

Usikkerhed i kvælstofretention udnyttes

Målrrettede tiltag til reduktion i N-udledning baseres på kort over grundvands N-retention, som er behæftet med usikkerhed. Viden om størrelsen af usikkerheden og den rumlige variation i usikkerheden kan udnyttes til at forbedre målretningen. Der kan opnås en større effektivitet i målretningen, hvis viden om usikkerheden udnyttes til at identificere områder med stor sikkerhed for lav retention

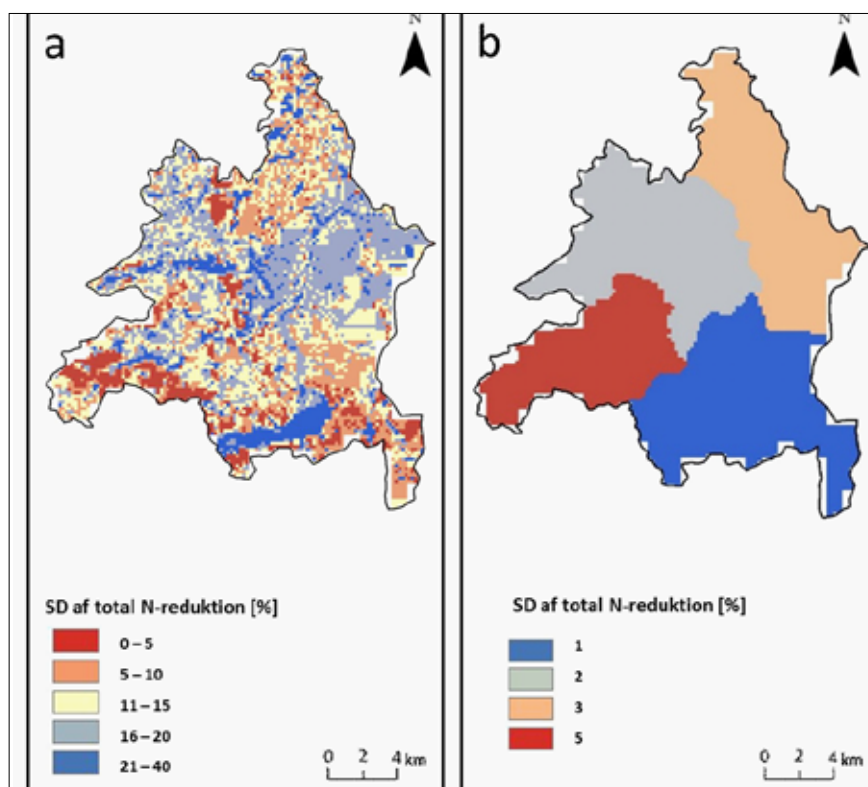
FATEMEH HASHEMI, ANNE L. HANSEN
& JØRGEN E. OLESEN

Introduktion

For en stor del af de danske kystvande vurderes der fortsat at være et stort behov for at reducere tilførslen af kvælstof (N). Der er samtidig evidens for at forskellige dele af landskabet bidrager i meget varierende grad til kvælstofudledningen, ikke mindst fordi landskabets kvælstofretention varierer betydeligt. Kvælstofretention er den fjernelse (reduktion) af nitrat via denitrifikation, der sker når udvasket nitrat under transporten fra mark til kystvand passerer iltfrie zoner i grundvand og overfladevand.

Behovet for at reducere landbrugets N-bekæmpelse til kystvandene udgør den væsentligste drivkraft for udvikling af en ny målrettet regulering, der fokuserer på hvor i landskabet det giver bedst mening at placere virkemiddelindsatsen. Denne målretning udnytter den rumlige variation i landskabets N-retention. Et kritisk element for den målrettede indsats er usikkerheden forbundet med kvantificering af N-retentionen.

For at belyse denne usikkerhed undersøgte vi usikkerheden på N-retentionen i Norsminde Fjord oplandet i Østjylland /1/. Fra et tidligere projekt havde vi 30 lige plausible N-retentionskort med et rumlig opløsning på 100×100 m /2/. For at gøre det enkelt, undersøgte vi hvor stort et landbrugsareal, der skulle braklægges for at opnå en reduktion i N-udledningen til fjorden på 20%.



