

Foreløpig rapport fra prosjektet "Bruk av ny sjøbunnsinformasjon; kunnskapsstatus og nytteverdi for fiskeriene"

Are Salthaug

Bakgrunn

I mai 2009 fikk Havforskningsinstituttet (HI) midler av Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond til å utarbeide en søknad til Norges Forskningsråd (NFR) innen temaet "fiskeri og sjøbunnsinformasjon". Bakgrunnen er blant annet et ønske fra fiskerinæringa om å øke den praktiske nytteverdien av eksisterende sjøbunnsinformasjon samt å oppnå mer kunnskap om hvilke bunntyper de ulike flåtegruppene opererer på. Dessverre viste det seg at ingen av NFR sine utlysninger i 2009 passet til problemstillingen. Denne rapporten beskriver foreløpige resultater fra litteraturstudiet samt litt om analysene som er utført til nå. Den kan betraktes som et slags rammeverk til en NFR-søknad.

Litteraturstudiet

Det dominerende temaet i den vitenskapelige litteraturen som omhandler kombinasjonen sjøbunnsinformasjon og fiskeri, er den mulige negative påvirkningen fiskeredskaper har på bunnhabitater og organismene som lever der. Fiskeredskapers effekt på sjøbunnen virker også å være et tema som får stadig mer oppmerksomhet av media, og denne oppmerksomheten har ofte en negativ valør. I Bergens Tidende den 26. januar 2009 kunne man for eksempel lese at korallrev "trues av de destruktive bunnrålene, som høvler over havbunnen og etterlater golde landskap der oppvekstvilkårene for fiskeyngel er fullstendig ødelagt". Slike og lignende uttalelser vil etter hvert kunne føre til politisk press om forbud eller betydelige restriksjoner utover dagens lovverk for bunnrål og andre fiskeredskaper som er i kontakt med bunnen (som garn, snurrevad, teiner og line). Grunnlaget for generelle påstander og politiske beslutninger bør selvsagt baseres på mest mulig objektiv informasjon, helst fra systematiske og godt dokumenterte vitenskapelige undersøkelser.

Gjennom store sjøbunnskartleggingsprogrammer, som det norske MAREANO, har man de siste årene oppnådd økt kunnskap om havbunnen i områder der det drives omfattende fiskeriaktivitet. Slik kunnskap kan sies å representere et "tveegget" sverd for fiskerinæringa. På den ene siden vil fiskere kunne operere mer presist og effektivt ved å bruke sjøbunnsinformasjon til å øke sine fangstrater samt unngå tap av bruk, men på den andre siden vil dokumentasjon av fiskeripåført "skade" på bunnen som trålspor og lignende kunne føre til slik negativ publisitet som nevnt over.

Det eksisterer som sagt en relativt omfattende vitenskapelig litteratur innen området "effekter på sjøbunnen", især når det gjelder bunnrål og skjellskrape. Den publiserte forskningen er dominert av forsøk på relativt liten skala, både i tid og rom (Kaiser 2000; Humborstad 2004). Dette begrenser hvor sterke slutninger som kan trekkes når det gjelder fiskerienes totale bunnpåvirkning i større områder over lang tid. For å kunne uttale seg om dette, i tillegg til hvor lang tid det eventuelt tar før sjøbunnen er restituert, trengs det informasjon om geografisk fordeling av ulike bunnhabitater, andelen av disse som påvirkes av fiskeri og frekvensen/intensiteten av fiskeriaktivitet innen gitte habitater (Hall 1999; Pitcher et al. 2000). Arbeidet til Nilsson og Ziegler (2007) representerer et av de

