

Notat vedr. hotspot-analyse af næringsstoftransport

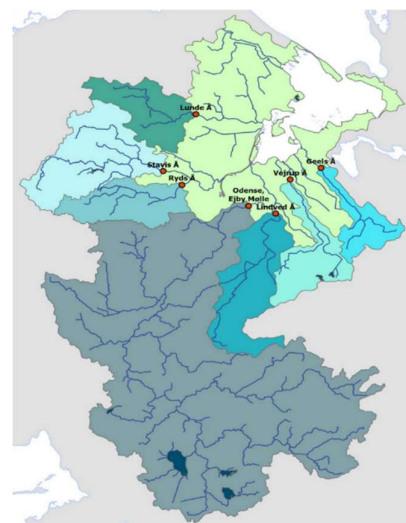
Søren K. Lücking, Anders Barnewitz, Theis Kragh & Paula Canal-Vergés

Baggrund

Udviklingen af en ny metodik til monitoringen af næringsstoffers transport fra oplandet og ud i fjord- og havmiljøerne skyldes den begrænsede nuværende viden og datagrundlag, som der ses i mange store dele af landet. Den nuværende beregning af næringsbelastningen fra oplandet til Odense Fjord er baseret på SWAT-modeller, som er lavet ud fra typeoplande, sammen med faste monitoringsstationer i større udløb, som Odense Å (Fig. 1). Monitoringsstationerne beregner en udledt masse på baggrund af kontinuerte vandføringsmålinger kombineret med ca. 16 årlige vandprøver hvor der måles næringsstofkoncentrationer, hvorimellem der interpoleres for at lave en tidsserie af masseberegninger.

Der er ved denne metode følgende hovedproblemer:

- Mange oplande er ikke inkluderet, og derfor estimeres de på bedste vis via modeller der er lavet ud fra andre typeoplande. For Odense Fjord udgør den ikke-målte andel 22 % (229 km²) af hele oplandets areal, og består primært af områderne tættest på fjorden, markeret med lysegrønt på fig. 1.
- De få vandprøver fra få lokationer tager ikke højde for daglige næringsstofudsving, nedbørsændringer og ekstrem-hændelser der kan påvirke massetransporten markant i de interpolerede perioder.
- Oplandene til prøvestationerne er enorme, og det er ikke muligt herfra videre at undersøge hvilke faktorer i oplandet der påvirker stoftransporten.
- Oplandene er meget heterogene i forhold til deres bidrag. Nogle områder bidrager med en markant større næringsstofmængde end andre. Forskellen forstærkes yderligere af afstrømningsmønstre med de pulsmæssige afstrømninger.



Figur 1 – Odense Fjords opland med markering af nuværende faste stationer. Den lysegrønne del markerer ikke-målt opland (Århus Universitet, 2022)

En ny metode skal benyttes til at undersøge næringsstoftransporten i et delopland til fjorden, som skal danne den baggrundsviden der skal til, for at opstille en GIS-baseret model, der kan benyttes på andre oplande, som benytter det specifikke oplands karakteristika indenfor jordtyper, topologi, landbrug, punktkilder, naturområder samt arealdækninger. Et af de primære oplande som analysen baseres på er området der leder ud igennem Fjordmarken til Egensedybet, i nordvest-delen af yderfjorden (herefter benævnes hele oplandet som Fjordmarken i denne rapport).

Valg af område

Valget af Fjordmarken er baseret på en række faktorer. Her findes både naturområder som Hasmarkmosen, som det ene vandløb løber igennem, og selve Fjordmarken strandengen der befinder sig bag diget, der afskærmer fjorden fra at oversvømme de 605 hektar der blev inddæmmet i 1818. Diget der blev bygget mellem Bøttingers-Holm (nuværende Hofmansgave) og Bogø via Ramsø udgjorde sammen med dige- og landindvindelse syd for nuværende Otterup lystbådehavn muligheden for at dyrke de mange ”nye” hektar land, som grundet inddæmningen består af sandbund, hvor der den dag i dag stadig ses muslinger og andre skaller i store mængder over 5 km inde i oplandet. På fig. 2 ses et historisk kort før inddæmningen (Videnskabernes Selskab, 1776) er overlagt et ortofoto fra 2022, med Nordre og Sønder Landkanal markeret med rødt (Detektorkort.dk, 2023)

