

Optimeret kvælstoffjernelse i matricevådområde

På baggrund af resultater og erfaringer opnået i forskningsprojektet SupremeTech er konceptet for matricevådområder blevet videreudviklet i GUDP-projektet iDRÆN. Matricevådområders kvælstofeffekt er søgt optimeret ved at etablere et stvningsbassin, der kan bidrage til at udjævne høje vandføringer i peak flow situationer forud for kvælstoffjernelsen i selve filtermatricen. Resultaterne fra det nye fuldskala matricevådområde med stvningsbassin ved Odder i oplandet til Norsminde Fjord viser store potentialer.

CARL CHRISTIAN HOFFMANN &
CHARLOTTE KJÆRGAARD

Matricevådområder eller minivådområder med filtermatrice/biofilter er nye målrettede drænvirkemidler, der etableres i tilknytning til markdræn med det formål at reducere udledningen af næringsstoffer via drænen /1/. I regi af de dansk-internationale samarbejder i forskningsprojekterne SupremeTech (www.supremetech.dk) og iDRÆN (www.idraen.dk) er der i årene 2010-2017 opnået betydelig viden om funktion og effekt af matricevådområder bla. /2, 3, 4, 5, 6/.

Resultater fra danske forsøg med matricevådområder har vist, at disse har betydelige potentialer som omkostningseffektive drænfiltre til reduktion af kvælstof /2, 3, 7/. På baggrund af SupremeTech forsøgene er der udviklet modeller, der kan estimere kvælstofreduktionseffektiviteten på baggrund af de styrende variable hhv. drænvandstemperatur og hydraulisk opholdstid /2, 3/. SupremeTech modellerne giver samtidig mulighed for at dimensionere matricevådområder på basis af viden om drænafstrømning.

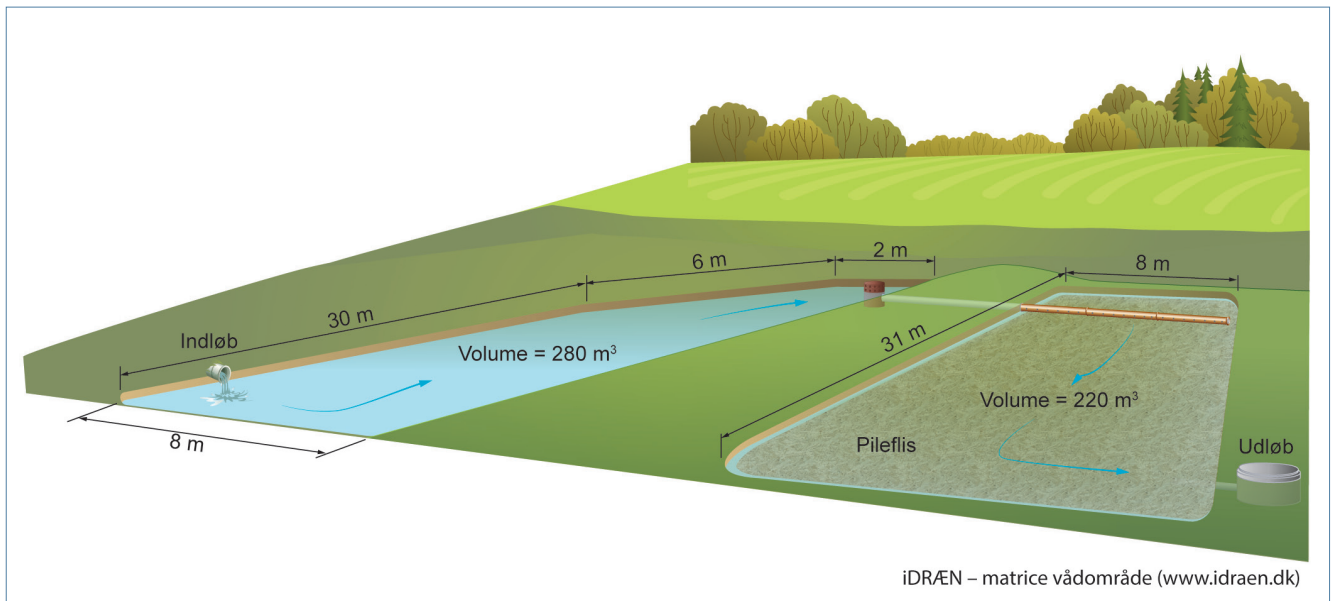
Resultater fra SupremeTech projektet har