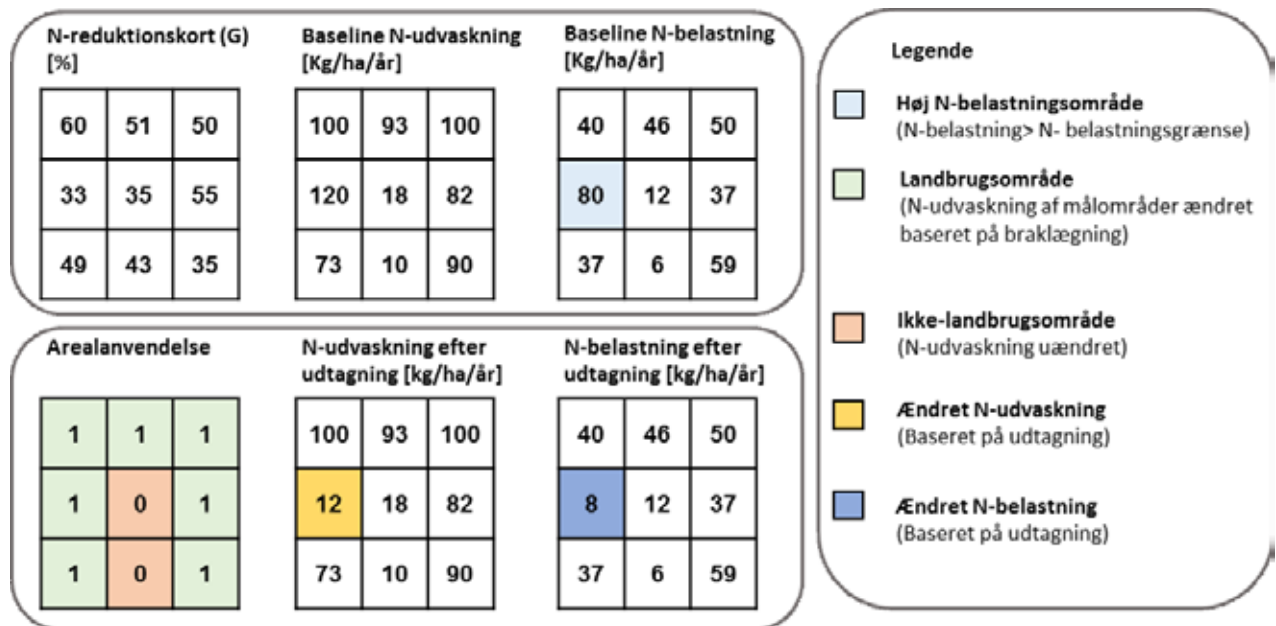
Figur 1. Spredning (SD) på de 30 N-retentionskort på grid-skala (a) og delopland skala, ID-15 (b) for Norsminde oplandet.

Usikkerheden på N-retentionskortene resulterer i usikkerhed på størrelsen af det landbrugsareal, der skal braklægges, og hvor dette skal foretages. Vi testede forskellige metoder til rumlig målretning af braklægningen, der tager højde for usikkerheden i N-retention ved grundvandstransporten. Disse metoder omfatter anvendelse af braklægning baseret på hvert enkelt N-retentionskort sammenlig-

net med et gennemsnitligt N-retentionskort samt udnyttelse af information om den rumlige fordeling af frekvensen af høj N-udledning eller lav N-retention.