få unntakene fra "skalaproblemet": I dette studiet ble fiskeriaktivitet og sjøbunnsinformasjon kombinert på stor skala (hele Kattegat) og over et forholdsvis langt tidsrom (3 år). Den målte fiskeriaktiviteten var basert på fangstdagbøker fra bunnrålere der startposisjonen og tauetiden for hvert trålhal var angitt. Resultatene viser at selv om en høy andel av Kattegat blir påvirket av tråling (rundt 40 %) så foregår det meste av trålingen i meget konsentrerte områder. Når det gjelder hvor stor påvirkning de ulike habitattypene (eller sjøbunntypene) blir utsatt for så viser resultatene at trålingen hovedsakelig foregår på steinbunn- og mudderbunnhabitater, og relativt dypt. Sand- og grusbunn samt habitater på grunt vann blir mye mindre påvirket. Nå bør det nevnes at Nilsson og Ziegler (2007) kun betraktet svenske bunnråldata, og dette kan ikke uten videre generaliseres til andre redskaper og flåter i samme området. Studiet er imidlertid et bra eksempel på en type analyse som er mangelvare innen havforskning og betraktninger som dette vil kunne skape et mer balansert syn på fiskeriers effekt på bunnhabitater. I et nylig publisert arbeid viser Piet og Quirijns (2009) hvordan estimerer av andelen av et område som påvirkes av tråling med en gitt frekvens avhenger sterkt av hvilken romlig og tidsmessig skala som brukes i analysene, dvs. man kan oppnå ulike persepsjoner av bunnpåvirkningsintensiteten selv om fiskeriintensiteten er den samme. En passende oppløsning av fiskeriaktiviteten i tid og rom avhenger av hvilken komponent av økosystemet som studeres og de biologiske attributtene til organismene der (som generasjonstid, romlig fordelingsmønster, vandringer etc.) (Piet og Quirijns 2009).

Satellittsporing for større fiskefartøyer er nå innført i flere land. Hovedformålet med denne informasjonen er overvåking av fiskeriaktiviteten i nasjonale havområder, men lagrede satellittsporingsdata blir nå i økende grad gjort tilgjengelige for havforskere. Slike data inneholder posisjonen og tid (og eventuelt flere opplysninger som fart, retning og aktivitetstype) flere ganger i døgnet for hvert fartøy. I Norge sender fiskefartøyer slik informasjon til Fiskeridirektoratet hver time. Satellittsporingsdata kan potensielt gi meget detaljert informasjon om fordelingen av fiskeriaktiviteten i tid og rom (Murawski et al. 2005; Deng et al. 2005; Walter et al. 2007; Eastwood et al. 2007; Mills et al. 2007; Stelzenmüller et al. 2008). Et problem med satellittsporingsdata er ofte å skille observasjoner (dvs. posisjoner) der fartøyene er i fiske fra de posisjonene med annen aktivitet (for eksempel ligging på været eller transitt). Det er utviklet ulike metoder som foretar denne klassifisering basert på fart, kursendring etc. (se Eastwood et al. 2007; Bertrand et al. 2008), men en viss grad av feilklassifisering vil trolig være vanskelig å unngå. En annen utfordring er hvilke antagelser som brukes for aktiviteten mellom sporingsobservasjonene for et gitt fartøy. Dersom man for eksempel ser bort fra denne aktiviteten vil man kunne få (avhengig av skala) et mer kondensert eller flekkvis bilde enn det reelle (Piet og Quirijns 2009). Et eksempel på bruk av satellittsporingsdata for å beregne omfanget av fiskeriers bunnpåvirkning er arbeidet til Stelzenmüller et al. (2008) der belastningen på ulike bunntyper ("marine landscapes") rundt De britiske øyer ble estimert. Også dette arbeidet viser at fiskeinnsatsen er meget konsentrert og at resultatene man får fra slike studier er avhengig av hvilke romlig og tidsmessig skala som brukes.

