsøylen med oppstrømmingsmekanismer.

Med hjelp av analyse av Cd-isotoper har Shiel m. fl. (2012) sammenlignet Cd i stillehavs-østers mellom tre forskjellige lokaliteter (British Columbia i Canada, Hawaii og USAs østkyst). De målte høye konsentrasjoner av Cd i østers utenfor British Columbia, som i motsetning til de to andre lokalitetene ikke hadde noen kjente antropogene Cd-kilder. Forklaringen på dette var oppstrømming av Cd-rikt dyphavsvann i British Columbia. En annen undersøkelse i samme geografiske område viste at østers inneholdt lave Cd-konsentrasjoner om sommeren og høyere om vinteren (Cassis m. fl. 2011). Dette skyldes at 90 % av alt løst Cd i vannet i sommerhalvåret tas opp av fyttoplankton. Cd blir da ikke tilgjengelig for østers som ikke akkumulerer Cd fra føden. I løpet av vinterhalvåret, da den biologiske aktiviteten er lavere og oppstrømming av Cd-rikt dyphavsvann forekommer, blir konsentrasjonen av løst Cd i vannet igjen høy. Denne trenden registreres da i østers i området.

4.5 Kadmium i Antarktis

Flere studier av Cd har blitt gjennomført i Antarktis. De fleste av disse er gjennomført på forskjellige lokaliteter i Terra Nova Bay (noen eksempler er Bargagli m. fl. 1996, Mauri m. fl. 1990, Hendry m. fl. 2008, Canapa m. fl. 2007 og Metcheva m. fl. 2010). Ulike arter av fisk, sel, pingviner, plankton, alger, bentos som skjell, sjøsnegl og svamp, samt vann og sediment har blitt prøvetatt. Resultatene viser i mange tilfeller forhøyde Cd-konsentrasjoner i økosystemet, og forklaringen antas å være oppstrømming av Cd-rikt dyphavsvann, da Antarktis er isolert fra antropogene Cd-kilder og nivået av langtransportert Cd betraktes å være lav. Under våroppblomstring har høye verdier av Cd (og fosfat) blitt målt i vann og plankton og undersøkelser viser at dette føres videre i næringskjeden (bl. a. Bargagli m. fl. 1996). I sediment ligger Cd-verdiene på bakgrunnsnivåer, noe som også taler for oppstrømming og at Cd ikke ender opp på bunn, men remineraliseres fra døde alger og dyr på bunnen og på nytt blir biotilgjengelig i vannsøylen.

5 Konklusjon – oppstrømming og kilde til kadmium i SaLoVe

I SaLoVe-området, der taskekrabbe inneholder høye Cd-konsentrasjoner, må det skilles mellom antropogene og naturlige kilder av Cd til miljøet for å få et svar på hvorfor taskekrabben akkumulerer mer Cd enn hva krabber sør om Saltfjorden ser ut til å gjøre. Undersøkelser som til nå har utført i SaLoVe-området, i tillegg til FM i Nordlands gjennomgang av potensielle kilder av Cd til det aktuelle området (Knutsen 2013) har ikke kunnet gitt noe forklaring på hvorfor krabben inneholder Cd-konsentrasjoner over EUs grenseverdi på 0,5 mg/kg i klokjøtt. Kort sagt kan følgende oppsummeres:

- Det er målt høye Cd-konsentrasjoner i krabbe, både i klokjøtt og brunmat.
- Cd-konsentrasjonene i sediment er lave.
- Cd-innhold i ferskvann, grunnvann og løsmasser er lave og samsvarer med nivåer i øvrige landet.
- Ingen antropogene kilder i SaLoVe-området er påvist.
- Smal kontinentalsokkel med mye virvler i området – medfører oppstrømming og mye innblanding av dypvann.
- Veldig sannsynlig at oppstrømming er årsak til forhøyde Cd-nivå og dette bør følges opp med videre undersøkelser.

Neste steg er å fokusere på naturlige kilder i havet som forklaring til Cd-problematikken. I havet er en av de største kildene til metaller oppstrømming av dyphavsvann som distribuerer næringsstoffer og spormetaller til kystnære farvann. Cd i havet opprinner fremst fra nedbryting av organisk materiale som frigjør næringsstoffer og metaller til vannsøylen og diagenetisk mobilisering av metaller i sediment til vann.