Data

Vores studie tog udgangspunkt i Norsminde Fjord oplandet, hvor der i NICA projektet blev udviklet 30 lige plausible N-retentionskort



Figur 2. Konstruktion af rumligt målrettet scenarie med udtagning af areal med høj N-udledning (belastning). N-udvaskning før braklægningen (baseline) korrigeres for N-retention (reduktion) for at give belastningen. Dette gøres kun på arealet med landbrug (angivet som masken med værdien 1). Landbrugsarealet med den højeste N-belastning udvælges til udtagning (braklægning). I dette tilfælde udtages en et areal med en belastning på 80 kg N/ha (N-udvaskning på 120 kg N/ha korrigeret for N-retention på 33%), der efter udtagningen reduceres til 8 kg N/ha (N-udvaskning på 12 kg N/ha korrigeret for N-retention på 33%).

med høj rumlig opløsning (100×100 m) ved anvendelse af forskellige geologiske modeller /3/. Dette blev sammenholdt med et beregnet kort for nitratudvaskningen for perioden 2000-2011. Vi undersøgte også effekten af forskellig rumlig opløsning på retentionskortene, og anvendte enten den høje rumlige opløsning på 100×100 m eller værdier for N-retention på deloplade svarende til ID-15 oplande. Figur 1 viser standardafvigelsen (spredningen) på tværs af 30 N-retentionskort på både grid-

og deloplade skala. For den høje rumlige opløsning (grid-skala) er der en betydelig variation på tværs af oplandet i usikkerheden, som ikke ses for deloplade.

Simpel model for N-udledning til målretning af tiltag

Vi anvendte en simpel metode til at målrette braklægning til områder med høj N-udledning (N transporteret til fjorden), således at den samlede N-udledning til fjorden blev reduce-

ret med 20% med mindst mulig braklagt areal. N-udledningen til fjorden fra ethvert sted i landskabet blev beregnet således:

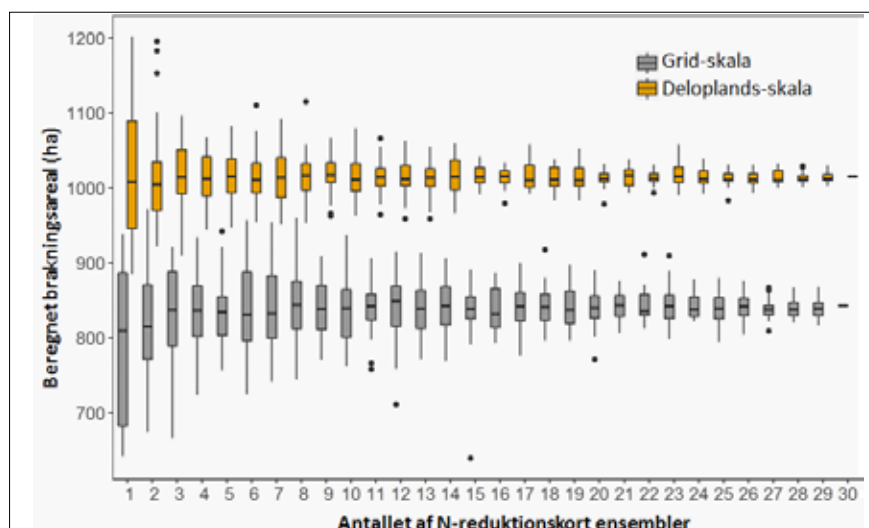
$$N = L \times (1 - R)$$

hvor N er bidrag til N-udledning til fjorden (kg N/ha/år), L er N-udvaskning fra rodzonen (kg N/ha/år) og R er den samlede N-retention (andel, herunder N-retention i grundvand såvel som overfladevand) /4/. Ved braklægning (udtagning af landbrugsjord til permanent ugødet græs) reduceres den årlige N-udvaskning fra rodzonen til en fast lav værdi på 12 kg N/ha, og effekten på N-udledningen afhænger derfor af både udvaskning for braklægningen samt af retentionen (Fig. 2).

Vi undersøgte forskellige muligheder for at udnytte informationen om den geologiske usikkerhed i N-retentionskortene. Dette omfattede: (i) en usikkerhedsvurdering af det estimerede areal til braklægning, (ii) metoder til reduktion af usikkerheden i reduktionen af N-udledningen, og (iii) en vurdering af muligheder for at anvende information om usikkerheden for mere effektiv målretning af braklægningen.