Hvilke effekter eller påvirkning et fiskeredskap har på sjøbunnen avhenger selvsagt sterkt av hvordan effekt/påvirkning defineres. Strengt tatt vil ethvert redskap som er i kontakt med bunnen nødvendigvis medføre en viss endring av økologiske parametere (som for eksempel spor i sedimentet og dødelighet av bunnlevende organismer). Viktige momenter er hvorvidt påvirkningen er målbar med tilgjengelig observasjonsmetodikk, om effekten av påvirkningen er langvarig eller kun kortvarig og selvsagt er graden av påvirkning sentralt. Alle disse faktorene har vært gjenstand for betydelig

diskusjon i den vitenskapelige litteraturen (se for eksempel Løkkeborg 2005 og Grey et al. 2006). Graden av påvirkning avhenger både av redskapstype og sjøbunnstype, i tillegg til størrelsen på det geografiske område som påvirkes og tid mellom hver påvirkning (Hall 1994). For eksempel er det jo rimelig å forvente at kombinasjonen bunntål-korallrev vil føre til mer omfattende påvirkning enn mudderbunn-line. Enigheten kan sies å være relativt stor blant havforskerne om at sjøbunn med koraller, svamper og sjøtrær er en sårbar bunntype, spesielt i forhold til bunntåling. De viktigste bekymringene når det gjelder fiskeredskapers effekter på sjøbunnen er mulige ødeleggelse av habitatet til småfisk og yngel, samt mulige negative effekter på bunndyr som er viktige byttedyr for fisk (Auster et al 1996; Collie et al 1997).

Siden fiskeredskapers interaksjon med sjøbunnen nødvendigvis forgår under vann, ofte på flere hundre meters dyp, er observasjon og dokumentasjon av fenomenet og konsekvenser en stor utfordring. Som i mye annen havforskning er målet å generalisere basert på usikre observasjoner med stor spredning i tid og rom. Humborstad et al. (2004) understreker viktigheten av å benytte flere ulike observasjonsplattformer i forsøk designet for å vurdere bunnpåvirkningseffekter. Tilgjengelige og mye brukte metoder inkluderer videokamera og akustikk (sonar, ekkolodd) for å undersøke topografiske endringer og grabb, slede, minibomtrål og corer for biologisk prøvetaking. Bunntype har også betydning for hvilke prøvetakingsredskaper som er mulig å bruke, for eksempel er hard steinbunn vanskelig å kartlegge med tradisjonelle biologiske prøvetakingsredskaper og kamera/visuelle observasjoner er ofte den eneste muligheten (Løkkeborg 2005). I tillegg kan det i noen tilfeller være utfordrende å treffe området som har blitt utsatt for redskapspåvirkning med prøvetakingsredskapene.

I prinsippet finnes det to ulike metoder for forsøksoppsett som kan brukes i bunnpåvirkningsstudier (Humborstad 2004; Løkkeborg 2005); (1) eksperimentelle, der ulike parametere sammenlignes mellom bunnløkasjoner utsatt for redskapspåvirkning og uforstyrrede kontrolløkasjoner og (2) komparative, der man undersøker forskjeller mellom fiskefelt der det foregår at intensivt kommersielt fiskeri og felt der det fiskes lite eller ingenting. En viktig forutsetning i hver av disse metodene er at kontrolløkasjonen og påvirkningsløkasjonen er identiske, slik at eventuelle forskjeller utvetydig kan attribueres til redskapspåvirkning. Når det gjelder å finne ut hvor langvarig effekt en eventuell påvirkning har så krever dette i tillegg gjentatt prøvetaking i perioden etter påvirkningen, ofte i lang tid. Effekten av gjentatte påvirkninger krever også at forsøket eller undersøkelsen blir langvarig.

Det kan være hensiktsmessig å skille mellom aktive og passive fiskeredskaper i forhold til bunnpåvirkning. Passive redskaper, som garn, line og teine, står stort sett i ro på bunnen og fanger ved å utnytte målartenes egenbevegelse. Denne redskapskategorien påvirker hovedsakelig sjøbunnen under setting og haling av bruket, ofte fordi selve redskapet og tilhørende tau da slepes litt langs bunnen (Eno et al. 2001). For aktive redskaper derimot, som trål, skjellskrape og snurrevad, virker selve fangstprinsippet ved at redskapet slepes langs bunnen. Aktive redskaper er derfor forventet å påvirke sjøbunnen mye mer per enhet innsats enn passive, og litteraturen som omhandler bunnpåvirkning fokuserer derfor hovedsakelig på denne redskapskategorien, spesielt på trål og skjellskrape. En viktig tilleggsfaktor når det gjelder aktive redskaper er at den teknologiske utviklingen har gått i retning av stadig tyngre og større bruk samt at nye redskaper og observasjonsteknologi har gjort det mulig å operere på bunntyper som før ble unngått (Hall 1994).

