

Fra land til vann – nedbørfelters påvirkning på ferskvann og kyst i et klimaperspektiv

Av Dag O. Hessen

Dag O. Hessen er professor ved Biologisk Institutt, CEES, Universitetet i Oslo.

Innlegg på seminar i Norsk vannforening 17. mars 2010.

Introduksjon

Selv om innsjøen på mange måter representerer et velavgrenset økosystem, så er det samtidig klart at vannkvaliteten gjenspeiler nedbørfeltets egenskaper. Skog og myr bidrar på svært synlig vis til innholdet av løst organisk karbon (humus) til ferskvann, noe som påvirker ikke bare farge, lysforhold og produksjon, men også til transport av organisk bundet nitrogen (N), fosfor (P), jern (Fe) og andre metaller. Forvitring på grunn av rotsoneaktivitet og ionebytte i vegetasjon bidrar også til transport av silikat (Si – et essensielt stoff for kiselalger) og en rekke mineraler som påvirker vannkvaliteten. Tilsvarende vil åpenbart ulike former for menneskelig aktivitet som hogst og ikke minst jordbruk på fundamentalt vis påvirke avrenning av næringsalter og produksjon i ferskvann.

Dette bidrar også til at vassdrag står for en helt avgjørende transport av næringsalter og elementer til marine kystområder, og det meste av ”ny” marin

produksjon er i stor grad bestemt av landbaserte tilførsler av nøkkelementer som P, Si og Fe, i noen grad også N selv om det også foregår en betydelig direkte N-binding i hav. Det bør også nevnes at elver står for et viktig bidrag til havområdets alkalinitet, noe som ikke minst er relevant i et forsyningsperspektiv.

Klima, både ved temperatur og nedbør, påvirker både konsentrasjon og tilførsel av de ulike elementene. Dette skjer dels på kort tidsskala ved direkte utvasking og fortykning, men også på lengre sikt ved endringer i nedbørfelters vegetasjonsforhold. Mange av disse forholdene ble studert i det nylig avsluttet forskningsrådsprosjektet *Biogeochemistry in Northern Watersheds, a Reactor in Global Change*. Resultatene fra dette prosjektet begynner nå å bli klare, og noen ”highlights” skal summeres i det følgende.

Prosjektet

Prosjektet har vært et samarbeid mellom fagmiljøer og personer med bred og sammensatt kompetanse innen terrestrisk systemer (skog, jord), hydrologi og vann, med biologisk og geologisk insti-

tutt ved Universitetet i Oslo, NIVA, NVE, Skog og Landskap (UMB) og Institutt for Plante- og Miljøfag (UMB) som deltagende institusjoner. Det har også vært faglig kontakt med miljøer i Sverige, Finland, USA, Nederland og Storbritannia underveis i prosjektet. Prosjektets sentrale målsetning har vært å studere hvordan klima (og klimaendringer) påvirker avrenning av organisk karbon (C) og essensielle plantenæringsstoffer som N, P og Si med vekt på temperatur og nedbør. Dette er viktig for forståelsen av de globale sykluser av slike elementer, og for å forstå hvordan produksjon i innsjøer og hav vil påvirkes. I siste instans og på lang sikt reguleres produksjon både i ferskvann og hav av tilførselene av N, P og Si fra nedbørfelt, og dette er dermed viktig for forståelsen av C-binding i hav. Samtidig representerer avrenning av organisk C en stor karbonfluks som også påvirker innsjøer og hav på flere måter.

I tillegg til klima vil også de betydelige antropogene inngrepene i nitrogenkretsløpet påvirke produksjon og omsetning av andre elementer i nedbørfelt, og dermed sterkt påvirke elementer og elementforhold også i vann. Primært pga forbrenningsprosesser og gjødselindustri tilføres atmosfære og vann i mange områder opp mot 10 ganger mer reaktivt N (primært ammonium og nitrat) enn de førindustrielle bakgrunnsverdiene. I Norge har vi en sterk gradient i N-deponering fra sør til nord, med langt høyere N-deponering i sørvest sammenliknet med upåvirkede områder. N-deponering er derfor en av de sentrale faktorer som er studert i prosjektet som del av ”global change”-effekter.