På mange plasser i verden (Skottland, Mexico, USA, Canada, Antarktis m. fl.) har lignende problematikk blitt observert. På flere plasser der høye Cd-verdier har blitt målt i vann og biota har ikke antropogene kilder, med etterfølgende akkumulering i sediment, vært forklaringen. Kilden har vist seg å være oppstrømming av dyphavsvann, som er rikt på næringsstoffer og spormetaller som Cd, til kysten. Når dyphavsvannet kommer opp til overflaten tilføres vannmassen disse stoffene som er biotilgjengelige for planter og biota. Særlig under våroppblomstring tar alger/fytoplankton aktivt opp både essensielle og ikke-essensielle stoffer. Cd er løst i sjøvannet og tas lett opp i plante- og zooplankton og videreføres derfra til høyere trofiske nivåer i økosystemet. Undersøkelser har vist at det ca. 4 uker etter at våroppblomstringen er på sitt høyeste kan høyere konsentrasjoner av Cd måles i blant annet krabbe og skjell. Forsøk på laboratorium viser tydelig at krabbe tar opp og akkumulerer Cd, først og fremst fra føden, og at halveringstiden kan være så lang som 600 dager. I motsetning til taskekrabben kan forskjellige skjelltyper kvitte seg med forurensinger som Cd på relativt kort tid. Hvis taskekrabben stadig utsettes for Cd i føde, i hvert fall i vår og sommer halvåret, bygges det opp et depot i klokjøtt og brunmat. Anrikningen øker sannsynligvis med økende alder. Individuelle forskjeller forekommer dog, basert på punktlisten i kapittel 4.3. Opptak av Cd fra oppstrømmende dyphavsvann kan være en forklaring på at krabbe, som er en fødemessig generalist og spiser dyr fra ulike trofiske nivåer, akkumulerer Cd i SaLoVe-området. Krabbe er kjent for å ta opp og akkumulere Cd i høyere grad enn mange andre dyr.

Havet utenfor SaLoVe-området er som sagt særdeles næringsrikt og produktivt. Bunnvannet ute på kontinentalsokkelen er rikt på næringssalter som stammer fra bunnfelt dødt organisk materiale, mens overflatevann normalt er næringsfattig. Når dyphavsvannet presses opp starter en høy biologisk produksjon om våren og sommeren. SaLoVe-området har intense virvler, som dannes fordi strømmene i området er ekstra sterke når den varme Atlanterhavsstrømmen og kyststrømmen blir presset sammen når de skal passere Lofoten. Den intense virvelaktiviteten i dette området gjør det sannsynlig at oppstrømningen vil være sterk her. Dypvannet blir guidet av renner/daler på havbunnen i området som kan føre vannet langt innover mot land. Lenger syd er sokkelen bredere, virvelaktiviteten svakere og det finnes ingen like markerte renner. Derfor er det mulig at i SaLoVe-området vil dypvann komme opp på sokkelen og bli ført inn mot land. Dyphavsvannet dannes på vulkansk havbunn ute på kontinentalsokkelen som kan være rik på Cd, tilført fra både fra bunnen og fra remineralisering av Cd fra dødt organisk materiale som synker til bunnen.

6 Kartlegging av oppstrømming av dyphavsvann i Cd-påvirket område

For å kunne bekrefte eller avskrive teorien om at oppstrømming av dyphavsvann er kilden og forklaringen til forhøyde nivå av Cd i taskekrabbe må flere undersøkelser utføres. Forskjellige typer undersøkelser kan gjennomføres for å påvise at oppstrømming skjer, hva vannet inneholder og hva som skjer med næringsstoffer og metaller når vannet når kysten. Prøvetaking av andre typer av krabber, skjell, fisk, svamp m.m. kan også gi viktig informasjon om mekanismer og akkumulering av Cd i næringskjeden.