I regi av FAO foretok Løkkeborg (1995) en kritisk gjennomgang av publiserte vitenskapelige studier fra de siste 15 årene som omhandler fysiske og biologiske bunnpåvirkninger til skjellskrape, bunntrål og bomtrål. En viktig konklusjon fra dette arbeidet er at de metodiske problemene når det gjelder dokumentasjon av fiskeripåført bunnpåvirkning er store. For det første er den naturlige variasjonen og kompleksiteten i økosystemene på bunnen høy, slik at det som regel er meget utfordrende å skille fiskeripåførte endringer fra naturlig variasjon. Et unntak fra dette er observasjoner av ødelagte koraller, svamper og sjøtrær som forekommer på visse sjøbunnstyper. Et annet problem er, som nevnt tidligere, å finne hensiktsmessig observasjonsteknologi som gir valid informasjon på dypt vann. Løkkeborg (2005) etterlyser også flere studier av eventuelle langtidseffekter av bunntråling da de fleste publiserte arbeidene til nå har fokusert på korttidseffekter. Det "ideelle" bunnpåvirkningsstudiet kan sies å foregå over lang tid og å sammenligne to områder der det ene fiskes i og det andre er urørt, hvor begge disse områdene ellers er helt identiske (Løkkeborg 2005). En slik situasjon er vanskelig å oppnå og ingen slike studier kan sies å ha blitt utført (Kaiser et al. 2000). Det bør nevnes at arbeidet til Løkkeborg (2005) førte til en heftig vitenskapelig debatt (Grey et al. 2006; Løkkeborg 2007; Grey et al. 2007) slik at meningene når det gjelder kunnskapen om fiskeripåførte bunneffekter må sies å være delte. Slike uenigheter er som kjent ganske vanlige innen vitenskapelige miljøer.

Foreløpige analyser av norske data

Litteraturgjennomgangen viser at det finnes flere mulige metoder som kan brukes til å kombinere data fra fiskeriaktivitet med sjøbunnsinformasjon. I tillegg må det som oftest utføres et tidkrevende og komplisert arbeid for å klargjøre data før selve kombineringsprosessen. Når det gjelder data fra fiskeriaktivitet så er dette som regel basert på detaljerte fangstdagbøker og/eller satellittsporingsdata. For Norges del så eksisterer begge disse datakildene, men den elektroniske databasen med fangstdagbøker har ikke høy nok oppløsning til å kunne brukes til detaljerte romlige analyser (høyeste oppløsning er døgn og statistisk lokasjon). I tillegg eksisterer det kun elektroniske fangstdagbokdata fra konsum- og reketrålflåten, dvs. ikke for andre store redskapsgrupper som garn, snurrevad, indistrål og line. Derfor må romlige analyser av fiskeriaktivitet baseres på satellittsporingsdata. I Norge administreres sporingsystemet av Fiskeridirektoratet, men havforskere har tilgang på lagrede data. Norske fiskefartøyer over 24 meter blir sporet og systemet har vært i drift siden juli 2000. Fartøyene sender sin posisjon, fart og kursretning en gang per time hele døgnet. De viktigste problemene i forhold til å bruke disse dataene i forskning er at det mangler informasjon om aktivitetstype (fising vs. Ikke-fising) og redskapstype. Denne informasjonen må derfor beregnes indirekte, noe som tilfører usikkerhet. For å tilegne redskapstype til sporingsdata må disse flettes med sluttseddeldata (som inneholder fangst, redskap, etc. for hver tur), eventuelt med fangstdagbokdata for de flåtegruppene der dette eksisterer. Denne kombinasjonen kan sies å resultere i en slags "pseudo-fangstdagbøker" på turnivå.

