

Grundvandsudsivning i marine områder

Af Tage Dalsgaard, Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Vandløbsøkologi

Problemformulering

De kystnære Danske farvande er som hovedregel belastede med næringsstoffer med en større eller mindre eutrofiering til følge. Primærproduktionen er i den største del af året begrænset af tilgængeligheden af kvælstof, og det er således tilførsel af kvælstof, der fastholder kystvandene i den eutrofierede tilstand. Kvælstoftilførslen via åerne til det marine miljø er godt kendt idet det hvert år opgøres ud fra et stort antal målinger i de Danske vandløb. Tilførslen af kvælstof med grundvand, der siver direkte ud i det marine miljø kendes derimod ikke. Nedenstående er en oversigt over den viden der eksisterer om udsivning af grundvand og næringssalte direkte til det marine miljø.

Indledning

Det er for nuværende ikke muligt at forudsige præcise konsekvenser af tilførsel af næringssalte til kystnære farvande, og dermed heller ikke muligt at forudsige effekten af grundvandstransporterede næringsstoffer. De mere kvalitative sammenhænge er dog kendte: Øget næringsstofbelastning medfører et skifte fra stabile miljøer med havgræsser over mod mere ustabile miljøer domineret af makroalger og phytoplankton med en større hyppighed af iltsvind. Skiftet mod mere ustabile miljøer medfører også et skifte i faunasammensætningen mod en mindre divers fauna, hvor arter med stor spredningskapacitet og større tolerance mod iltsvind dominerer.

De publicerede studier af grundvandstransport til kystvandene kan deles op i nedenstående 4 emner. En del af publikationerne beskæftiger sig med mere end et af emnerne.

- Vandtransportens størrelse
- Næringsstoftransportens størrelse
- Biogeokemiske processer på vandets vej fra grundvand til kystvand
- Miljøeffekter af næringsstofftilførsel med grundvand

Estimer af vandtransportens størrelse

Direkte måling af vandtransporten fra grundvandet til det marine miljø kan være meget arbejdskrævende og en række forskellige indirekte teknikker er blevet anvendt. I Laholms bugten i Sverige er teknikker til identifikation af udsivende ferskt grundvand til kystvande blevet afprøvet (Vanek and Lee 1991). Teknikkerne er baseret på måling af porevandets ledningsevne og på direkte måling af indsivningsraten med "seepage meter". Teknikkerne tillader kortlægning af indsivende ferskvand med fra meter til kilometer opløsning.

En anden teknik er blevet anvendt til estimering af grundvandstilførslen til Waquoit Bay Massachusetts, en lukket bugt ca. 1,2 km bred og 3,3 km lang med en gns. dybde på 1 m (Cambareri and Eichner 1998). Her er oplandets grundvandsmagasiner og -flow blevet karakteriseret med et stort antal piezometre og borer. På baggrund heraf samt estimer af grundvandsmagasinerens "recharge" rate er grundvandets flow til bugten modelleret. Det blev fundet at den direkte grundvandstilførsel udgjorde 34%, mens grundvand tilført via floder udgjorde 55% af bugtens samlede vandtilførsel.

I studiet fra Waquoit Bay (Cambareri and Eichner 1998) dækker betegnelsen grundvand udelukkende ferskvand. Imidlertid bliver termen "grundvand" også brugt til at betegne saltholdigt

vand, der strømmer ud af havbunden. I kystvande med relativt permeable sedimenter og bølgepåvirkning medfører bølgepåvirkningen en nedadrettet strøm af saltvand i bølgeslagszonen (Li et al. 1999). Efter at have passeret gennem sedimentet på sin vej væk fra stranden strømmer vandet igen ud af havbunden. Undervejs kan havvandet opblandes med udstømmende ferskvand og er ferskvandsstrømmen relativt lille kan denne maskeres af havvandscirkulationen (Simmons 1992), (Li et al. 1999). I situationer, hvor denne cirkulation er betydende, er det vigtigt at kende den, da den ellers kan medføre store overestimer af den ferske grundvandsudstrømning. Således vurderede Moore (Moore 1996) at grundvandsudsivning udgjorde 40% af flodernes tilførsel til South Atlantic Bight, en ca. 300 km lang kyststrækning i South Carolina, USA. Det viste sig, at Moores måleteknik (^{226}Ra berigelse af kystvandet) må have inkluderet det recirkulerende havvand i estimatet for grundvandsudstrømningen. Beregninger baseret på grundvandsmagasinernes "recharge" rate fandt at den ferske grundvandstilførslen til denne kyststrækning kun udgjorde 1,7% af den totale ferskvandstilstrømning (Younger 1996). For at estimere den ferske grundvandsudstrømning er det altså nødvendigt både at kende volumen og salinitet af det udstømmende vand.

