

Sakkyndig erklæring

Dag O. Hessen
Professor, Dr. philos

Økosystemeffekter av utslipp fra tre nye petroleumsfelt på norsk kontinentalsokkel; Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving med CO₂-utslipp på hhv 365 MtCO_{2e}, 87 MtCO_{2e} og 12 MtCO_{2e}

Jeg er bedt av advokatfirmaet Simonsen Vogt Wiig om å gi en sakkyndig erklæring for Borgarting lagmannsrett i sak 24-036810ASD-BORG/02 mellom staten v/Energidepartementet og Greenpeace og Natur og Ungdom vedrørende gyldigheten av PUD-godkjenninger for tre petroleumsfelt (Breidablikk, Tyrving og Yggdrasil). Erklæringen oppdaterer og utdyper den sakkyndige forklaring som jeg ga i sak 23-099330TVI-TOSL/05 for Oslo tingrett.

Jeg erklærer med dette at jeg er uavhengig av partene og andre sakkyndige vitner. Jeg har heller ingen økonomiske interesser i utfallet av saken.

Av dokumenter i saken, har jeg hatt tilgang til tingrettens dom og stevning/begjæring om midlertidig forføyning.

Erklæringen besvarer følgende mandat:

Kan du beskrive noen økosystemeffekter av utslipp på hhv. 365 MtCO_{2e}, 87 MtCO_{2e} og 12 MtCO_{2e} fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving for arts mangfold og miljø i Norge, inkludert Svalbard, Jan Mayen og bilandene i Antarktis?

Utgangspunktet for vurderingen av økosystemeffekter, i noen grad tilliggende sosioøkonomiske konsekvenser, er basert på estimerte og modellerte fysiske konsekvenser. Utslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving forventes å gi en global oppvarming på 0,00018, 0,00004 og 0,00001 grader C (samlet 0,00023 grader C).

Utdannelse og bakgrunn

Jeg er cand. real fra UiO fra 1982, med et mellomfag i offentlig rett (UiO) fra 1984, og Dr. philos (UiO) fra 1988 på en avhandling om karbonomsetning i vann. Etter en periode som forsker ved Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) fikk jeg i 1993 et professorat i biologi ved UiO, der jeg fortsatt er ansatt. Jeg har i en årrekke arbeidet med karbonsyklus og klimaproblematikk og publisert en rekke fagartikler på dette feltet i tillegg til populærfaglige bøker. I 2018 tok jeg initiativ til et tverrfaglig forskningssenter på disse problemstillingene; *Centre for Biogeochemistry in the Anthropocene* (CBA) som består av forskere fra biovitenskap, geovitenskap og kjemi. Forskingen dekker klimamodellering og økosystemeffekter, som frigivelse av klimagassene CO₂ og CH₄ (metan) fra økosystemer, samt opptining av permafrost og konsekvensene av dette. Jeg ledet senteret fra oppstart til 2023, og er nå i styret samt leder et større forskningsprosjekt på samme tematikk.

Innledende bemerkninger

Norges årlige utslipp er beregnet til 48,9 MtCO₂e (2022, SSB). Det er ingen tvil om at utslippene fra de tre feltene er store i nasjonal sammenheng. Som enkeltutslipp betraktet er det også betydelige bidrag i global sammenheng, selv om en eksakt kvantifisering av biologiske effekter er vanskelig, gitt de mange komplekse sammenhengene som finnes i naturlige økosystemer. Det kan imidlertid fastslås med sikkerhet at klimaendringer allerede påvirker norske økosystemer i betydelig, og overveiende negativ, grad. Enhver klimatisk tilleggsbelastning vil derfor forverre situasjonen, og i denne sammenheng utgjør disse tre utslippene fra norsk sokkel et betydelig bidrag. Temperatur påvirker absolutt alle prosesser i et økosystem, men i det følgende vil jeg nevne noen betydelige og godt dokumenterte negative klimaeffekter på norsk natur. Bakgrunnen for endringene skyldes først og fremst økt temperatur, økt nedbør og redusert snødekke, men spesielt i nordlige områder er også redusert isdekke (havis) en medvirkende årsak til den raske og sterke temperaturøkningen. De fysiske effektene av utslipp fra disse tre feltene er anslått å bidra med en betydelig reduksjon av snødekke vinterstid, mer vinternedbør i form av regn, bidra til redusert utbredelse av havis, samt økt havforsuring. Alle disse effektene vil ha klar, negativ påvirkning på økosystemer som redegjort for under.

