

Vandstrømning i opland og lavbund

Strømningsveje i lavbundsarealer har betydning for omsætning af nitrat og er styret af hydrogeologi i lavbunden samt mængden af vand, der strømmer til fra baglandet. Vandtilstrømningen fra baglandet varierer og potentialet for nitratomsætning i lavbundsarealer kan således variere pga. deres placering i et opland. Oplandsmodeller kan benyttes til at give estimat af denne variation.

ANKER L. HØJBERG, IDA B. KARLSSON &
IDA M. V. CHRISTIANSEN

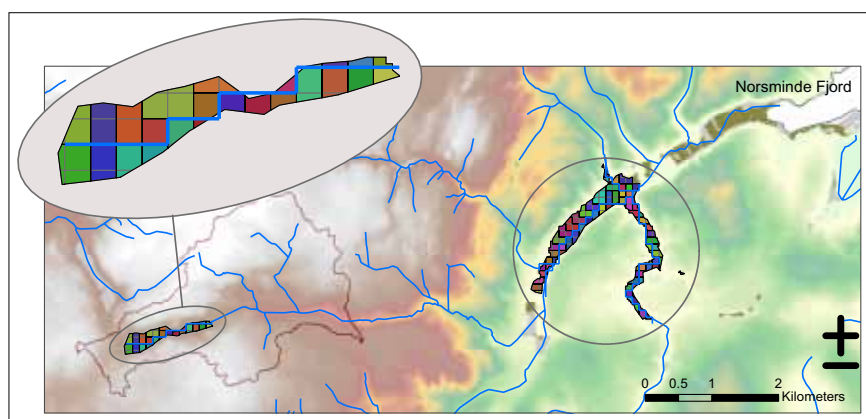
Lavbund i landskabet

Med inspiration i Grundvand-Overfladevands-Interaktion (GOI) konceptet /1/, er der i TReNDS udviklet et værktøj til estimering af vandets strømningsveje i lavbundsarealer /4,8/. Kendskab til strømningsvejene er essentielt for at kunne beskrive transport samt potentiel omsætning af nitrat i lavbundsarealer. Værktøjet er bygget op som en vandbalancemodel, hvor det samlede input til området (nedbør samt tilstrømning fra grundvand og/eller dræn fra oplandet), fordeles successivt til de forskellige strømningsveje ud af lavbunden (evapotranspiration, afstrømning via grundvand til vandløb, dræning og overfladisk afstrømning). Ved ubalance mellem til- og afstrømning sker der en ændring i grundvandsstanden og dermed en ændring i opmagasineringen.

Vandbalancemodellen er præsenteret i detaljer i /2/, hvor den også er anvendt som en selvstændig model med felddata indsamlet i TReNDS som input /4,5/. Test og demonstration af modellen udbygges i nærværende artikel, hvor den kobles til en oplandsmodel for to lavbundsarealer. De to lavbundsarealer varierer i størrelse samt placering i det hydrologiske regime, der betyder at de modtager forskellige vandfluxe fra oplandet. Eksemplerne illustrerer derfor, hvordan input fra oplandet influerer på strømningsvejene i lavbundsarealer, og derigennem lavbundens potentiale for nitratreduktion.

Integration i oplandsmodel

Det er i TReNDS projektet analyseret, hvordan der kan opnås en forbedret drænbeskrivelse i en oplandsmodel, med udgangspunkt i en model for oplandet til Norsminde Fjord



Figur 1. Placering af de to lavbundsarealer der er koblet til oplandsmodellen for Norsminde Fjord. Zoom viser opdelingen af Fensholt lavbundsareal i lavbundsegmenter angivet ved forskellige farver. Hvert lavbundsegment er knyttet til en vandløbsstrækning og kan bestå af et eller flere modelgrids i oplandsmodellen.

/3/. Denne gridbaserede model er opstillet i softwaren MIKE SHE og benyttes her til kobling med vandbalancemodellen. Den første koblingen til oplandsmodellen er lavet for lavbundsarealet i Fensholt, der har været en af lavbundslokaliteterne i TReNDS, hvor der er gennemført detaljerede undersøgelser /4/. Dette lavbundsområde udgør ca. 26 ha og er placeret helt opstrøms i systemet og er udspringet for Stampe Møllebæk. Det andet lavbundsareal ("Odder") er ca. 82 ha og placeret nedstrøms Odder by ved sammenløbet af de større vandløb Odder Å og Rævs Bæk kort før udløbet til Norsminde Fjord.