Estimer af næringsstoftransportens størrelse

Studierne af næringsstoftransportens størrelse fra grundvand til kystvande beskæftiger sig stort set kun med nitrat, idet fosfaten bindes i jorden (Valiela et al. 1990), (Sewell 1982). Da primærproduktionen i de kystnære farvande generelt er begrænset af kvælstoftilgængeligheden (Howarth 1988), er det i eutrofieringssammenhæng også kvælstof, der er mest interessant. I danske farvande er der dog tegn på at fosfor er begrænsende en del af sæsonen, så for danske forhold vil fosfortransporten via grundvandet også være interessant.

Det første bevis for en betydende transport af nitrat med grundvand til kystvande kom i 1985 (Capone and Bautista 1985) fra Great South Bay, Long Island, New York. Den præcise størrelse blev ikke opgjort, men det konkluderedes at indsivende grundvand kunne være en betydende kilde til nitrat i kystnære farvande. Senere er nitrattilførslen via grundvand til bugten opgjort til at udgøre ca. 30% af den totale kvælstoftilførsel (Slater and Capone 1987). I andre områder har man forsøgt at opgøre den kvantitative betydning af nitrattilførsel via grundvand. Således blev det vurderet at udgøre 83% af den samlede kvælstoftilførsel til en lukket vig, Town Cove, Massachusetts (Giblin and Gaines 1990). Dette studie må karakteriseres som et specialtilfælde, da der ikke er floder eller åer af betydning, der udmunder i vigen. Dermed er stort set hele ferskvandstilførslen via grundvandet, og det bliver dermed en meget betydende kilde.

I et andet studie fra et mere åbent farvand har man forsøgt at estimere grundvandet som kilde til kvælstof og fosfor. Det var en 10 km lang kyststrækning i Florida, hvor udsivning af N og P med grundvand var af samme størrelse som N og P tilledningen via en lille lokal flod (Rutkowski et al. 1999), og det konkluderedes at næringssalte tilført med grundvand kan være en meget betydende kilde, specielt i områder uden større floder.

Biogeokemiske processers betydning for udsivende grundvands næringssaltindhold

En del studier beskæftiger sig med ændringen af grundvandets indhold af næringssalte på dets vej fra grundvandsmagasinerne gennem havbunden til kystvandene. Ofte sker der store ændringer under denne transport og det er vigtigt at forstå processerne, der forårsager disse ændringer, for at kunne forudsige næringssalttransporten ud fra kendskab til flowrate og grundvandskoncentration.

Den mest interessante proces, der påvirker grundvandets næringssaltkoncentration er denitrifikationen, der fjerner nitrat fra vandet. Den kvantitative betydning af denne proces er undersøgt flere steder og er fundet at variere meget. F.eks. blev denitrifikationen fundet at være ubetydende grundvandets nitratindehold i Nauset Marsh estuariet, Massachusetts (Nowicki et al. 1999),

mens der i Great South Bay, New York, blev fundet høje rater af denitrifikation, og det konkluderedes at en stor del af nitraten i det indsvivende grundvand blev fjernet på dets vej gennem de øverste 40 cm af havbunden (Slater and Capone 1987), (Capone and Slater 1990). På begge disse lokaliteter er der en tydelig sæsonvariation i denitrifikationen og processen er begrænset af tilgængeligheden af organisk stof. Den store forskel i betydningen af kvælstoffjernelsen mellem de to områder skyldes at grundvandet i Nauset Marsh var iltholdigt og strømmede gennem sandede sedimenter med lavt organisk indhold, mens grundvandet var iltfrit i Great South Bay og strømmede gennem organisk rige sedimenter.

Betydningen af saltmarsk mellem land og hav for kvælstoffjernelsen er også blevet undersøgt. Der er et stort potentiale for både denitrifikation og assimilering af kvælstof og fosfor i planterne. Også her er variationen stor. I en saltmarsk i Virginia var denitrifikationen af stor betydning for fjernelsen af kvælstof fra det gennemsvivende grundvand (Tobias et al. 2001), mens det modsatte var tilfældet i en saltmarsk i Massachussets (Portnoy et al. 1998). Forklaringen på den store forskel skal søges i vandets rute gennem marsken. I det første tilfælde foregik vandgennemstrømningen gennem rodzonen, mens grundvandet i det andet tilfælde strømmede gennem permeable sandaflejringer ca. 1 m under rodzonen.