Effekter på polare landøkosystemer: Ingen steder har oppvarmingen skjedd raskere enn i Arktis. På Svalbard har vi allerede sett en temperaturøkning på 2-4 grader i løpet av noen tiår¹, og selv med store utslippsreduksjoner kan nordområdene bli 5-10 grader varmere i løpet av dette århundret. Det tilsvarende forskjellen på en istid og dagens klima. Klimaendringer i et slikt enormt omfang vil transformere naturen med store konsekvenser for biologisk mangfold, fornybare ressurser og andre viktige økosystemfunksjoner. Vi ser at oppvarmingen har ført til tining av permafrost i Finnmark og på Svalbard med tydelige økosystemeffekter, samt lengre vekstsesong, har endret flora og fauna og bidratt til mer regn og ising på land vinterstid med problemer for den særegne svalbardreinen. Samtidig har mindre havis bidratt til vanskelige forhold blant annet for isbjørn, og endret atferd hos denne.

Endret snødekke og mer isdekke på land har store økosystemeffekter. I nordlige skog- og tundraområder har det allerede skjedd en kollaps av de sykliske svingningene som har vært kjent fra smågnagerbestander («lemenår»). Siden lemen og andre smågnagere en sentrale i nordlige økosystemer har disse endringene hatt negative effekter for en rekke andre arter som hare, rype, rovdyr og rovfugl som direkte eller indirekte påvirkes av smågnagere.² Samtidig har det også skjedd store endringer hos mange insekter, mest påfallende med hyppige insektangrep på trær (bjørkemåler og frostmåler) som kan føre til skogsdød over store områder.³ Bakgrunnen for disse og andre negative økosystemeffekter er klimaendringer; lemen og andre gnagere er avhengig av et snølag for å overleve vinteren under snøen, men stadig varmere vintre og mer vinternedbør i form av regn gir ising på bakken. Selv en beskjeden temperaturøkning om vinteren kan endre nedbøren fra snø til regn, og øke risikoen for ising på bakken. Dette hindrer også tilgang til reinens vinterbeite både i Finnmark og på Svalbard. Tiltakende insektangrep er knyttet til lavere vintertemperaturer som øker overlevelse av egg. Siden årtusenskiftet har sommerfugllarvene kjent som lauvmakk angrepet og delvis ødelagt 10 000 kvadratkilometer bjørkeskog i et belte i Nord-Norge, Sverige og

Finland, og en ny art (liten frostmåler) er nesten altetende. Dermed er nye trær, vierkratt og planter i fare. Dette er beite for rype og elg, og krattene er hekkeplasser for mye fugl. Vierkrattene er regnet som «biologiske oaser», og disse leveområdene forsvinner hvis vieren dør. Totalt snakker vi om ganske fundamentale økosystemendringer, som også gir betydelige utfordringer for norsk naturforvaltning.⁴

Endret sesongdynamikk er en annen sentral økosystemeffekt som kan tilskrives klimaendringer, og dette gjelder både hav og land. Fenomenet kalles gjerne *mismatch*, og innebærer at to ledd i en næringskjede blir frakoblet i tid. For eksempel vil tidligere vår gi tidlige blomstring av frukttrær (og andre vekster), og de kan da være ferdige med blomstringsperioden når de pollinerende insektene innfinner seg, med problemer både for plantene, insektene og fruktbønder. Tilsvarende ser vi at tidligere algeoppblomstring i havet grunnet mindre vinteris, dels også mer uforutsigbart isdekke, skaper en mismatch med dyreplanktonet som beiter på planteplankton og isalger, noe som vil påvirke hele den marine næringskjede i nord⁵. Både fisk og sjøfugl er i stor grad direkte eller indirekte avhengig av dette dyreplanktonet.