Klassifiseringen av sporingsobservasjonene i kategoriene "fising" og "ikke-fising" kan, som nevnt i litteraturgjennomgangen, gjøres med ulike metoder med de fleste baserer seg på fart samt eventuelt kursendringer og geografisk område. For å vite om en slik metode er brukbar må man ha såkalte valideringsdata, det vil si sporingsdata der man har mer nøyaktig informasjon om fartøyenes aktivitet. Dette gjør at treffsikkerheten til ulike metoder og valg av parametere i en gitt metode kan brukes som seleksjonskriterium for valg av "optimal" metode og parametere. Et mulig

valideringsdatasett er de detaljerte fangstdagbøkene (på fangstoperasjonsnivå) til Referanseflåten som samarbeider med Havforskningsinstituttet. Referanseflåten består av 17 havgående fiskefartøyer fra redskapsgruppene ringnot, torsketrål, industritrål, snurrevad, garn og line. For trålerne registreres start- og stopptidspunktet for hvert trålhal slik at når disse kombineres med sporingsdata i forhold til tid kan en gitt metode for klassifisering av sporingsobservasjoner i "tråling" og "ikke-tråling" valideres i henhold til andelen av observasjonene som blir korrekt klassifisert. Når det gjelder de andre redskapene så er kriteriene som definerer hvorvidt et fartøy fisker eller ikke mye mer diskuterbare siden selve fangstoperasjonen er vanskelig å definere i forhold til tid (skal for eksempel både setting, trekking, brukets ståtid inkluderes?). En mulig valideringsmetode for disse redskapsgruppene er relasjonen (eller korrelasjonen) mellom summert fiskeinnsats fra fangstdagbok og innsats basert på tid (mellom posisjoner) fra sporingsdata, for eksempel summert over hvert døgn. Fiskeinnsatsen fra dagbok er hensiktsmessig å angi som antall hal for snurrevad og antall satte garn og linekrok etc. for passive redskap. Denne "korrelasjonsmetoden" kan også brukes på trålere der innsatsen både fra fangstdagbok og sporingsdata måles i tauetid. For den norske konsumtrålflåten er tauetid per døgn også angitt i Fiskeridirektoratets sin fangstdagbokdatabase noe som muliggjør analyser for hvert enkelt fartøy. Foreløpige resultater fra analyser der sluttseddeldata, satellittsporingsdata og fangstdagbøker fra referanseflåten kombineres indikerer følgende:

- Det er viktig å fjerne sporingsdata fra områder der man vet at det ikke forekommer fiskeriaktivitet som i havner og leia. Dette gjøres enklest ved å fjerne observasjoner som ligger innenfor polygoner som definerer slike "no fishing"-områder.
- Den enkleste metoden for å klassifisere sporingsobservasjonene i kategoriene "fisking" og "ikke-fisking" er å bruke hastighetsintervall, og å finne det hastighetsintervallet som gir høyest "treffrate" i valideringsdatasettet.
- Den tilhørende farten for en gitt sporingsobservasjon kan angis på ulike måter: (1) farten fartøyet har i det øyeblikket posisjonen sendes, (2) gjennomsnittsfarten i antatt rettlinjet bevegelse til den forrige posisjonen, (3) gjennomsnittsfarten i antatt rettlinjet bevegelse til den neste posisjonen, (4) gjennomsnittet av 2 og 3, (5) minimumsverdien av 2 og 3. Bruk av den beskrevne korrelasjonsmetoden for 2 trålere i Referanseflåten viser at alternativ 1 gir best resultat, og at hastighetsintervallet for tråling er 3-6 knop. Ulempen med dette målet er at den registrerte farten mangler på en del av observasjonen slik at noe informasjon går tapt.
- Bruk av korrelasjonsmetoden og gjennomsnittsfarten i antatt rettlinjet bevegelse til den forrige posisjonen antyder følgende "optimale" hastighetsintervall for andre aktuelle redskapsgrupper (medianen av intervallgrensene til flere fartøyer); line: 1.4-2.9 knop, garn: 0.7-6.7 knop og snurrevad: 0.1-3.6 knop.