6.1 Prøvetaking av sjøvann

Cd-nivåer i sjøvann bør kartlegges, særlig koblet til våroppblomstring. Prøvetaking før, under og etter våroppblomstringen kan gi verdifull informasjon om variasjoner i kystvannet. I Norskehavet pågår våroppblomstringen fra mars til midten av mai, med relativt store årlige variasjoner. Prøvetaking kan gjøres ved 5 tidspunkter (for eksempel i februar, mars/april, mai, juni/juli og september/oktober). Sentrale analyseparametere i vannprøver vil bl.a. være temperatur, salinitet, fosfat og Cd. Prøvetaking må gjøres på minst 1 stasjon, men gjerne på flere for å dekke inn geografiske forskjeller i SaLoVe-området. Prøvetaking over flere år vil gi et meget bra bilde av mekanismer rundt våroppblomstring og variasjoner i oppstrømningsaktivitet i området.

6.1.1 Prøvetaking og analyse av sjøvann fra Cd-påvirket område

- Analyse av Cd og andre tungmetaller som Hg, Pb, As, Zn, Ni, Cu, Cr, samt de viktigste næringsstoffene fosfat og nitrat.
- Analyse av både filtrert og ufiltrert vann for å se hvor mye av Cd som er løst i vannet.
- Vannprøver bør tas på forskjellige dyp for å kunne se eventuelle forskjeller i vannsøylen.
- Måling med CTD-sonde (Conductivity, Temperature and Depth): Dyp, temperatur, salinitet, oksygen og turbiditet, samt klorofyll a (detekterer biologisk aktivitet).
- Metallanalyse av plante- og zooplankton.
- Ekstra målinger med CTD-sonde mellom vannprøvetakingene vil gi mer informasjon om variasjoner i salinitet og temperatur, som i seg selv er gode indikatorer på oppstrømming av dyphavsvann.

6.1.2 Passiv overvåking

Nivåer av Cd i vannmasser kan også måles ved bruk av såkalt passive prøvetakere som kan akkumulere metaller løst i vann. Disse må stå ute i noen ukers for at målbare konsentrasjoner skal oppnås. Etter eksponering analyseres de passive prøvetakene for forskjellige metaller og middelkonsentrasjonen av de ulike metallene i vannet som prøvetakene har vært eksponert for beregnes. Resultatene gir et bilde av gjennomsnitts-konsentrasjoner i vannet i perioden prøvetakene er utplassert (integrert vannprøve), mens analyser av vannprøver mest gir et øyeblikksbilde av vannkvaliteten.

For analyser av metaller kan DGT (Diffusive Gradients in Thin films) benyttes, se Figur 9. Prøvetakeren består av en plastbeholder fylt med en ionebyttermasse som eksponeres mot

vannfasen over en gjennomtrengelig gel. DGT fanger opp frie metallioner, som bindes i gelen, men metaller bundet i partikler fanges ikke opp. En stor fordel med passive prøvetakere er at det er mulig å måle metaller selv i lave konsentrasjoner siden de oppkonsentreres i ionebyttermassen. Utsetting og bytte av DGT kan gjøres samtidig som vannprøver tas.



Figur 9. DGT (Diffusive Gradients in Thin films) – passiv prøvetakere som akkumulerer metaller i vann (Foto: NIVA).

6.2 Modellering av vannstrømmer og oppstrømningsområder

- Oppstrømning på kontinentalsokkelen kan studeres med modellen Norkyst-800 (Albretsen m. fl., 2011).
- Observasjoner av strøm, temperatur, saltholdighet, oksygen og Cd over en hel sesong i Vestfjordrenna vil kunne bekrefte hypotesene i denne rapporten. Ved siden av modelleringen vil dette gi viktig forståelse av prosessene som forårsaker oppstrømningen.
- Finskala modellering nær kysten for detaljerte spredningsmønstre i fjorder og sund.

6.3 Kartlegging av kadmium i andre arter

Litteratur viser at oppstrømning av Cd-rikt dyphavsvann også fører til akkumulering av Cd i andre arter enn taskekrabbe. Høye Cd-nivåer har blant annet blitt målt i andre krabbetyper, skjell, krepsdyr, fisk og tang. Cd i bunndyr kartlegges akkurat nå av Universitetet i Nordland. Under og etter vår oppblomstring kan følgende være interessant å undersøke:

- Hva skjer med andre krabber i det samme området? Har de den samme evnen til å akkumulere Cd? Undersøkelse i oppstrømningsområder indikerer dette. Innsamling og analyse av for eksempel strandkrabbe, svømmekrabbe og trollkrabbe.
- Prøvetaking av blåskjell og eventuelt o-skjell kan gi indikasjon på tilstedeværelse av Cd og plutselige forandringer av Cd i vannmassen, koplet til perioder med mye og lite oppstrømning.
- I Antarktis har høye Cd-verdier blitt målt i svamp (opp til 2000 mg/kg - Bargagli m. fl. 1996). Er dette et tilfelle i svampsamfunn på bunnen utenfor Lofoten?
- Innholdet av miljøgifter i reker påvirkes av innholdet av forurensende stoffer i det de spiser. NIFES overvåker hvert år nivåene av miljøgifter i reker fra Norskehavet. Nivåene av Cd (0,016 mg/kg våtvekt) i reker fra 2012 er langt under EUs grense på 0,5 mg/kg våtvekt. Men hele reker har høyere nivåer av Cd enn kjøttet som man spiser. Dette er ikke uventet, siden disse metallene akkumuleres i de indre organene. Hvor mye Cd akkumulerer reker i sine indre organ og går det å se sesongvariasjoner?

- Hva skjer med fisk, juvenile stadier og voksen, under og direkte etter våroppblomstring? Akkumulerer de Cd fra vann og føde? Analyse av gjeller, lever og muskel hos planktonspisende fisk fra denne sesongen skulle kunne gi svar på dette. Prøvetaking av fisk på høyere trofiske nivåer, som for eksempel torsk og kveite, kan gi informasjon om eventuell akkumulering opp i næringskjeden. Analyser av metaller og stabile isotoper bør gjennomføres for å vurdere bioakkumulasjon og biomagnifikasjon.

Prøvetaking og analyse av bunnlevende fisk (brosme, kveite og uer) samlet inn i SaLoVe-området i november/desember 2012 (Julshamn m. fl. 2013b) viste lave Cd-konsentrasjoner i muskel og lever. Fisk generelt akkumulerer metaller i organ som gjeller, lever, nyre og muskel, men har også evnen til å eliminere stoffer som tas opp, dog med relativt store variasjoner i halveringstid og fordeling i forskjellige organ (Kim m. fl. 2004). Med tanke på at fisken i SaLoVe-området er prøvetatt i en periode med lite biologisk aktivitet og trolig lave Cd-nivåer i føde sier ikke disse resultatene så mye om Cd-nivåer i fisk (juvenile stadier og voksen fisk) under og direkte etter våroppblomstring. En prøvetaking av både bunnlevende og pelagisk fisk tidlig sommer skulle gi verdifull informasjon om fiskens opptak og eventuelle akkumulering av Cd. Julshamn m. fl. (2013c) viser i en stor undersøkelse av tungmetaller i muskel og lever av torsk fra 2010-2011 at Cd-nivåene i lever er høyere i fisk fra Nord-Norge sammenlignet med lengre sør. Det framgår ikke når på året fisken ble prøvetatt.

6.4 Taskekrabbens helsetilstand

Hvordan har taskekrabben det i dette området? Påvirkes den negativt av de høye Cd-nivåene? Kan eventuelle effekter på krabbens helsetilstand, utvikling, forplanting og levealder undersøkes? Er evnene til å produsere proteiner (metallotioniner) som binder metaller tilstrekkelig for å uskadeliggjøre alt Cd som krabben akkumulerer? Cd påvirker marine organismers stoffskifte og med hjelp av forskjellige bioindikatorer og antioksidanter kan biotilgjengeligheten av Cd og krabbens helse undersøkes. Er krabbebestanden levedyktig? Siden det ikke skjer et utbredt kommersielt fiske i Nordland finnes det ikke god oversikt over bestand og årlige variasjoner.

6.5 Taskekrabben i Troms

I krabbeundersøkelsen som ble gjennomført i Vesterålen i 2012 (Julshamn m. fl. 2013a) var de to nordligste krabbestasjonene lokalisert i Sør-Troms (Rollnesboen, Ibestad kommune og Akkarnes, Bjarkøy kommune). Også her ble høye Cd-konsentrasjoner funnet i klokjøtt og brunmat, opp til 2,2 mg/kg i klokjøtt og 15 mg/kg i brunmat. Spørsmålet er da hvordan det ser ut lengre nord i Troms? Inneholder krabben Cd-nivåer over grenseverdien også der? Går det basert på topografiske og oseanografiske forhold å fastsette en geografisk grense mellom høy og lav konsentrasjon? I Nord-Troms blir for eksempel kontinentalsokkelen bredere og går lengre ut i fra land.