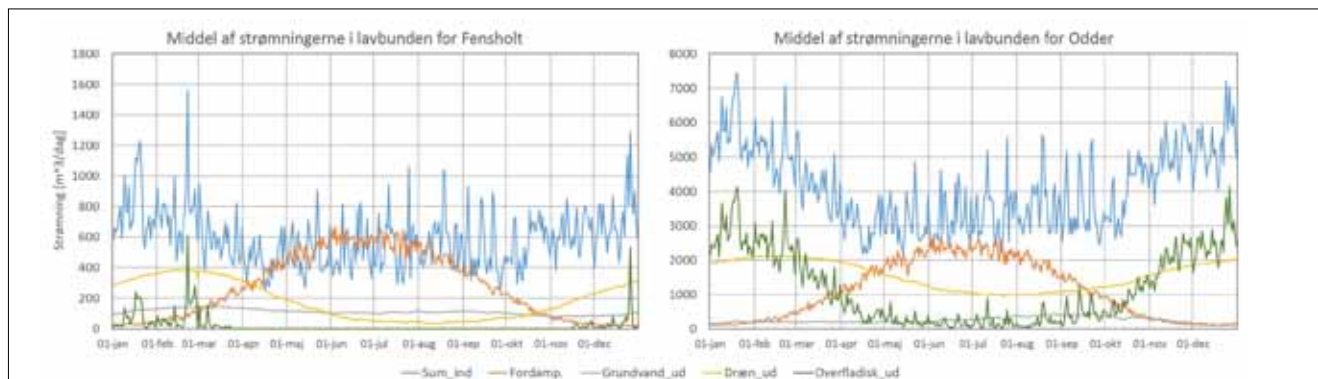
Ved kobling af vandbalancemodellen til en oplandsmodel defineres et lavbundsareal (et lavbundsegment) for hvert modelgrid, der er beliggende i lavbundarealet, og som indeholder en vandløbsstrækning (Fig. 1). I tilfælde hvor lavbundsarealet strækker sig mere end ét modelgrid fra vandløbet, er det samlede lavbundsopland til vandløbet bestemt på basis af en topografisk afgrænsning. Afhængig af den vertikale opløsning af oplandsmodellen samt lavbundens geometri, kan lavbunden kobles til ét eller flere af de øverste beregningslag.

Det antages, at alt vand, der strømmer til lavbundsarealet, forsvinder via fordampning eller afstrømning til vandløbet. Med vandbalancemodellen beregnes strømningsvejene individuelt for hvert lavbundsegment, der efterfølgende kan summeres for det samlede lavbundsareal.

Vandbalancemodellen anvendes ved en efter-processering. Dvs., oplandsmodellen benyttes først til beregning af de samlede vandfluxe, herunder den samlede flux til lavbundsarealerne. Derefter udtrækkes beregnede modelværdier (Tabel 1), der efterfølgende anvendes som input til vandbalancemodellen for estimering af opdelingen i strømningsveje i lavbunden. Specifikt sker udtrækket fra oplandsmodellen via Python scripts. Både oplandsmodellen, og den efterfølgende anvendelse af vandbalancemodellen sker dynamisk, dvs. med tidsvarierende til- og afstrømning fra lavbunden.

Eksempel - forskellige lavbunde

I Fig. 2 ses den samlede til- og afstrømning af vand gennem de to lavbundsarealer, hvor afstrømningen er opdelt på de forskellige



Figur 2. Vandbalance for de samlede lavbundsarealer opstrøms ved Fensholt (A), og nedstrøms Odder by (B).

strømningsveje. I alle eksemplerne er det antaget, at hele lavbundsarealet er drænet. Det er samtidigt antaget at drænen i oplandet ikke er afskåret i skræntfoden til lavbundsarealet, men ledt direkte til vandløbene. Vandfluxene ind i lavbundsarealerne er således alene den naturlige tilstrømning fra oplandet via grundvand samt nedbøren.

Der ses en tydelig forskel på den samlede tilstrømning til de to lavbundsarealer, der ved Odder er ca. 7 gange større end tilstrømningen til Fensholt, mens arealet af lavbundsarealet kun er ca. 4 gange større ved Odder. Det nedstrøms lavbundsareal ved Odder modtager således en større tilstrømning pga. dets placering i det hydrologiske opland.