Usikkerhed på braklægningsareal

Først undersøgte vi effekt af forskellige ensemblestørrelse af gennemsnitlige N-retentionskort som input til beregning af N-udledningen. Et ensemble består altså af et antal forskellige kort (ensemblestørrelsen) til beregning af et gennemsnitskort. Ensemblestørrelsen varierede var 2 til 30. For ensem-



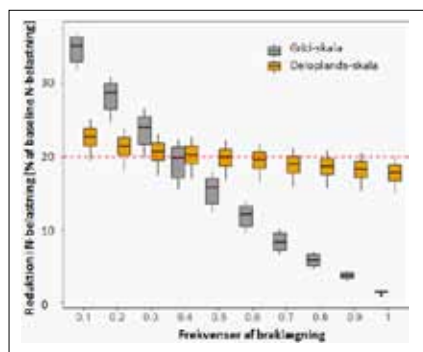
Figur 3. Beregnet braklægningsareal (ha) baseret enten på de enkelte N-retentionskort (1), ved forskellig antal af de enkelte kort som grundlag for de gennemsnitlige N-retentionskort (ensemblestørrelse fra 2-29) og et gennemsnitskort over alle N-retentions (30) for at nå en reduktion i N-udledningen til fjorden på 20%. Analyseerne er gennemført både på grid-skala og på deloplads-skala. Boksgrænser i figuren repræsenterer 25 og 75 procentiler, tykke linjer i boksen repræsenterer medianen, og whiskers repræsenterer 10 og 90 procentiler.

blestørrelser på 2 til 29 blev der tilfældigt udvalgt kort til beregning af gennemsnitskortet, således at der for hver ensemblestørrelse var 30 resulterende kort. For gennemsnittet af alle 30 kort var der kun ét N-reduktionskort. Desuden blev hvert enkelt N-retentionskort anvendt separat i N-belastningsmodellen. Alle disse mulige kort blev brugt til at estimere det braklægningsareal, der kræves for at opnå en 20% reduktion i N-udledningen til fjorden.

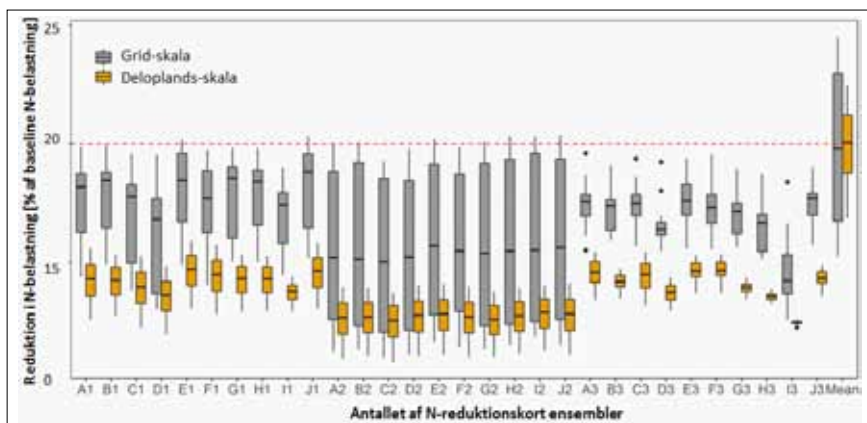
Analysen blev gennemført på både grid- og oplandsniveau, og resultaterne viser, at anvendelse af gridniveau giver et noget mindre braklagt areal end oplandsniveauet på trods af, at usikkerheden er størst på gridniveau (Figur 3). Det skyldes, at der opnås en meget større effekt ved placering af braklægning på arealer med stor reduktion i N-udledningen (stor N-udvaskning og/eller lav N-retention), og disse kan kun dårligt identificeres på deloplade. Der bør derfor som udgangspunkt anvendes data for retentionen på så rumligt en detaljeret skala som muligt, selv om dette giver en større usikkerhed.

En del af usikkerheden ved anvendelse af N-retentionskort på gridskala kan mindskes ved at tage gennemsnittet af flere mulige (lige sandsynlige) retentionskort. Ved ensemblestørrelser på 15 eller derover fås en stabil lav variation i den nødvendige braklægning (Figur 3), som er betydeligt lavere på gridskala end for deloplade. Resultaterne bekræfter konklusioner fra flere tidligere undersøgelser for brug af ensembler af hydrologiske modeller eller inputdata til hydrologiske modeller, hvor ensembler giver mere robuste resultater end individuelle modeller eller input datasæt /5, 6/.