Taskekrabben har de siste 5-10 årene blitt mer vanlig i Troms og det har begynt å utvikles interesse for krabbefiske hos yrkesfiskere. Det finnes imidlertid per dags dato ikke krabbemottak i Midt-Troms, nærmeste mottak er lokalisert i Vesterålen. En pilotundersøkelse av den lokale taskekrabben i nærheten av Tromsø skal gjennomføres av Akvaplan-niva i midten av desember/begynnelsen av januar, avhengig av værforhold. Et 10-tall krabber fordelt på 3 forskjellige lokaliteter skal samles inn og analyseres. Resultatene vil gi en indikasjon på om det er høye Cd-nivå i krabbe også lengre nord eller om Cd-nivåene går ned igjen. Denne undersøkelsen av Tromsøkrabbe kan ligge til grunn for en større kartlegging av krabben i Troms.

Referanser

Anon, 2010. Kadmiumnivå i taskekrabbe fangstet på 14 lokaliteter sommeren 2010 – DK Salten. Mattilsynet DK Salten.

Anon, 2011. Innhold av kadmium i taskekrabbe (Cancer pagurus) i området fra Nordarnøya (Gildeskål) til Leinesfjorden (Steigen) i 2010 og 2011. Mattilsynet DK Salten.

Falk, A. H. 2012. Kartlegging av kadmium i sediment - Saltenområdet i Nordland. Akvaplan-niva rapport 6063-01. 43 s + vedlegg.

Julshamn, K., Nilsen, B., Valdernesnes, S. og Frantzen, S. 2012. Årsrapport 2011-Mattilsynets program: Fremmedstoffer i villfisk med vekt på kystnære farvann: Delrapport I: Undersøkelser av miljøgifter i taskekrabbe.

Julshamn, K. A., Duinker og Måge, A. 2013a. Oppfølging av Mattilsynets krabbeprosjekt - november – desember 2012. Oppfølgende analyser fra Vesterålen. Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES).

Julshamn, K. A., Duinker og Måge, A. 2013b. Innhold av kadmium og andre tungmetaller i filet og lever av fisk fanget i Saltenområdet, november-desember 2012. Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES).

Meltzer, H. M., Bergsten, C., Stene, L. C., Stigum, H., Wiborg, M. L., Lund-Larsen, K. og Alexander, J. 2000. Konsum av risikomatarer – Beskrivelse av en undersøkelse som skal kartlegge konsum av matvarer med betydning for inntaket av miljøgifter. Norsk Epidemiologi 2000; 10 (1): 51-56.

Woll, Astrid K. 2005. Taskekrabben: Biologi – sortering og kvalitet – fangstbehandling. Møreforskning Ålesund.

Finne, T. E. 2013. Kadmium i løsmasser, overflatevann og grunnvann fra Salten som lokalt naturlig bidrag til forhøyet Cd-nivå i taskekrabbe langs kysten. NGU-rapport, prosjekt nr: 349400.

Poleo, A., Voie, Ø., Misund, B., Bjørnstad, H. og Johansen A. 1997. Miljøgifter – Kilder, biotilgjengelighet og toksiske effekter. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) rapport-97/02070.

Knutsen, O. E. 2013. Statusnotat krabbe og kadmium – 2013. Oversikt over arbeidet med kartlegging av omfang og årsaker til høye forekomster av kadmium i krabbe i nordre Nordland. Miljøvernavdelingen Rapport/2013. Fylkesmannen i Nordland

Internettsider

Miljøstatus i Norge: www.miljostatus.no

Havforskningsinstituttet: www.imr.no

Personlig kommunikasjon

Francesco Regoli, Università Politecnica delle Marche, Italia. E-post: f.regoli@univpm.it