Ved Fensholt er fordampning i sommerperioden næste lige så stor som den samlede tilstrømning. Der sker derfor kun en begrænset dræning i lavbunden og ingen overfladisk afstrømning. I den øvrige del af året er tilstrømningen væsentlig større end fordampningen, og der sker en afstrømning via drænen og en begrænset overfladisk afstrømning, primært i forbindelse med til nogle kraftige nedbørshændelser. Med en større tilstrømning per areal lavbund, er den hydrauliske be-

lastning større på lavbundsarealet ved Odder. Dette kommer blandt andet til udtryk ved, at tilstrømningen stadig er en del større end fordampningen, selvom tilstrømningen næsten halveres i sommerperioden. Der sker derfor en dræning fra lavbundsarealet ved Odder året rundt, og selv i sommerperioden kan der forekomme overfladisk afstrømning, om end dette er begrænset. Som vist i /2/ kan der ske en vekselvirkning mellem overfladisk afstrømning og afstrømning via drænen, hvor den overfladiske afstrømning vil stige, hvis dræneffektiviteten reduceres. En sådan reduktion kan eksempelvis skyldes, at lavbundsarealet kun er delvist drænet, eller at der sker en opstuvning i drænene fordi vandstanden i vandløbet ligger over drænniveauet. I eksemplerne ovenfor er der antaget en høj dræneffektivitet, og den beregnede overfladiske afstrømning vil derfor være et konservativt lavt estimat.

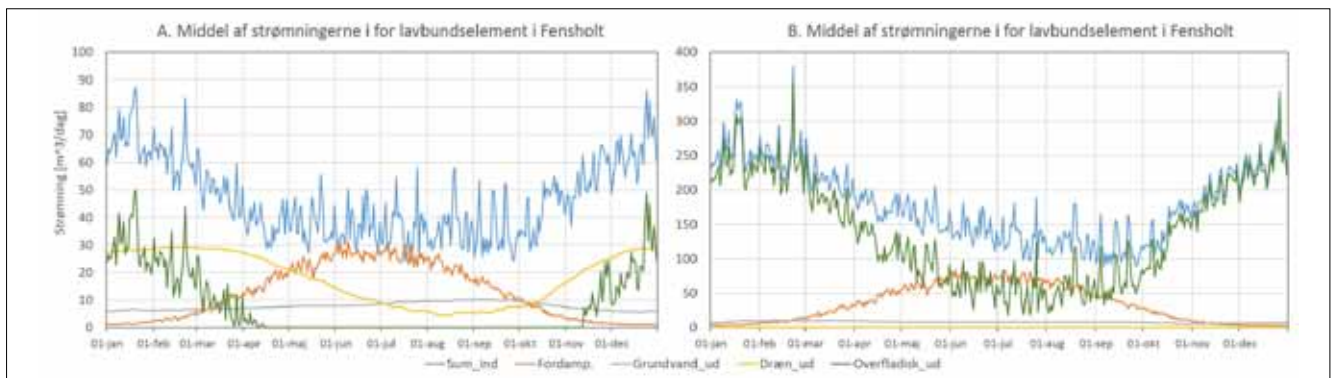
Eksempel - variationer inden for lavbund

Vandbalancemodellen er koblet til oplandsmodellen for hvert lavbundssegment og ikke for hele lavbundsarealet samlet. Dette giver mulighed for at vurdere variationen i

strømningsvejene inden for det enkelte lavbundsareal som resultat af lokal varierende tilstrømning. Dette er illustreret for to lavbundssegmenter for Fensholt (Fig. 3), der repræsenterer variationen ved transekterne beskrevet i /4/. Værdierne er middelværdier for perioden 2000 - 2015. I det første tilfælde (Fig. 3A), ses et drænet lavbundssegment, hvor tilstrømningen via drænen afskåret i skræntfoden er begrænset (som transekt T31 i /4/). Dette giver anledning til en drænastrømning over hele året, dog begrænset i august og september. Den overfladiske afstrømning er ligeledes betydelig i vintermånederne, hvor den udgør ca. halvdelen af den samlede tilstrømning, mens den ikke er tilstede resten af året. Da den overfladiske afstrømning maksimalt udgør ca. halvdelen af den samlede tilstrømning, vil en del af vandet fra drænen afskåret i skræntfoden kunne infiltrere i lavbunds sedimentet, og potentielt give anledning til reduktion af eventuelt tilstedeværende nitrat. Det andet segment (Fig. 3B), viser et ikke-drænet lavbundssegment, der modtager et større grundvandsbidrag, og ikke mindst, et væsentligt større bidrag fra drænen afskåret i skræntfoden (som transekt T32 i /4/). I denne situation genereres der overfladisk af-

Tabel 1. Variable der indgår i vandbalancemodellen. Se også /2/ for nærmere beskrivelse.