Artsforflytninger og etablering av nye arter skjer i stor skala siden kortere vintre og varmere somre åpner for spredning av mer varmekjære arter. Spredning av en rekke sykdommer og parasitter (som flått) skjer også med betydelig hastighet, og synes å være tett knyttet til klimaendringer.⁶ På lengre sikt kan også sykdomsvektorer som nye myggarter med evne til spredning av denguefeber og malaria bli et problem, og generelt er klimaendringer utpekt som den største, globale helsetrussel⁷. Det vil også ha store helseeffekter nasjonalt. Folkehelseinstituttet omtaler «Klima-, natur- og miljøendringer er en av de største truslene mot folkehelsen. Endringer i klima, miljø og natur kan påvirke den psykiske og fysiske helsen i befolkningen på flere måter: fra luftveis- og hjerte- og karsykdom, allergi, skader og død knyttet til ekstreme værhendelser, til endringer i forekomst og utbredelse av smittsomme sykdommer og antimikrobiell resistens.»⁸

Effekter på økosystemer i ferskvann og hav:

Artsforflytninger og tapte bestander: Også i havet skjer allerede en nordlig forflytning av arter, og viktigst er kanskje at karakterarter som raudåte, en nøkkelorganisme i havets næringskjeder, og torsken forflytter også sin gyting stadig lengre nord⁹, i verste fall ut av norsk økonomisk sone. Økt temperatur vil også ha store konsekvenser for arter i ferskvann, en rekke studier viser mindre isdekke, endrede sirkulasjonsforhold og økt risiko for oksygensvinn i dyplag, parallelt med økt forekomst av algeoppblomstringer og potensielt økt forekomst av giftalger. Som eksempel på konsekvensene i norske økosystemer kan vises til en stor skandinavisk studie som viser at røya, som er verdens nordligste ferskvannsfisk og kanskje den arten som først etablerte seg i Norge etter siste istid, er i fare for å gå tapt i store områder av Skandinavia. Denne tilbakegangen synes primært å være en direkte eller indirekte følge av forventede klimaendringer. Ved det høyeste klimascenariet, RCP8.5 («Business as usual») ble det estimert at hele 81 % av eksisterende røypopulasjoner har høy sannsynlighet for å dø ut innen 2080 fordi miljøforholdene ikke lenger blir egnet for røya. Også under det vesentlig mer moderate RCP4.5 scenariet er det høy risiko for tap av halvparten av

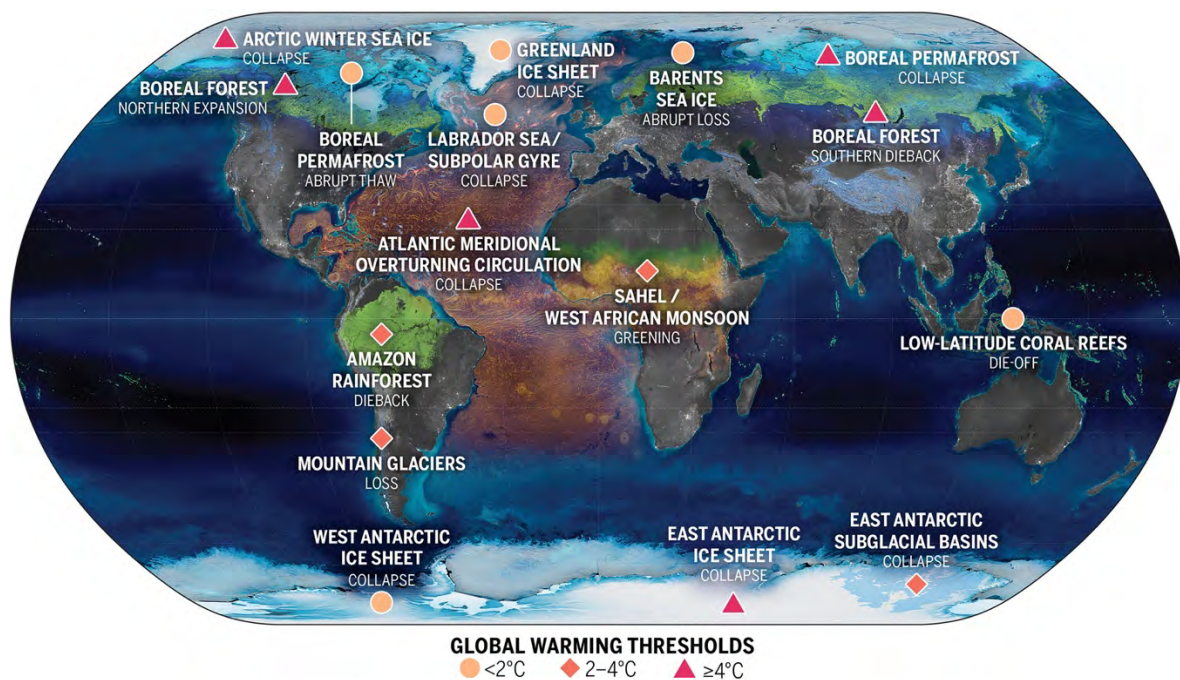
røyebestandene innen år 2100. Modellene våre synes også å kunne forklare observasjoner av at røye allerede har forsvunnet fra mange lavereliggende vann¹⁰.