Vitenskaplige publikasjoner

- Albretsen, J., A. K. Sperrevik, A. Staalstrøm, A. D. Sande, F. Vikebø and L. Asplin 2011.** Norkyst-800 Report No, I. User Manual and technical description, Fisken og havet nr. 2/2011.
- Amante, C. and B. W. Eakins. 2009.** ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp.
- Abe, K. 2005.** Variation in the cadmium concentration related to phosphate in the surface layer of the equatorial Pacific. *Journal of Oceanography* 61:783-788.
- Apeti, D. A., G. G. Lauenstein, and G. F. Riedel. 2009.** Cadmium distribution in coastal sediments and mollusks of the US. *Marine Pollution Bulletin* 58:1016-1024.
- Bargagli, R., L. Nelli, S. Ancora, and S. Focardi. 1996.** Elevated cadmium accumulation in marine organisms from Terra Nova Bay (Antarctica). *Polar Biology* 16:513-520.
- Barrento, S., A. Marques, B. Teixeira, M. L. Carvalho, P. Vaz-Pires, and M. L. Nunes. 2009.** Accumulation of elements (S, As, Br, Sr, Cd, Hg, Pb) in two populations of *Cancer pagurus*: Ecological implications to human consumption. *Food and Chemical Toxicology* 47:150-156.
- Biller, D. V., and K. W. Bruland. 2013.** Sources and distributions of Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, and Cd relative to macronutrients along the central California coast during the spring and summer upwelling season. *Marine Chemistry* 155:50-70.
- Bjerregaard, P., L. Bjorn, U. Norum, and K. L. Pedersen. 2005.** Cadmium in the shore crab *Carcinus maenas*: seasonal, variation in cadmium content and uptake and elimination of cadmium after administration via food. *Aquatic Toxicology* 72:5-15.
- Canapa, A., M. Barucca, S. Gorbi, M. Benedetti, S. Zucchi, M. A. Biscotti, E. Olmo, M. Nigro, and F. Regoli. 2007.** Vitellogenin gene expression in males of the Antarctic fish *Trematomus bernacchii* from Terra Nova Bay (Ross Sea): A role for environmental cadmium? *Chemosphere* 66:1270-1277.
- Cassis, D., P. Lekhi, C. M. Pearce, N. Ebell, K. Orians, and M. T. Maldonado. 2011.** The role of phytoplankton in the modulation of dissolved and oyster cadmium concentrations in Deep Bay British Columbia, Canada. *Science of the Total Environment* 409:4415-4424.
- Davies, I. M., G. Topping, W. C. Graham, C. R. Falconer, A. D. McIntosh, and D. Saward. 1981.** Field and Experimental Studies on Cadmium in the Edible Crab *Cancer-Pagurus*. *Marine Biology* 64:291-297.
- Debaar, H. J. W., P. M. Saager, R. F. Nolting, and J. Vandermeer. 1994.** Cadmium Versus Phosphate in the World Ocean. *Marine Chemistry* 46:261-281.
- Falconer, C. R., I. M. Davies, and G. Topping. 1986.** Cadmium in Edible Crabs (*Cancer-Pagurus* L) from Scottish Coastal Waters. *Science of the Total Environment* 54:173-183.