Det er således klart at biogeokemiske processer potentielt har stor indflydelse på næringsstoftindholdet af det indsvivende grundvand. Det er imidlertid ikke altid dette potentiale udfoldes, og det er ikke muligt ud fra de foreliggende studier at forudsige effekterne af de biogeokemiske processer. Der er derfor behov for en langt større viden om samspillet mellem jordbundens og havbundens karakteristika, grundvandets strømningsveje og -hastighed og de biogeokemiske processers rolle.

Effekter af næringsstofftilførsel med grundvand

Der er kun ganske få publikationer, hvor denne sammenhæng er undersøgt. I 2 tilfælde er udbredelsen af havgræsser forsøgt korreleret til kvælstofftilførsel via grundvand. I det ene tilfælde var det ikke muligt at påvise nogen sammenhæng (Rutkowski et al. 1999), mens der i det andet tilfælde var en fin negativ korrelation mellem kvælstofftilførsel og biomassen af ålegræs (Lyons et al. 1995). Der blev også fundet en positiv sammenhæng mellem kvælstofftilførsel og biomassen af makroalger.

I de danske farvande er effekten af næringsalte tilført med grundvand ikke undersøgt. Imidlertid eksisterer der en undersøgelse af relationen mellem total kvælstof i vandet og dybdegrænserne for bundvegetation (Nielsen et al. 1989). Dybdegrænsen angiver den maksimale dybde en given plante kan vokse på, og på større dybde er der for lidt lys til at planten kan klare sig. Der blev fundet en negativ korrelation mellem kvælstofindholdet i vandet og dybdegrænsen for både rodfæstede planter, brunalger og andre makroalger. Større kvælstofindhold i vandet mindsker således muligheden for at have en udstrakt bundvegetation i de kystnære farvande. Det er imidlertid ikke trivielt at estimere kvælstofindholdet i vandet ud fra kendskab til tilførslen af kvælstof og nogen relation mellem kvælstofftilførsel og bundvegetationens udbredelse kan således ikke opstilles.

I en mere overordnet artikel beskriver Valiela et al. (1990) effekterne af kvælstofftilførsel via grundvand. De konkluderer, at effekterne er: 1) En mindre stigning i næringssaltkoncentrationerne, 2) Væksten af løstliggende makroalger øges kraftigt, 3) Væksten af ålegræs nedsættes, 4) Hyppigheden af iltsvind forøges og 5) Faunaen ændres til en mere iltsvindstolerante typer. Disse konklusioner er understøttet af undersøgelser fra Waquoit Bay, Massachussets.

Konklusioner

Litteraturen på udsivning af grundvand til marine områder er meget begrænset, både mht. til estimering af de transporterede mængder af vand og næringssalte, processerne, der påvirker de frigivne næringssaltmængder og effekterne i det marine miljø. Forskningen er hidtil stort set kun foregået i USA med enkelte undersøgelser i Europa.

I Danmark kan man ud fra grundvandsmodellering estimere grundvandstilførslen til de marine områder. For yderligere at estimere næringstransporten er det nødvendigt at kende grundvandets indhold af næringsstoffer samt at kende processerne, der potentielt kan påvirke næringssaltkoncentrationerne undervejs fra grundvandsmagasinerne til det marine miljø. Grundvandets indhold af næringssalte kendes, mens der ikke er nogen viden om processerne, der påvirker grundvandets sammensætning.

Summary

Antropogene aktiviteter øger næringsstofkoncentrationerne i grundvandet. Når grundvandet bevæger sig mod de tilgrænsende marine områder transporteres disse næringssalte med. Dette bidrag af næringssalte til de marine områder kan være betydende, da næringsstofkoncentrationerne i grundvand kan være flere størrelsesordener højere end i de kystnære farvande. Grundvandstransporterede næringssalte er imidlertid ofte udsat for biogeokemiske transformationer, specielt på deres vej gennem de marine sedimenter. Her er betingelserne ofte favorable for anaerobe processer som denitrifikation og andre mekanismer, der kan omdanne, frigive eller fjerne næringssalte. Selektiv fjernelse eller tilførsel af N og P i sedimenterne kan påvirke N:P forholdet i det udsivende grundvand og dermed påvirke en eventuel næringsstofbegrænsning af primærproduktionen. Konsekvenserne af øget næringsstofftilførsel til det marine miljø er stigende næringsstofkoncentrationer, øget vækst af makroalger og phytoplankton, reduktion i udbredelsen af havgræsser og øget hyppighed af iltsvind med reduktion i artsantal og tæthed af bundlevende makrofauna.