Havforsuring: Høyere konsentrasjoner av CO₂ i atmosfæren gir også økt CO₂ i havet noe som gir en forsuring. Dette vil ha negative konsekvenser for alt liv i hav som har ytre kalkstrukturer, dette gjelder alt fra viktige arter i nordlige systemer som kalkflagellater (som er viktig både for CO₂-opptak i havet samt «bunnplanke» i næringskjedene), muslinger, koraller, dyreplankton og andre krepsdyr¹¹. De direkte konsekvensene på fisk av havforsuring er omdiskuterte, men de indirekte effektene er åpenbare siden mange av fiskens næringsorganismer vil påvirkes negativt.

Endret avrenning fra land til vann: Endrede nedbørforhold, mer vinternedbør i form av regn og hyppigere ekstremnedbør vil sammen med endret vegetasjonsdekke på land bidra til økt avrenning av partikler, næringssalter og humusstoffer fra land til innsjøer, elver og kyst. Konsekvenser av dette er mørkere vann i en lang rekke innsjøer og elver, med nedsatt produksjon og dårlige forhold for fisk. En konsekvens av dette er også mørkere kystvann med betydelige økosystemeffekter.^{12, 13} Den dårlige tilstanden i Oslofjorden kan i stor grad relateres til økt tilførsel av næringssalter, partikler og humusstoffer, som forsterkes av klimaeffekter som økt nedbør, erosjon og avrenning.

Vippepunkter

Eksemplene over er ingen uttømmende liste, men viser hvordan klimaendringene allerede i stor grad påvirker norsk natur, og overveiende på en negativ måte. Det er ingen reell faglig debatt om at denne oppvarmingen skyldes utslipp av CO₂, vesentlig fra forbrenning av kull, olje og gass. Av spesiell betydning for Norge er muligheten for ikke-lineære endringer, såkalte *vippepunkter*. Det innebærer at det finnes terskler i klimasystemer og økosystemer der det skjer raske, ofte dramatiske endringer. En omfattende rapport med analyse av mulige temperaturterskler for slike vippepunkter ble lagt fram på klimatoppmøtet i Dubai tidlig i 2024.¹⁴ Av de storskala vippepunkter som har spesiell relevans for Norge er opptining av permafrosten i nord som vil gi en betydelig selvforsterkende effekt ved at tinende tundra slipper ut store mengder CO₂, i verste fall også CH₄ (metan). Også irreversibel nedsmelting av Grønlandsisen, som vil gi en havnivåstigning på 7 meter, dog i et tusenårsperspektiv, vil påvirke nordområdene, ikke minst fordi det kan innebære en kraftig svekkelse av Golfstrømmen som vil gi et dramatisk temperaturfall for Norge og innebære islagte kyster om vinteren. Konsekvensene vår både natur og samfunn vil være enorme. Risikoen vurderes ikke som overhengende i dag, men den vil øke med økende temperatur. Tentative grenser for disse vippepunktene er estimert til omkring 1,5 grader for permafrost og Grønlandsisen, mens over 4 grader for Golfstrømmen.^{15, 16} Den ekstreme økningen i havtemperatur som er observert har også økt sannsynligheten for nedsmelting av isen i Vest-Antarktis. *Et sentralt poeng i denne sammenhengen er at enhver økning i CO₂ vil bidra til ytterligere oppvarming og øke sannsynligheten for denne type vippepunkter.*



Figur 2. Estimerte temperaturskjer for systemiske vippepunkter. Armstrong McKay, D. m. fl. 2022.