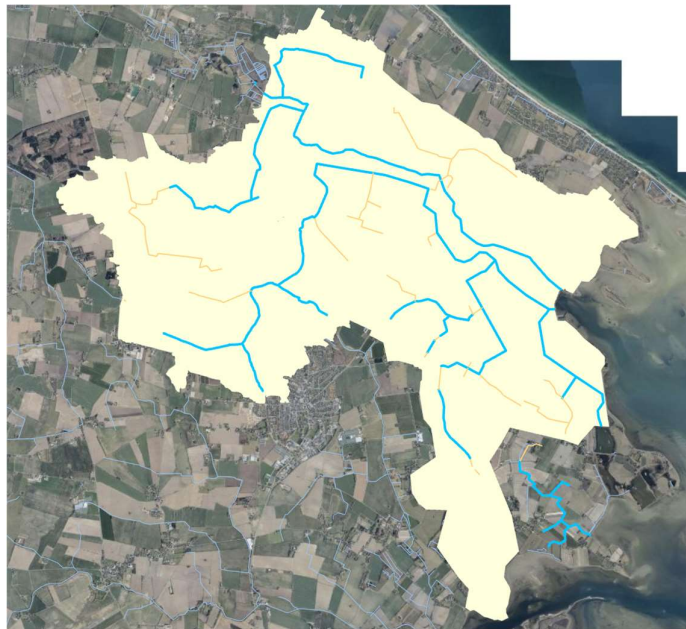
Den geologiske og topografiske homogenitet i oplandet gør det svært at finde markante forskelle i næringsstofflørslerne, især grundet den sandede jord og flade topografi. Observerede forskelle her vil hovedsageligt skyldes dyrkningspraksis for den diffuse afstrømning og punktkilder. Målet med projektet er at udvikle metoder der kan identificere nitrogen- og fosfor-hotspots i oplandet. Metoderne der udvikles undersøges her i pilot-oplandet ved Egensedybet, men de forventes at kunne bruges til at forudse udledninger i andre, anderledes oplande med mindre modifikationer.



Figur 2 – Historisk kort (Videnskabernes Selskab, 1776) overlagt ortofoto fra 2022 (Detektorkort.dk, 2023)

Egensedybet området på i alt 43,68 km² (fig. 3) afvandes til Odense fjord via to gennemgående dræningskanaler – Nordre og Sønder landkanal. Begge vandløb er kunstigt anlagt for at dræne markerne i området, og fremstår derfor meget unaturligt løbende. Nordre landkanal afvander 12,68 km² via en tidevandsstyret sluse på nordsiden af diget ved strandengen, og Sønder landkanal afvander 31,00 km² via en pumpestation nær den gamle Bogø Mølle, som blev brugt op til pumpestationens konstruktion. De to kanaler er forbundet via to overløb (et via strandengen, og et ca. 4 km inde i oplandet), der løber fra nord mod syd ved for høj vandstand i Nordre landkanal. Derudover er også oplandet til Hofmansgaves to pumpestationer inkluderet i projektet, og tilføjer derved et areal på 3,6 km². Otterup udgør med sine ca.

5250 indbyggere størstedelen af områdets beboelse. Derudover findes en række mindre byer samt spredt bebyggelse.