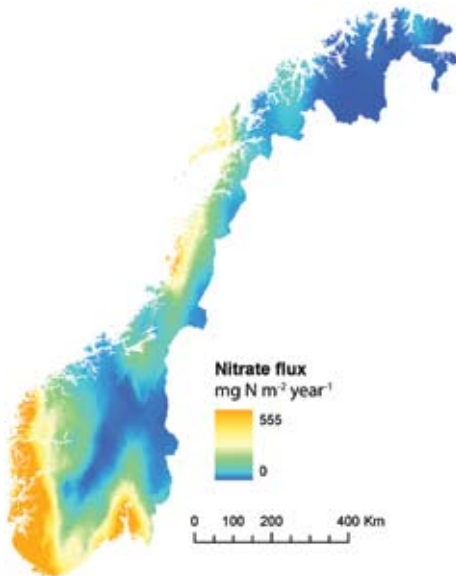
Prosjektet besto av to hovedaktiviteter, 1: Analyse av data fra 1000 innsjøer innsamlet gjennom ”1000-sjøers” prosjektet i regi av SFT og NIVA og 2: Prosesstudier i et utvalgt nedbørfelt; Langtjernfeltet. Fokus her vil bli på del 1 hvor det er gjort et betydelig arbeid med å benytte geografiske informasjonssystemer (GIS) og ulike satellittdata til å innhente detaljert og landsdekkende nedbørfeltinformasjon for 38 000 nedbørfelt. Dette har gitt en unik mulighet til å sette opp prediktive modeller for konsentrasjoner og avrenning av C, N, P og Si til innsjø og hav for et landsdekkende sett med nedbørfelter hvor både terrengtopografi, produksjonsforhold (vegetasjonsindeks), andel fjell, skog, myr og dyrket areal, geologisk rikhet, jordbunnsforhold, N-deponering, temperatur og avrenning er benyttet. Med dette som basis har vi både forklart dagens mønstre for konsentrasjoner og avrenning av de ulike elementene fra ulike typer nedbørfelt, og også brukt dette til prediksjoner av framtidig avrenning under endrete klimabetingelser. Dette er et verktøy som kan brukes i mange sammenhenger, ikke minst for å forutsi endringer i klima, hydrologi og N-deponering

Analysene og modellene viste at N-deponering, nedbør, temperatur, vegetasjonsdekke og andel myr i nedbørfeltet er nøkkelfaktorer som styrer konsentrasjon og avrenning av løst organisk C og nøkkelementer for innsjøproduksjon. De ulike elementene (og tilstandsformer av disse) påvirkes ulikt av disse miljøfaktorene, det betyr at også *forholdet* mellom elementene vil påvirkes sterkt av

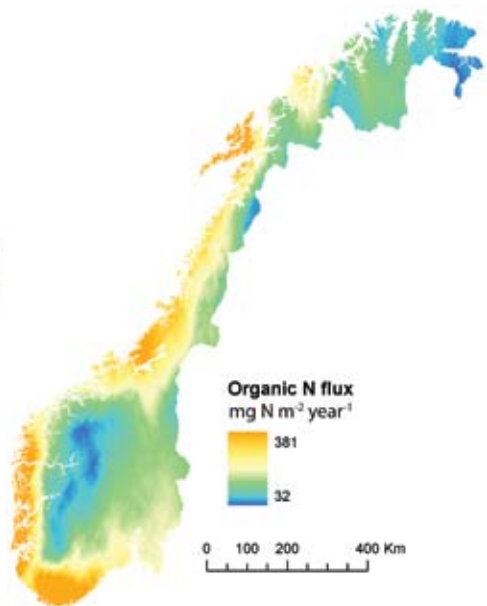
disse. For eksempel vil andel skog og myr sterkt redusere eksporten av nitrat (NO_3) fordi dette tas opp og bindes av vegetasjon, men stimulere eksport av organisk N som primært er knyttet til humus, figur 1a og b. Eksport av organisk N og P er klart styrt av organisk C, men dette gjelder ikke Si og NO_3 . Økt nedbør vil gi økte tilførsler av uorganisk N i sørlige og vestlige landsdeler, men virke fortynnende på andre elementer, noe som vil påvirke for eksempel forholdet mellom N og P eller N og Si sterkt og igjen påvirke biologisk produksjon. Økt nedbør vil generelt virke fortynnende (gi lavere konsentrasjoner), men gi økt total transport av de fleste stoffer pga økt avren-

ning. Økt temperatur vil gi redusert eksport av P og Si, men økt transport av NO_3 . Økt terrestrisk primærproduksjon vil gi økt eksport av P og Si, men redusert eksport av NO_3 fra terrestre felter til vann.

Noen få parametre som vegetasjonsindeks (NDVI), andel myr, temperatur og nedbør kunne forklare mer enn 80 % av den observerte variasjon av løst organisk karbon, og også det meste av varia-



Figur 1a. Nitratfluks fra norske nedbørfelt er primært bestemt av atmosfærisk nitrogennedfall, nedbør og vegetasjonsdekke.