Reduceret usikkerhed ved brug af gennemsnitlig N-retention



Figur 5. Beregnet reduktion i N-udledning til Norsminde Fjord ved anvendelse af forskellige frekvenser af braklægning (fra 0,1 til 1,0) på grid- og deloplandsskala for at opnå et reduktionsmål på 20% (metode II). Boksgrænser repræsenterer 25 og 75 procentiler, tykke linjer i boksen repræsenterer median, og whiskers repræsenterer 10 og 90 procentiler.



Figur 4. Beregnet reduktion i N-udledning til Norsminde Fjord ved brug af målrettet braklægning baseret på hvert enkelt N-retentionskort eller på et gennemsnit af 15 N-retentionskort (metode I). Reduktionen er vurderet for 29 og 30 individuelle N-retentionskort for henholdsvis enkelt- og gennemsnitskort. Analyserne er gennemført for grid- og deloplandsskala ved et reduktionsmål for N-udledning på 20%. De 30 individuelle N-retentionskort er baseret på 10 SkyTEM-baserede geologier (A-J) og 3 redox-scenarier (1-3). Boksgrænser repræsenterer 25 og 75 procentiler, tykke linjer i boksen repræsenterer medianen, og whiskers repræsenterer 10 og 90 procentiler.

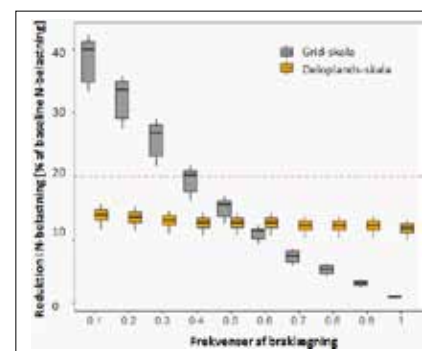
Som den første metode (metode I) til reduktion af usikkerheden brugte vi gennemsnittet af 15 tilfældigt udvalgte N-retentionskort. Som reference brugte vi hver enkelte af de oprindelige 30 N-retentionskort. De resulterende kort over braklægning for opnåelse af 20% reduktion i N-udledning til fjorden blev derefter evalueret i forhold til hvert af de individuelle N-reduktionskort, således at der for disse enkelte uafhængige N-reduktionskort blev beregnet hvor stor en reduktion braklægningen ville medføre i N-udledning til fjorden (Figur 4). Hermed opnås en uafhængig vurdering af effektiviteten af målretningen for at kunne give den ønskede reduktion på 20%. Ingen af de enkelte N-reduktionskort kunne give den ønskede reduktion på 20%, når dette blev målt på de øvrige N-reduktionskort. Derimod kunne dette ofte i gennemsnit opnås med et gennemsnit af reduktionskortene. Forskellen var særlig stor for data på deloplandsskala.