Konklusjoner

Det ingen tvil om de mange og alvorlige konsekvensene på norsk natur som kan tilskrives økte CO₂-utslipp, og som vil ytterligere forverres ved økte utslipp.

Det er heller ingen tvil om at de omtalte utslippene fra Yggdrasil, Breidablikk og Tyrving vil innebære en betydelig negativ tilleggsbelastning, som i noen grad også kan kvantifiseres når konsekvenser på naturmiljøer kobles til de estimerte, fysiske konsekvensene. Utslipp på 365 MtCO₂e, 87 MtCO₂e og 11,3 MtCO₂e vil derfor både isolert og samlet bidra til å skade miljøet i Norge.

¹ Wang Y-R, Hessen, D.O., Samset, B.H. et al. 2022. Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-land land surface temperature data. *Remote Sens Environ*; 280:113181. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181>.

² Ims, R.A. et al. 2008. Collapsing population cycles. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.10.010>. https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/larvene-som-drepte-skogen_-kan-odelegge-fjellnaturen-ogs-1.14124790

³ Jepsen, J.U. m. fl. 2008. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01339.x> Se også: <https://www.forskning.no/planteverden-botanikk-klima/fjellbjorkeskogen-i-nord-norge-truet/972925>

⁴ <https://www.nrk.no/ytring/en-ny-naturforvaltning-1.16906630>

⁵ Leu, E., Soreide, J.E., Hessen, D.O. et al. 2011. Consequences of changing sea-ice cover for primary and secondary producers in the European Arctic shelf seas: timing, quantity, and quality. *Prog Oceanogr*; 90:18– 32. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.02.004>.

⁶ Deksné, G. m. fl. 2020. Parasites in the changing world – Ten timely examples from the Nordic-Baltic region

<https://doi.org/10.1016/j.parepi.2020.e00150>

⁷ van Daalen, K.R. 2024. The 2024 Europe report of the *Lancet* Countdown on health and climate change: unprecedented warming demands unprecedented action [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(24\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(24)00055-0)

⁸ <https://www.fhi.no/he/folkehelsereporten/miljo/klima-og-helse/?term=#hovedpunkter>

⁹ <https://www.hi.no/hi/nyheter/2023/april/varmere-hav-kan-sette-en-stopper-for-torskegytingen-i-sor>

¹⁰ Muhlfield, C. et al. 2024. Climate change vulnerability of Arctic char across Scandinavia. *Global Change Biology*, in press.

¹¹ Hofmann, G.E. et al. 2010. The Effect of Ocean Acidification on Calcifying Organisms in Marine Ecosystems: An Organism-to-Ecosystem Perspective. *Annu Rev Ecol Evol and Syst* 41: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120227>

¹² Thrane, J.E. Hessen DO, Andersen T. 2014. The absorption of light in lakes: negative impact of dissolved organic carbon on primary productivity. *Ecosystems*;17:1040–52. <https://doi.org/10.1007/s10021-014-9776-2>.

¹³ Opdahl, A.F. Andersen T, Hessen DO et al. 2024. Land use change and coastal water darkening drive synchronous dynamics in phytoplankton and fish phenology on centennial time scales. *Global Change Biol* 2024

¹⁴ Lenton, T.M. et al. 2023. *The Global Tipping Points Report 2023*. University of Exeter, Exeter, UK. <https://global-tipping-points.org/>

¹⁵ Armstrong McKay, D. et. al. 2022. Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. DOI: 10.1126/science.abn7950

¹⁶ Meld. St. nr. 26 (2022-2023) pkt. 2.7

Oslo 24.06.24



Dag O. Hessen