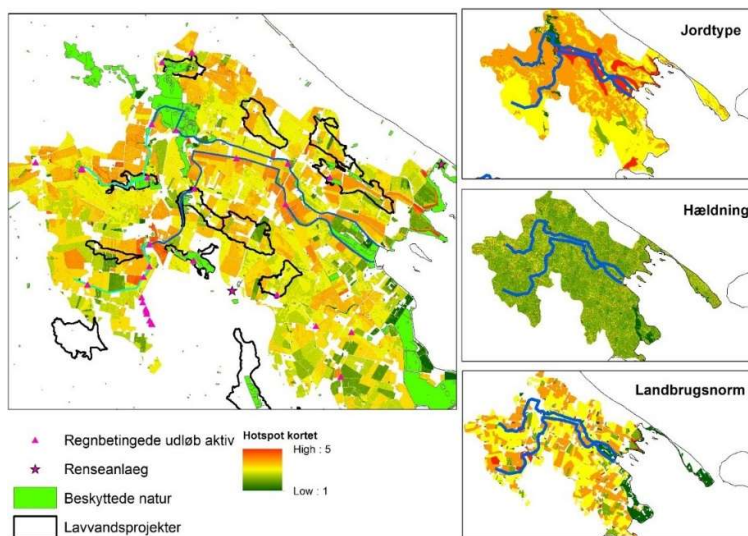
Figur 3 – Hele oplandet til dette projekt (gult) med åbne drækanaler og vandløb indtegnet (blå), samt rørlagte forbindelser (orange)

GIS-værktøj

Ud fra en række tilgængelige lag er der udviklet en GIS-baseret model, der kan vurdere forventede hotspots for nitrogenudledning til vandmiljøet i området på måneds- og årsbasis, helt ned på markniveau.

Informationer om punktkilder indsamles der tilgængelige GIS-lag som er tilgængelige i dette område, som påvirker nitrogen og fosforbelastningen. I egensedybet er de relevante informationer renseanlægs lokationer, regnvandsbassiner, overfladevands udledning, separatkloakering med udledning og diverse industri. Akvakultur som findes i større mængder i andre oplande er ikke til stede i Egensedybet opland.

Modellen inkorporerer de tre faktorer som set på figur 4; en DEM (Digital Elevationsmodel) konverteret til hældning i procent ned til en gridstørrelse på 0,4*0,4 m, jordtype klassificeret i 6 kategorier (estimerer i forhold til forventet nitratudvaskning) samt specifikke områders forventede tilførsel af nitrat til vandområderne baseret på landbrugsområders normerede gødskningskvoter (vægtet gennemsnit af lokationens nitrat-kvoter gående 4 år tilbage). Gødskningsnormen baseres på jordtype og afgrøde, og ændres derfor årligt.



Figur 4: GIS screeningsværktøj for Egensedybets opland. A, foreløbigt hotspot-kort. B, jordtyper. C, Hældning. D, 4-års gennemsnitlig nitrat-norm for markerne

Hældningen og gødskningsnormen for den specifikke lokation reklassificeres begge til en skala fra 1-5 med 3 decimalers præcision, hvor højere gødskningskvote over årrækken og større hældning giver et højere tal. Tilsvarende vil mere sandede jordtyper have et højere tal end lerede og humus-rige. Den endelige model beregner en værdi fra 1,0-5,0 for hver 0,4*0,4 m grid i oplandet baseret på gennemsnittet af de tre faktorer, som set på figur 5a og 5b. Modellen vil løbende blive kalibreret ved brug af resultaterne i Fjordmarken. Derfor er det ikke muligt at komme med resultatet af den endelige model, før den er færdigkalibreret over en fuld årscyklus.



Figur 5a og 5b – Eksempler på den nuværende GIS-model. Scala fra 1 (mest grøn) til 5 (mest rød)

Metode

Området monitoreres via to sideløbende metoder – automatisk ved udløbene ved brug af en ISCO-Doppler opstilling, ved hver kanal samt af frivillige vandprøvetagere, der tager prøver hver 2. uge. Derudover tages også prøver på udvalgte tidspunkter, som ekstremhændelser.