Braklægning efter frekvens af høj N-udledning

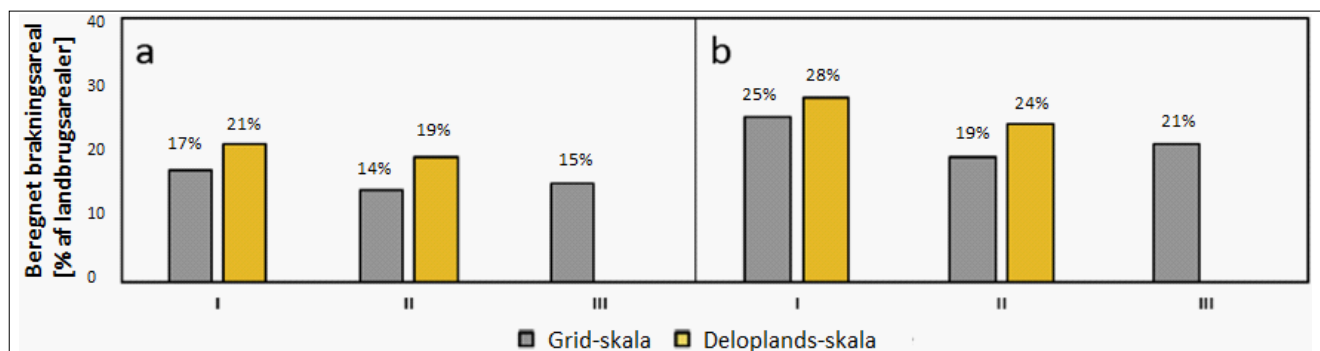
Vi beregnede den målrettede braklægning for hvert af de 30 N-retentionskort ved en reduktionsmålsætning på 20%, og på grundlag heraf blev der for hver grid og delopland i kortene beregnet en frekvens for braklægning. Denne frekvens afspejler i princippet fordelingen af høj N-udledning, da den målrettede braklægning for de enkelte retentionskort var baseret på at braklægge arealer med den højeste udledning. Vi brugte derefter denne frekvens for braklægning (frekvens for høj N-udledning) til at målrette braklægningen, således at braklægningen blev prioriteret områder med høj

frekvens.

Efterfølgende har vi, som også gjort ovenfor i figur 4, vurderet effekten af denne målretning i forhold til hvert enkelt N-retentionskort. Figur 5 viser effekten af målretningen på usikkerheden i den opnåede reduktion i N-belastning til fjorden ved anvendelse af forskellige frekvenser for braklægning (fra frekvenskortet) som udvælgelseskræterium for målretningen af braklægningen. Det ses, at responsen for N-belastning i forhold til braklægningsfrekvens er stærkere for grid- end for deloplandsskala. For eksempel giver en braklægningsfrekvens på 0,3 som grundlag for målretningen sandsynligheder på 96% og 70% for at nå en reduktion i N-udledningen på 20% på henholdsvis på grid- og deloplandsskalaer.



Figur 6. Beregnet reduktion i N-udledningen til Norsminde Fjord ved anvendelse af forskellige frekvenser af braklægning (fra 0,1 til 1,0) for arealer med N-retention mindre end 0,5 på grid- og deloplandsskala for at opnå et reduktionsmål på 20% (metode III). Boksgrænser repræsenterer 25 og 75 procentiler, tykke linjer i boksen repræsenterer median, og whiskers repræsenterer 10 og 90 procentiler.



Figur 7. Braklagt areal i procent af landbrugsarealet for oplandet til Norsminde Fjord for de tre forskellige metoder til målretning af braklægning opgjort mod 30 individuelle N-retentionskort for at opnå sandsynligheder på 50% (a) og 80% (b) for opnåelse 20% reduktion i N-udledning til fjorden. Metoderne var: I) gennemsnitligt N-retentionskort, II) frekvens af høj N-udledning, og III) frekvens af høj N-udledning begrænset til arealer med lav N-retention.

Braklægning efter frekvens af lav N-retention

I metode III brugte vi lav N-retention til at målrette braklægningen. Vi udvalgte det område, der havde en N-retention lavere end 0,5 på alle 30 N-retentionskort, og indenfor denne maske med lav retention benyttede vi samme metode som i metode II til målretningen. Denne metode giver kun gode resultater på de grid-baserede kort (Figur 6). Det skyldes, at der kun er en meget lav variation i N-retention på deloplandsniveau. Metoden giver dog alligevel en lavere variation i den opnåede reduktion i N-udledningen end anvendelse af enkelte N-retentionskort (sammenlign figur 4 og 6).