Når beslutning om metode er tatt og sporingsdata som representerer fiske med tilhørende redskapstype er tilgjengelig er neste steg å kombinere disse med sjøbunnsinformasjon. Dette er enda ikke utført, men noen betraktninger er foretatt. For det første vil det være hensiktsmessig å basere analysene på et rutenett, som i Nilsson og Ziegler (2007) og Piet og Quirijns (2009), spesielt siden dette er en lett forståelig organisering av data. Oppløsningen på rutenettet bør avgjøres av oppløsningen på sjøbunnsdata. Det er videre fornuftig å ikke anta noe om et fartøys aktivitet mellom sporingsobservasjoner da dette vil tilføre mye usikkerhet, det vil si at analysene kun bør baseres på registrerte posisjoner (ikke estimerte). Når tilhørende sjøbunnsstype skal estimeres for en gitt sporingsobservasjon kan dette defineres som den dominerende bunntypen i den aktuelle ruta (Stelzenmüller et al. 2008). Et slikt datasett gir grunnlag for å beregne hvor mye fiskeri som foregår

på hver sjøbunnstype, der resultatene kan presenteres på tilsvarende måte som i Nilsson og Ziegler (2007) og Stelzenmüller et al. (2008). Analyser som kan gjøres for å avdekke hvorvidt noen sjøbunnstyper er assosiert med høyere fangstrater enn andre kan i prinsippet utføres ved å bruke en statistisk modell (for eksempel GLM) der fangstrate er responsvariabel og sjøbunnstype inngår som forklaringsvariabel (eventuelt sammen med andre forklaringsvariabler som kan tenkes å påvirke fangstrate). Når det gjelder fangstrateinformasjon så eksisterer dette på dagnivå for alle norske konsumtrålere (Fiskeridirektoratets fangstdagbokdatabase), men for de andre redskapsgruppene må man enten basere seg på Referanseflåten og/eller de ovennevnte "pseudo-dagbøkene" på turnivå.

Referanser

- Auster, P.J., Malatesa, R.J., Langton, R.W., Watling L., Valentine, P.C., Donaldson, C.L.S., Langton, E.W., Shepard, A.N., and Babb, I.G. 1996. The impacts of mobile fishing gear on seafloor habitats in the Gulf of Maine (Northwest Atlantic): implications for conservation of fish populations. *Reviews in Fisheries Science* 4: 185-202.
- Bertrand, S., Díaz, E., and Lengaigne, M. 2008. Patterns in the spatial distribution of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) revealed by spatially explicit fishing data. *Progress in Oceanography* 79:379–389.
- Collie, J.S., Escanero, G.A., and Valentine, P.C. 1997. Effects of bottom fishing on the benthic megafauna of Georges Bank. *Marine Ecology Progress Series* 155:159-172.
- Deng, R., Dichmont, C., Milton, D., Haywood, M., Vance, D., Hall, N., and Die, D. 2005. Can vessel monitoring system data also be used to study trawling intensity and population depletion? The example of Australia's northern prawn fishery. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62: 611–622.
- Eastwood, P.D., Mills, C.M., Aldridge, J.N., Houghton, C.A., and Rogers, S.I. 2007. Human activities in UK offshore waters: an assessment of direct, physical pressure on the seabed. *ICES Journal of Marine Science* 64: 453–463.
- Eno, N.C., MacDonald, D.S., Kinnear, J.A.M., Amos, S.C., Chapman, C.J., Clark, R.A., Bunker, F.st.P.D., and Munro C. 2001. Effects of crustacean traps on benthic fauna. *ICES Journal of Marine Science* 58: 11–20.
- Frid, C.L.J., and Clark, R.A. 2000. Long-term changes in North Sea benthos: discerning the role of fisheries. In: Kaiser, M.J., and De Groot, S.J. (Editors). *Effects of Fishing on Non-target Species and Habitats*. Blackwell, Oxford.
- Gray, J.S., Dayton, P.K., Thrush, S.F., Kaiser, M.J., 2006. On effects of trawling, benthos and sampling design. *Marine Pollution Bulletin* 52:840–843.
- Gray, J.S., Dayton, P.K., Thrush, S.F., and Kaiser, M.J., 2007. Fishing for facts on the environmental effects of trawling and dredge fisheries: Reply to Løkkeborg. *Marine Pollution Bulletin* 54:497-500.