Variabel	Beskrivelse	Kilde
Areal	Areal af lavbundssegment	Afgrænsning af modelgrids, der indeholder lavbund og vandløb, samt nabo lavbunds grids uden vandløb (Figur 1). Afgrænsning er foretaget i GIS.
P	Nedbør	Input data til oplandsmodel.
G _{ind}	Grundvands tilstrømning	Udtræk fra oplandsmodellen af den samlede tilstrømning af grundvand fra oplandet til lavbundarealet
D _{ind}	Vandtilstrømning fra drænen der er afskåret i lavbunds skrænt	Med oplandsmodeller kan drænestrømningen fra marker i oplandet estimeres. Kendskabet til beliggenheden af drænen samt hvor de løber ud i lavbundsarealet kræver lokal viden.
ET	Evapotranspiration	Input data til oplandsmodel. Det antages, at den aktuelle fordampning er lig den potentielle fordampning.
h _s	Grundvandstand i skræntfod	Udtræk fra oplandsmodellens beregninger.
h _v	Vandstand i vandløb	Kan baseres på forskellige kilder, såsom observationer eller modelberegninger. I eksemplerne er der antaget en sæsonvariation givet ved en sinuskurve med maks. kote, der er koten for vandløbsbrinken.
K _L , K _V	Hydraulisk ledningsevne for lavbund og vandløbsbund	Estimeret på baggrund af kendskab til lavbund eller lavbundstypologi.
Vandløbsareal	Areal der forbinder vandløb med lavbund (højde og bredde)	Fra lokalt kendskab.



Figur 3. Eksempler på to lavbundssegmenter i Fensholt lavbund, der modtager hhv. lille (A) og stor (B) vandtilstrømning via grundvand og specielt dræn afskåret i skræntfoden.

strømning hele året selv i sommermånederne, og den overfladiske afstrømning udgør en væsentlig større andel af det vand, der strømmer til. Potentialet for nitratreduktion i dette lavbundssegment vil derfor procentuelt være mindre.

De to eksempler fra Fensholt (Fig. 3) illustrerer de samme relationer som fundet i /2/ mht. forekomsten af dræn i lavbunden, mængden af vand der strømmer til og de resulterende strømningsveje i lavbundsarealet. Ved indbygning i en oplandsmodel kan der opnås en dynamisk beskrivelse, og der kan tages hensyn til, at der er varierende lokale forhold inden for ét lavbundsareal, både hvad angår lavbunds sedimentet, samt den hydrauliske belastning fra baglandet. I eksemplerne herover er det specielt tilstrømningen via dræn afskåret i skræntfoden der har betydning for hvor meget overfladisk afstrømning, der genereres.

National implementering

I GOI konceptet er det erkendt, at strømningsvejene i/over et lavbundsareal er styret af såvel lavbundsarealets hydrogeologiske kontakt med baglandet samt egenskaberne i lavbunden. De detaljerede lavbundsstudier i TReNDS understøtter vigtigheden af kendskab til strømningsvejene, ikke kun i forhold til den potentielle omsætning af nitrat, der forudsætter en strømning gennem et (reaktivt) lavbunds sediment, men også i forhold til en potentiel fjernelse af organisk kvælstof fra lavbunden via overfladisk transport /4/.

Vha. GOI konceptet i sig selv, er det imidlertid ikke muligt at kvantificere strømningsvejene. Dette er muligt med den udviklede vandbalancemodel. Eksemplerne præsenterer i /2/ samt ovenfor illustrerer og underbygger, at såvel lavbundsarealernes placering i det hydrologiske regime samt de hydrogeologiske forhold i lavbundsarealet, er betydende for opdelingen af strømningsvejene. Kontakten med baglandet er bestemt af hydrogeologien på større skala, hvor der via den nationale grundvandskortlægning er indsamlet data og opstillet hydrogeologiske modeller, som man i disse år gør en stor indsats for at sammen-

tolke, og indarbejde i den nationale hydrologiske model (DK-model). For lavbunden er der behov for kendskab til såvel omsætningspotentialet, dvs. om lavbunds sedimentet er reaktivt i forhold til nitratomsætning, samt kendskab til de lokale hydrogeologiske forhold /4, 5/. Der er indsamlet data fra lavbundsarealer i projekter som SINKS /6/ og Okkerkortlægningen /7/, der kan anvendes i en vurdering af, hvorvidt lavbunds sedimentet er reaktiv. Kendskabet til de lokale hydrogeologiske forhold er derimod yderst begrænset.