- Frew, R. D. 1995.** Antarctic Bottom Water Formation and the Global Cadmium to Phosphorus Relationship. *Geophysical Research Letters* 22:2349-2352.
- Hendry, K. R., R. E. M. Rickaby, J. C. M. de Hoog, K. Weston, and M. Rehkamper. 2008.** Cadmium and phosphate in coastal Antarctic seawater: Implications for Southern Ocean nutrient cycling. *Marine Chemistry* 112:149-157.
- Julshamn, K., A. Duinker, B. M. Nilsen, S. Frantzen, A. Maage, S. Valdersnes, and K. Nedreaas. 2013.** A baseline study of levels of mercury, arsenic, cadmium and lead in Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) from different parts of the Barents Sea. *Marine Pollution Bulletin* 67:187-195.
- Kim, S. G., J. H. Jee, and J. C. Kang. 2004.** Cadmium accumulation and elimination in tissues of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* after sub-chronic cadmium exposure. *Environmental Pollution* 127:117-123.
- Kudo, I., H. Kokubun, and K. Matsunaga. 1996.** Cadmium in the southwest Pacific Ocean two factors significantly affecting the Cd-PO₄ relationship in the ocean. *Marine Chemistry* 54:55-67.
- Lares, M. L., L. E. Rivero, and M. A. Huerta-Diaz. 2005.** Cd concentration in the soft tissue vs. the nacreous layer of *Mytilus californianus*. *Marine Pollution Bulletin* 50:1373-1381.
- Lares, M. L., G. Flores-Munoz, and R. Lara-Lara. 2002.** Temporal variability of bioavailable Cd, Hg, Zn, Mn and Al in an upwelling regime. *Environmental Pollution* 120:595-608.
- Lares, M. L., and K. J. Orians. 1997.** Natural Cd and Pb variations in *Mytilus californianus* during the upwelling season. *Science of the Total Environment* 197:177-195.
- Legras, S., C. Mouneyrac, J. C. Amiard, C. Amiard-Triquet, and P. S. Rainbow. 2000.** Changes in metallothionein concentrations in response to variation in natural factors (salinity, sex, weight) and metal contamination in crabs from a metal-rich estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 246:259-279.
- Loscher, B. M., J. T. M. de Jong, and H. J. W. de Baar. 1998.** The distribution and preferential biological uptake of cadmium at 6 degrees W in the Southern Ocean. *Marine Chemistry* 62:259-286.
- Matthews, K. A., A. G. Grottoli, W. F. McDonough, and J. E. Palardy. 2008.** Upwelling, species, and depth effects on coral skeletal cadmium-to-calcium ratios (Cd/Ca). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72:4537-4550.
- Mauri, M., E. Orlando, M. Nigro, and F. Regoli. 1990.** Heavy-Metals in the Antarctic Scallop *Adamussium-Colbecki*. *Marine Ecology Progress Series* 67:27-33.
- Metcheva, R., Yurukova, L., Bezrukov, V., Beltcheva, M., Yankov, Y. og Dimitrov, K. 2010.** Trace and toxic elements accumulation in food chain representatives at Livingston Island (Antarctica). *International journal of biology* 2: 155-161.

- McPherson, R., and K. Brown. 2001.** The bioaccumulation of cadmium by the Blue Swimmer Crab *Portunus pelagicus* L. *Science of the Total Environment* 279:223-230.
- Nøst, O. A, M. Biuw, V. Tverberg, C. Lydersen, T. Hattermann, Q. Zhou, L. H. Smedsrud, og K. M. Kovacs 2011.** Eddy overturning of the Antarctic Slope Front controls glacial melting in the Eastern Weddell Sea, *J. Geophys. Res.*, Vol 116
- Overnell, J. 1986.** Occurrence of Cadmium in Crabs (*Cancer-Pagurus*) and the Isolation and Properties of Cadmium Metallothionein. *Environmental Health Perspectives* 65:101-105.
- Overnell, J., and E. Trehwella. 1979.** Evidence for the natural occurrence of (cadmium, copper)-metallothionein in the crab *Cancer pagurus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology* 64:69-76.
- Rainbow, P. S., and W. H. Black. 2005.** Cadmium, zinc and the uptake of calcium by two crabs, *Carcinus maenas* and *Eriocheir sinensis*. *Aquatic Toxicology* 72:45-65.
- Santos-Echeandia, J., M. Caetano, P. Brito, J. Canario, and C. Vale. 2012.** The relevance of defining trace metal baselines in coastal waters at a regional scale: The case of the Portuguese coast (SW Europe). *Marine Environmental Research* 79:86-99.
- Segovia-Zavala, J. A., F. Delgadillo-Hinojosa, and S. Alvarez-Borrego. 1998.** Cadmium in the coastal upwelling area adjacent to the California-Mexico border. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 46:475-481.
- Segovia-Zavala, J. A., F. Delgadillo-Hinojosa, A. Munoz-Barbosa, E. A. Gutiérrez-Galindo, and R. Vidal-Talamantes. 2004.** Cadmium and silver in *Mytilus californianus* transplanted to an anthropogenic influenced and coastal upwelling areas in the Mexican Northeastern Pacific. *Marine Pollution Bulletin* 48:458-464.
- Shiel, A. E., D. Weis, and K. J. Orians. 2012.** Tracing cadmium, zinc and lead sources in bivalves from the coasts of western Canada and the USA using isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 76:175-190.
- Takesue, R. K., and A. van Geen. 2002.** Nearshore circulation during upwelling inferred from the distribution of dissolved cadmium off the Oregon coast. *Limnology and Oceanography* 47:176-185.
- vanGeen, A., and D. M. Husby. 1996.** Cadmium in the California current system: Tracer of past and present upwelling. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 101:3489-3507.