Effektivitet af metoder til at reducere usikkerhed

De tre metoder til målretning af braklægning under usikkerhed giver som vist forskelle i beregnet usikkerhed i reduktionen i N-udledning. Det er dog også interessant, hvor effektive disse metoder er til at sikre den ønskede reduktion i N-udledning til fjorden med så lille et braklagt areal som muligt. Vi beregnede derfor, hvor stor en braklægning der skulle til for at opnå en sandsynlighed på enten 50% eller 80% for en 20% reduktion i N-udledningen. I

Resultaterne viser som forventet et større braklægningsareal ved brug af retentionsdata for deloplande sammenlignet med gridskala (Figur 7). Det krævede braklagte areal baseret på det gennemsnitlige retentionskort (metode I) var større end arealet for både metode II og III. Den større effektivitet ved brug disse metoder skyldes den ikke-lineære sammenhæng mellem reduktionen i N-udledning og anvendelsen af braklægning. Det kræver sim-

pelt hen et mindre braklagt areal at placere braklægningen der hvor sandsynligheden for stor reduktion i N-udledningen er højest.

Perspektiver

Vi afprøvede flere metoder til at reducere usikkerheden ved målretning af tiltag (braklægning) til reduktion af N-udledningen til Norsminde Fjord. Resultatet viser at usikkerheden kan reduceres betydeligt ved brug af information om frekvensen af høj N-udledning. Denne information udnyttes bedst ved kortlægning af N-retention på så fin rumlig skala som muligt. Der er således mindre værdi af denne information på deloplande (fx ID-15 skala). Hvis dette skal anvendes i praksis, er der et behov en grundig kortlægning af usikkerheden i N-retention baseret på ensemble-modellering af detaljerede N-retentionskort for hele landet. Der er derfor behov for investeringer i geofysiske undersøgelser på oplandsniveau. En tidligere undersøgelse vurderede, at den økonomiske gevinst ved rumligt differentierede strategier og fordelene ved disse strategier vil være højere end omkostningerne ved at opbygge et detaljeret N-retentionskort med tilhørende usikkerhedsberegninger /7/.

Referencer

- 1/ Hashemi, F., Olesen, J.E., Jabloun, M., Hansen, A.L., 2018b. Reducing uncertainty of estimated nitrogen load reductions to aquatic systems through spatially targeting agricultural mitigation measures using groundwater nitrogen reduction. *J. Environ. Manag.* 218, 451-464.
- 2/ Hansen A.L., Christensen B.S.B., Ernsten V., He X., Refsgaard J.C., 2014a. A concept for estimating depth of the redox interface for catchment-scale nitrate

modellering in a till area in Denmark. *Hydrogeology Journal* 22, 1639-1655.

- 3/ Hansen, A.L., Gunderman, D., He, X., Refsgaard, J.C., 2014b. Uncertainty assessment of spatially distributed nitrate reduction potential in groundwater using multiple geological realizations. *J. Hydrol.* 519, 225-237.
- 4/ Hashemi, F., Olesen, J.E., Hansen, A.L., Børgesen, C.D., Dalgaard, T., 2018a. Spatially differentiated strategies for reducing nitrate loads from agriculture in Danish catchments. *J. Environ. Manag.* 208, 77-91.
- 5/ Hansen, A.L., Refsgaard, J.C., Olesen, J.E., Børgesen, C.D., 2017. Potential benefits of a spatially targeted regulation based on detailed N-reduction maps to decrease N-load from agriculture in a small groundwater dominated catchment. *Sci. Total Environ.* 595, 325-336.
- 6/ Seifert, D., Sonnenborg, T.O., Refsgaard, J.C., Højberg, A.L., Trolborg, L., 2012. Assessment of hydrological model predictive ability given multiple conceptual geological models. *Water Resour. Res.* 48, W06503
- 7/ Jacobsen, B.H., Hansen, A.L., 2016. Economic gains from targeted measures related to non-point pollution in agriculture based on detailed nitrate reduction maps. *Sci. Total Environ.* 556, 264-275.

Erkendtlighed

Studiet var en del af BONUS SOILS2SEA projektet under BONUS programmet samt dNmark forskningsalliancen støttet af Innovationsfonden.

FATEMEH HASHEMI er PhD fra Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi, e-mail: fatemehashemi57@gmail.com

ANNE LAUSTEN HANSEN er miljørådgiver ved Landbosyd (tidligere GEUS), e-mail: alh@landbosyd.dk

JØRGEN E. OLESEN er professor ved Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi, e-mail: jeo@agro.au.dk