En detaljeret hydrogeologisk karakterisering af alle danske lavbunde er næppe realiserbar inden for en nær fremtid. For at anvende modellen på kort sigt er der derfor behov for udvikling af repræsentative lavbundstypologier med tilhørende hydrogeologiske karakteristika, der kan bruges til at karakterisere lavbundsarealer, hvor der mangler detaljerede viden/målinger. Sådanne typologier eksisterer ikke p.t., og vil kræve en analyse af eksisterende lavbundsundersøgelser, gerne kombineret med nye feltundersøgelser. En yderligere udfordring er estimering af hvor stor reduktionen er for de forskellige strømningsveje. Under forudsætning af, at lavbunds sedimentet indeholder tilstrækkeligt med reducerende stoffer, vil det første vigtige skridt dog være at kunne give et bud på omfanget af overfladiske afstrømning.

Perspektiver

Betydningen af lavbundsarealer for nitratbalancen på oplandskala er ikke inddraget i den eksisterende N-retentionskortlægning pga. af manglende operationelle værktøjer. I den henseende vil anvendelsen af vandbalancemodellen således være en væsentlig forbedring, til trods for usikkerheden ved anvendelse af typologier for lavbundshydrologi, samt bestemmelse af nitratomsætningen via de forskellige strømningsveje.

Modellen vil endvidere give mulighed for en første screening i forhold til potentialet for at øge N-retentionen i oplandet ved en afskæring af dræn i skræntfoden. I eksemplerne i figur 3 ses f.eks. hvorledes den samlede til-

strømning til lavbundsarealet påvirker genereringen af overfladisk afstrømning og dermed potentialet for en omsætning af nitrat.

I den nuværende version kan vandbalance-modellen ikke beskrive, at vand på overfladen kan infiltrere lavbunds sedimentet, men længere nedstrøm igen strømme op og bidrage til en overfladisk afstrømning. En opgørelse af hvorvidt vandstrømningen alene sker ved overfladisk afstrømning eller delvist gennem lavbunds sedimentet, kan imidlertid have stor betydning for den potentielle nitratomsætningen. En beskrivelse af denne proces vil kræve en mindre revidering af modellen, men principperne for opdelingen af strømningsvejene samt koblingen til en oplandsmodel vil være de samme.

Referencer

- /1/ MST, Videreudvikling af ådalstypologi - Grundvand-Overfladevand Interaktion (GOI), Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 16, 2004
- /2/ Engesgaard, P., Petersen, R.J., Karlsson, I., Christiansen, I.M.V., Kjærgaard, C., Højberg, A.L. 2019. Modellering af vandstrømning i lavbundsområder. Vand & Jord, nr. 1:37-39.
- /3/ Karlsson, I., Højberg, A.L., Hansen, A.L., He, X., Iversen, B.V. 2019. Bedre drænastrømning i oplandsmodeller. Vand & Jord, nr. 1:15-18.
- /4/ Petersen, R.J., Prinds, C., Iversen, B.V., Kjærgaard, C. 2019. Transport og omsætning af kvælstof i lavbund. Vand & Jord, nr. 1:30-33.
- /5/ Jessen, S., Steiness, M., van't Veen, S.G.W., Kofod, T., Engesgaard, P. 2019. Retention af nitrat i ådalsmagasiner. Vand & Jord, nr. 1:34-36.
- /6/ Steen Gyldenkerne, Pia Frederiksen (Eds.). 2015. The Danish SINKs project. Danish Centre for Environment and Energy No. 155, 111 pp.
- /7/ MST, Okkerkortlægning – Potentielt svovlsure jorde i Jylland, 1984
- /8/ Petersen, R. J., Prinds, C., Iversen, B. V., Engesgaard, P., Jessen, S., and Kjaergaard, C. Submitted 2018. Nitrogen reduction along variable flow pathways in riparian lowland transects. Submitted to WRR.

ANKER LAJER HØJBERG er seniorforsker, IDA B. KARLSSON er forsker og IDA M.V. CHRISTIANSEN er forskningsassistent, alle ved Hydrologisk afdeling, GEUS