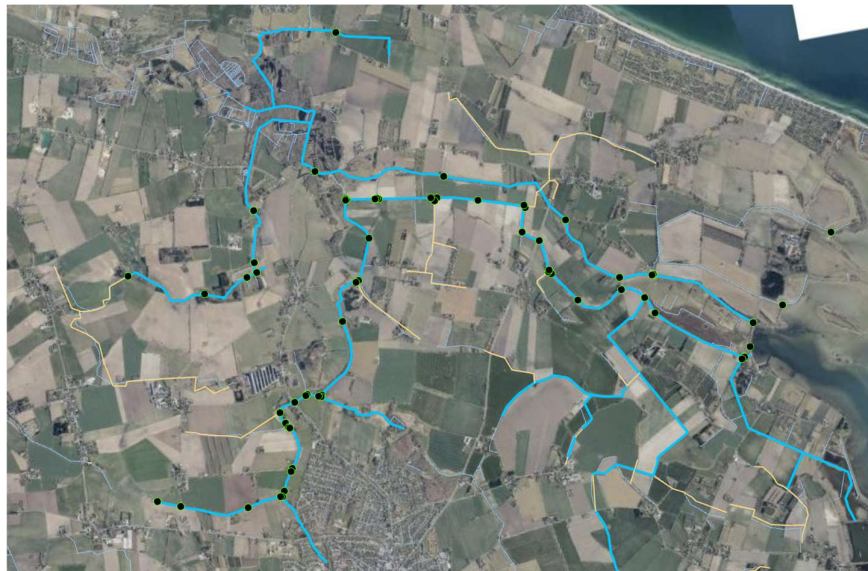
Vandprøverne tages ved brug af en teleskopstang i plast-vials, for at minimere risikoen for påvirkning af prøvens kvalitet, ved den potentielle opslæmning af sedimentet der kan ske ved at vandprøvetager bevæger sig ned i bunden.

Prøverne nedfryses hurtigst muligt, og medbringes til laboratoriet på SDU hvor de analyseres løbende.

Det automatiske udstyr består ved begge de to udløb af en Teledyne ISCO "6700 portable autosampler" (vandprøvetager) udstyret med 24 beholdere. Den er tilkoblet et Teledyne ISCO "2150 Area velocity flow module" (flowmåler), som via dens doppler placeret i kanalen måler vandføring kontinuert, samtidig med at den ud fra kanalens dimensioner og den aktuelle dybde beregner en vandføringsmasse. Flowmåleren er tilkoblet vandprøvetageren, så der tages en vandprøve ved et specificeret interval, som er opsat til at fylde ca. 1 flaske á 8 prøver om dagen i hvert vandløb ved middelvandføring. Opsætningen gør at prøveintervallet som udgangspunkt er konsistent med en specifik volumen mellem hver prøve, og der ved stigende vandføring er kortere tid mellem hver prøve.

Valg af stationer

I Fjordmarkens opland strækker de to kanaler sig hhv. 9,5 og 12 km ind i oplandet. Samlet set er der i de to kanaler 62 steder der tages vandprøver, samt to i Hofmangsgaves kanaler (fig. 6). Stationerne er udvalgt på baggrund af flere faktorer, som de er specifikt placeret for at undersøge, og på baggrund af den GIS-baserede hotspot-analyse for at undersøge den diffuse udledning. Derudover er der placeret mellemstationer, for at lave en nogenlunde udfyldende grid over kanalerne uden alt for store afstande. Mellemstationerne er placeret for at opnå en maksimal afstand på 750 meter mellem hver station, men nogle steder er der op til 1400 meter imellem stationerne, da det ikke har været muligt at få adgang til kanalerne tættere på grundet ejerforholdene. Ligeledes er der placeret en række stationer der undersøger punktkilder.