Litteratur

- Cambareri, T. C., and E. M. Eichner. 1998. Watershed delineation and ground water discharge to a coastal embayment. *Ground Water* **36**: 626-634.
- Capone, D C, and M. F. Bautista. 1985. A groundwater source of nitrate in nearshore marine sediments. *Nature* **313**: 214-216.
- Capone, D C, and J M Slater. 1990. Interannual patterns of water table height and groundwater derived nitrate in nearshore sediments. *Biogeochemistry* **10**: 277-288.
- Giblin, A. E., and A. G. Gaines. 1990. Nitrogen Inputs to a Marine Embayment - the Importance of Groundwater. *Biogeochemistry* **10**: 309-328.
- Howarth, R W. 1988. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Ann. Rev. Ecol.* **19**: 89-110.
- Li, L., D. A. Barry, F. Stagnitti, and J. Y. Parlange. 1999. Submarine groundwater discharge and associated chemical input to a coastal sea. *Water Resour. Res.* **35**: 3253-3259.
- Lyons, J., J. Ahern, J. McClelland, and I. Valiela. 1995. Macrophyte Abundances in Waquoit Bay Estuaries Subject to Different Nutrient Loads and the Potential Role of Fringing Salt-Marsh in Groundwater Nitrogen Interception. *Biol. Bull.* **189**: 255-256.

- Moore, W. S. 1996. Large groundwater input to coastal waters revealed by ^{226}Ra enrichments. *Nature* **380**: 612-614.
- Nielsen, S L, J Borum, O Geertz-Hansen, and K Sand-Jensen. 1989. Marine bundplanters bundgrænse. *Vand & Miljø* **5**: 217-220.
- Nowicki, B. L., E. Requentina, D. Van Keuren, and J. Portnoy. 1999. The role of sediment denitrification in reducing groundwater-derived nitrate inputs to Nauset Marsh estuary, Cape Cod, Massachusetts. *Estuaries* **22**: 245-259.
- Portnoy, J. W., B. L. Nowicki, C. T. Roman, and D. W. Urish. 1998. The discharge of nitrate-contaminated groundwater from developed shoreline to marsh-fringed estuary. *Water Resour. Res.* **34**: 3095-3104.
- Rutkowski, C. M., W. C. Burnett, R. L. Iverson, and J. P. Chanton. 1999. The effect of groundwater seepage on nutrient delivery and seagrass distribution in the northeastern Gulf of Mexico. *Estuaries* **22**: 1033-1040.
- Sewell, P. L. 1982. Urban groundwater as a possible nutrient source for an estuarine benthic algal bloom. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **15**: 569-576.
- Simmons, G. M. 1992. Importance of Submarine Groundwater Discharge (Sgwd) and Seawater Cycling to Material Flux across Sediment Water Interfaces in Marine Environments. *Marine Ecology-Progress Series* **84**: 173-184.
- Slater, J. M., and D. G. Capone. 1987. Denitrification in Aquifer Soil and Nearshore Marine-Sediments Influenced by Groundwater Nitrate. *Applied and Environmental Microbiology* **53**: 1292-1297.
- Tobias, C. R., I. C. Anderson, E. A. Canuel, and S. A. Macko. 2001. Nitrogen cycling through a fringing marsh-aquifer ecotone. *Marine Ecology-Progress Series* **210**: 25-39.
- Valiela, I., C. Costa, K. Foreman, J. M. Teal, B. Howes, and D. Aubrey. 1990. Transport of groundwater-borne nutrients from watersheds and their effects on coastal waters. *Biogeochemistry* **10**: 177-197.
- Vanek, V., and D. R. Lee. 1991. Mapping Submarine Groundwater Discharge Areas - an Example from Laholm Bay, Southwest Sweden. *Limnol. Oceanogr.* **36**: 1250-1262.
- Younger, P. L. 1996. Submarine groundwater discharge. *Nature* **382**: 121-122.