Figur b. Fluks av organisk N henger tett sammen med transport av løst organisk karbon (humus) som primært påvirkes av skogdekke, myr og nedbør, mens nitratfluks fra norske nedbørfelt, jfr. figur 1a, primært er bestemt av atmosfærisk nitrogennedfall, nedbør og vegetasjonsdekke. Begge deler vil påvirkes kraftig av endringer i nitrogendeponering, nedbør og klima generelt.

sjonen i P, N og Si i innsjøene. Dermed foreligger mulighet for å modellere effektene også av klimaendringer på konsentrasjoner og avrenning av disse elementene til ferskvann (og hav). Vi har benyttet et moderat endringsscenario fra Hadley-senteret (IPCC B2 scenario, 2°C økning i gjennomsnittlig årstemperatur, med tilhørende nedbørsendringer) nedskalert på norske forhold. Dette innebærer en gjennomsnittlig økning av løst organisk karbon (altså for alle praktiske formål humus) på 56 % i norske sjøer, og en 28 % økning i årlig flux av organisk C. Dette skyldes først og fremst økt skogstilvekst, og vil altså bli en gradvis effekt over en tidsskala på anslagsvis 100-200 år, men det er allikevel dramatiske tall. Neste trinn blir å gjøre tilsvarende beregninger for andre elementer, og eventuelt utvide disse estimatene til hele det boreale barskogbeltet.

Et annet nylig avsluttet prosjekt skal også kort nevnes, MAREAS (Material fluxes from Ob and Yenisey to the Kara Sea). Også dette prosjektet demonstrerte den enorme betydningen av landbasert avrenning via to av de store elvene som drenerer store deler av Sibir til Karahavet. De høye konsentrasjonene av organisk C, N og P samt Si, Fe og andre elementer påvirker både optiske forhold og produksjon over store deler av Polhavet. Også her vil klimaendringer og eventuell opptining av permafrost forventes å øke denne stofftransporten betydelig.

De viktigste funnene

- Avrenning av organisk karbon styres i hovedsak av andelen skog (målt som

vegetasjonsindeksen NDVI) i nedbørfeltet, samt nedbør (avrenning) og vegetasjonsindeks. Myr gir også et klart positivt bidrag til konsentrasjon og avrenning av organisk C. Siden organisk materiale også er bærer av andre elementer som organisk N og P, blir dette viktige klimavariabler som kan endre elementtransport og forholdet mellom de ulike elementene. Dette vil ha betydning for biologisk produksjon. Mer organisk C vil kunne redusere produksjonen i innsjøer fordi lys-tilgangen svekkes

- Atmosfærisk nedfall av N (som er 10 ganger forhøyet i Sør-Norge) har svært stor betydning for elementforhold i vann, og kan også gi mindre avrenning av P og Si, fordi mer av disse elementene holdes tilbake når skogtilveksten øker som følge av atmosfærisk nitrogen gjødsling. Produksjonen i mange områder med lav N-deponering synes imidlertid å være begrenset av N mer enn P, og her vil høy N-deponering kunne bidra til økt begroing.

- Basert på disse dataene har vi konstruert en modell som brukes til å estimere endrede tilførsler av C, N, P og Si ved endrede klimaforhold (temperatur, nedbør). Klima vil i sterk grad påvirke avrenning av elementer fra nedbørfelt til innsjøer (og videre til kystområder). På kort sikt vil de hydrologiske effekter være de viktigste, der mer nedbør vil gi lavere konsentrasjoner (en fortykningseffekt), men økt totaltransport av nøkkelementer. På noe lengre sikt vil spesielt konsentrasjoner og fluks av organisk C øke som følge av økt vegetasjonsdekke og økt primærproduksjon i nedbørfeltene.

Nøkkelpublikasjoner til videre lesning

Adrian, R., O'Reilly, C., Zagarese, H., Baines, S., Hessen, D. O., Keller, W., Livingstone, D. M., Sommaruga, R., Straile, D., Van Donk, E., Weyhenmeyer, G. A., Winder, M. 2009 Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography* 54: 2283-2297

Elser, J.J.; Andersen, T., Baron, J. S. Bergström, A.-K., Jansson, M., Kyle, M. Nydick, K. R., Steger, L. Hessen, D. O. 2009. Shifts in Lake N:P Stoichiometry and Nutrient Limitation Driven by Atmospheric Nitrogen Deposition. *Science* 326: 835-837

Hessen, D. O., Andersen, T., Larsen, S., Skjelkvåle, B. L., de Wit, H. A. 2009.

Nitrogen deposition, catchment productivity, and climate as determinants of lake stoichiometry. *Limnology and Oceanography* 54: 2520-2528

Hessen, D.O. , Carroll, J.L., Kjeldstad, B., Korosov, A.A., Pettersson, L.H. , Pozdnyakov, D: Sørensen, K. 2010. Input of organic carbon as determinant of nutrient fluxes,

light climate and productivity in the Ob and Yenisey estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*. doi:10.1016/j.ecss.2010.03.006, i trykk.

Larsen, S., Andersen, T., Hessen, D.O. 2010. Severe impacts of climate change on organic carbon in lakes. *Global Change Biology*, i trykk.