Figur 6 – placering af prøvestationer i kanalerne (sort/grøn prik)

Afhængigt af hvilket forhold stationen skal undersøge opsættes de på forskellig vis, generelt følgende nedenstående mønster:

Hvis en marks specifikke udledning skal undersøges, placeres en station ved markens begyndelse, og en station ved dens slutning. Der bør rettes opmærksomhed på, hvorvidt marken udleder via løbende dræn til kanalen, eller hvis den hælder modsat eller samme retning som vandløbet løber, og potentielt udleder via et samledræn for enden af marken. Hvis marken løbende leder ud i kanalen, opsættes stationerne som på fig. 7a. Hvis samme mark har et skift i jordtype, og jordtypens påvirkning vil undersøges placeres stationen i

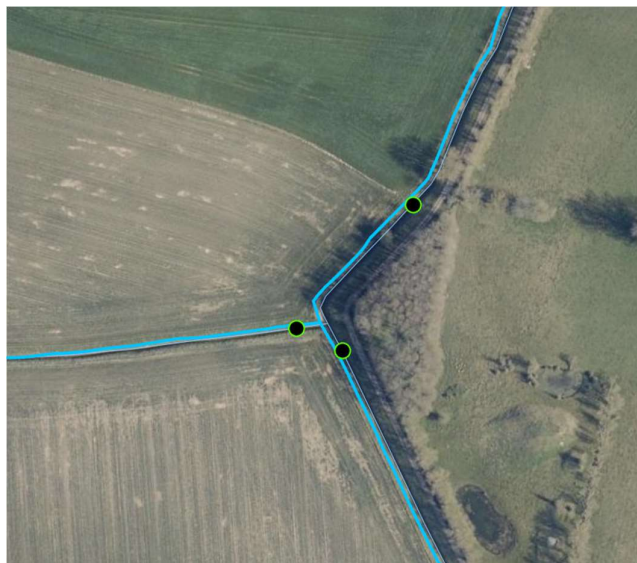
skiftet. Et eksempel på en mark med samledræn ses på fig. 7b. Ved udløb via samledræn bør monitoringsstationer opsættes som ved sidetilløb, i næste eksempel.



Figur 7a – en mark med udløb direkte i kanalen. Stationer er opsat før og efter marken. Pilene markerer markens drænretning

Figur 7b – en mark med udløb i et samledræn. Stationer er opsat i en trekantsopsætning og tager en prøve før, i og efter tilløbet. Pilene markerer markens drænretning mod samledrænet

Ved sidetilløb samt sammenløb af to kanaler opsættes også stationer i en trekantsopsætning (fig. 8), med en station i hver af de tilkomne grene samt efter sammenløbet. Det er vigtigt at stationen efter sammenløbet er placeret langt nok fra sammenløbet til at der sker en komplet sammenblanding af vandet. Det er med en trekantsopsætning muligt at estimere procentdelen af vand der kommer fra hvert tilløb.



Figur 8 – trekantsopsætning ved sammenløb af to kanaler

Regnbetingede udledninger samt dræn kan monitoreres ved brug af begge metoder som nævnt ovenover. Ved udledninger der ikke har et synligt eller tilgængeligt udløb opsættes der to stationer som før-efter metoden, og ved udledninger med tydeligt udløb (hvor man ønsker en måling på udløbet) kan der opsættes efter

trekantsmetoden. På figur 9a er der under stien udløb fra en separat regnvandsudledning med bassin (sort cirkel), som er utilgængelig. Her er der opsat stationer på hver side af udløbet, så der måles før og efter.



Figur 9a – Regnbetinget udløb med stationer før og efter.

Figur 9b – Regnbetinget udløb (via det orange rørlagte drænrør) med stationer før, i og efter.

Parametre

Følgende parametre analyseres, til videre brug i oplandsanalyser samt stoftransportanalyser for det samlede og specifikke opland:

DIN (dissolved inorganic nitrogen)

Individuelle analyser af nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) og ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) på opløst form. Analysen viser andelen af hver type opløst nitrogen i vandet, som kan benyttes til at se hvilke kilder det potentielt kommer fra.

DIP (dissolved inorganic phosphorous)

Analyse af opløst fosfor, primært fosfat (PO_4) i vandet. Benyttes til at vurdere belastning fra primært spildevand på opløst form i vandet.