- Hall, S.J. 1994. Physical disturbance and marine benthic communities: Life in unconsolidated sediments. *Oceanography and Marine Biology: An annual review*, 32: 179-239.
- Hall, S.J. 1999. *The Effects of Fishing on Marine Ecosystems and Communities*. Blackwell Science: Oxford.
- Humborstad, O.-B., Nøttestad, L., Løkkeborg, S. and Rapp, H.T. 2004. RoxAnn bottom classification system, sidescan sonar and video-sledge: spatial resolution and their use in assessing trawling impacts. *ICES Journal of Marine Science*, 61:53-63.
- Kaiser, M.J., Spencer, B.E. and Hart, P.J.B. 2000. Fishing-gear restrictions and conservation of benthic habitat complexity. *Conservation Biology* 14:1512–1525.
- Kaiser, M.J., Clarke, K.R., Hinz, H., Austen, M.C.V., Somerfield, P.J., and Karakassis, J. 2006. Global analysis of response and recovery of benthic biota to fishing. *Marine Ecology Progress Series* 311:1–14.
- Løkkeborg, S. 2005. Impacts of trawling and scallop dredging on benthic communities. *FAO Fisheries Technical Paper No. 472*.
- Løkkeborg, S. 2007. Insufficient understanding of benthic impacts of trawling is due to methodological deficiencies – A reply to Gray et al. (2006). *Marine Pollution Bulletin* 54:494-496.
- Mills, C.M., Townsend, S.E., Jennings, S., Eastwood, P D., and Houghton, C.A. 2007. Estimating high resolution trawl fishing effort from satellite-based vessel monitoring system data. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 248–255.
- Murawski, S.A., Wigley, S.E., Fogarty, M.J., Rago, P J., and Mountain, D.G. 2005. Effort distribution and catch patterns adjacent to temperate MPAs. *ICES Journal of Marine Science* 62:1150–1167.
- Nilsson, P., and Ziegler, F. 2007. Spatial distribution of fishing effort in relation to seafloor habitats in the Kattegat, a GIS analysis. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems* 17:421-440.
- Piet, P.J., and Quirijns, F.J. 2009. The importance of scale for fishing impact estimations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66:829–835.
- Pitcher, C.R., Poiner, I.R., Hill, B.J., Burridge, C.Y. 2000. Implications of the effects of trawling on sessile megazoobenthos on a tropical shelf in northeastern Australia. *ICES Journal of Marine Science* 57:1359–1368.
- Rijnsdorp, A.D., and Vingerhoed, B. 2001. Feeding of plaice *Pleuronectes platessa* L. and sole *Solea solea* (L.) in relation to the effects of bottom trawling. *Journal of Sea Research* 45:219-229.

Stelzenmuller, V., Rogers, S.I., and Mills, G.M. 2008. Spatio-temporal patterns of fishing pressure on UK marine landscapes, and their implications for spatial planning and management. *ICES Journal of Marine Science*, 65:1081–1091.

Walter, J.F.III, Hoenig, J M., and Gedamke, T. 2007. Correcting for effective area fished in fishery-dependent depletion estimates of abundance and capture efficiency. *ICES Journal of Marine Science* 64:1760–1771.