TN (total nitrogen)

Den totale koncentration nitrogen på opløst og partikulær form. Giver et samlet tal for den totale udledning fra specifikke områder, og benyttes til beregningen af stofmassen der lukkes ud i fjorden.

TP (total phosphorous)

Den totale koncentration fosfor på opløst og partikulær form. Benyttes som ovenstående (TN) for fosfor.

TOC (Total organic carbon)

Den samlede koncentration af organisk kulstof i vandet. Benyttes som ovenstående TN og TP.

POC (Particular organic carbon)

Den partikulære del af kulstoffet. Benyttes til at vurdere andelen af partikulært kulstof i forhold til den totale mængde kulstof (TOC), som kan variere markant ved ekstremhændelser.

TDN (Total dissolved nitrogen)

Den totale koncentration af opløst nitrogen, organisk og uorganisk

TDP (Total dissolved phosphorous)

Den totale koncentration af opløst fosfor, organisk og uorganisk.

I og med at forskellige former for nitrogen og fosfor er indikatorer for forskellige kilder er det brugbart at lave flere analyser af de specifikke former for hver prøve. Derudover er det også meget relevant at undersøge, hvorvidt forskellige hændelser (fx tørke eller skybrud) påvirker ratioen mellem fx DIN og TN eller TOC og POC, for at se hvordan forholdene mellem opløst og partikulær form ændres.

Hypoteser

Modellen forventes at kræve kalibrering i andre oplande end blot Fjordmarken, da jordtypen her er så sandet, og topografien meget flad. Derfor vil det primært være forskelle i næringsstofftilførslen og den efterfølgende udvaskning der påvirker næringsstoffernes effekt på vandløbet i dette område.

Den forventede udvaskning i sandet jord er højere end i leret jord (Kronvang *et al.*, 1995), og dette afspejles også i modellens opsætning. Dette gælder hovedsageligt ved baggrundsafstrømning, ved almindelige nedbørsmønstre eller tørke. Ved ekstremhændelser bør effekten på et sandopland være reduceret i forhold til et leropland, da sandet tillader en større volumen optaget vand over kortere tid end ler, hvor der vil være større overfladeafstrømning. Dette gør sig også gældende ved det flade opland, da afstrømningen vil være voldsommere, og der er potentiale for flere lavninger der kan opsamle vand, som ikke skyller af til kanalerne med det samme, men trækker ned igennem jorden.

Den største ændring i nitratmængden ved ekstremhændelser bør skyldes partikulært stof, og derfor vil den større overfladeafstrømning i lerede oplande have en større påvirkning på udvaskningerne under disse hændelser. Samme tendens forventes til dels også for fosfor, men generelt forventes den største påvirkning af ekstremhændelser eller generel meget regn at ses som udledninger fra regnbetingede udledninger.

Konklusion

Vi forventer, at modellen der udvikles på baggrund af dette projekt fremover kan benyttes til analyser af forventede næringsstoffudledninger af store områder, helt ned på markniveau. Modellen opstilles først med de tre faktorer hældning, jordtype og nitrat-norm, men på langt sigt forventes der at blive tilføjet andre støtterne parametre. Prøvetagningsintervallet er her meget intensivt med mange prøver på et år (~1500), og vil også blive benyttet til at vurdere det optimale prøvetagningsinterval til et eventuelt lignende projekt. Første skridt er at finde de væsentligste kilder i specifikke oplande, som gør det muligt at lave en fokuseret indsats når der skal implementeres virkemidler. Det vil kræve tilpasning og validering på andre oplande, for endeligt at kunne konkludere at modellen er effektiv, især topografisk anderledes oplande, samt på oplande med anderledes jordtypefordeling.

Referencer

Kronvang, B., Grant, R., Larsen, SE., Svendsen, LM., and Kristensen, P. (1995). Non-point-source nutrient losses to the aquatic environment in Denmark: impact of agriculture. *Marine and Freshwater Research* 46(1) 167-177