Nyetablet iDRÆN matricevådområde med stvningsbassin (www.idraen.dk).
Foto: Carl Christian Hoffmann

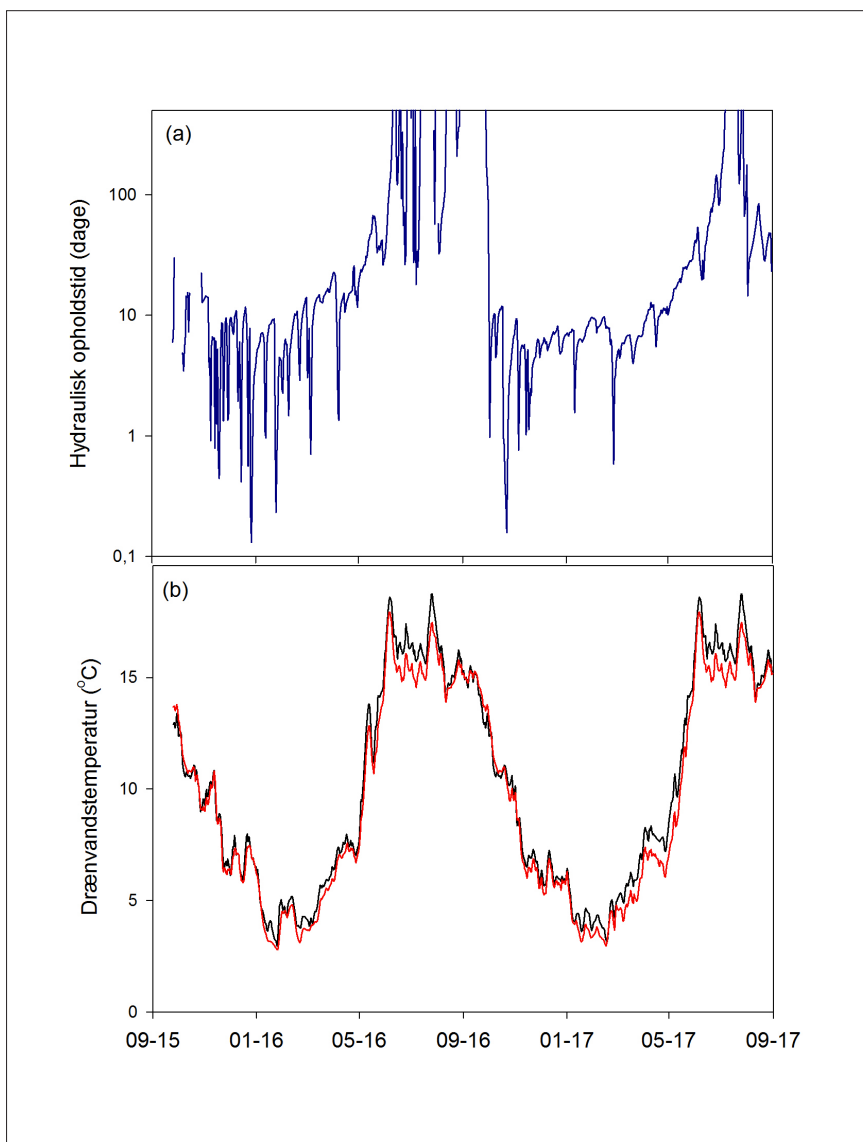
bidraget med designløsninger således, at der i regi af GUDP-projektet iDRÆN (www.idraen.dk) i 2015 kunne konstrueres et optimeret fuldskala matricevådområde. iDRÆN matricevådområdet blev etableret med det udgangs-

punkt at kvælstofeffekten grundlæggende kan optimeres ved at styre vandets opholdstid i filtermatricen, når drænvandstemperaturen er givet. Dette kan gøres ved at dimensionere matricevådområdet i forhold til maksimale



iDRÆN – matrice vådområde (www.idraen.dk)

Figur 1. Principskitse af iDRÆN matricevådområde med stuvningsbassin (www.idraen.dk)



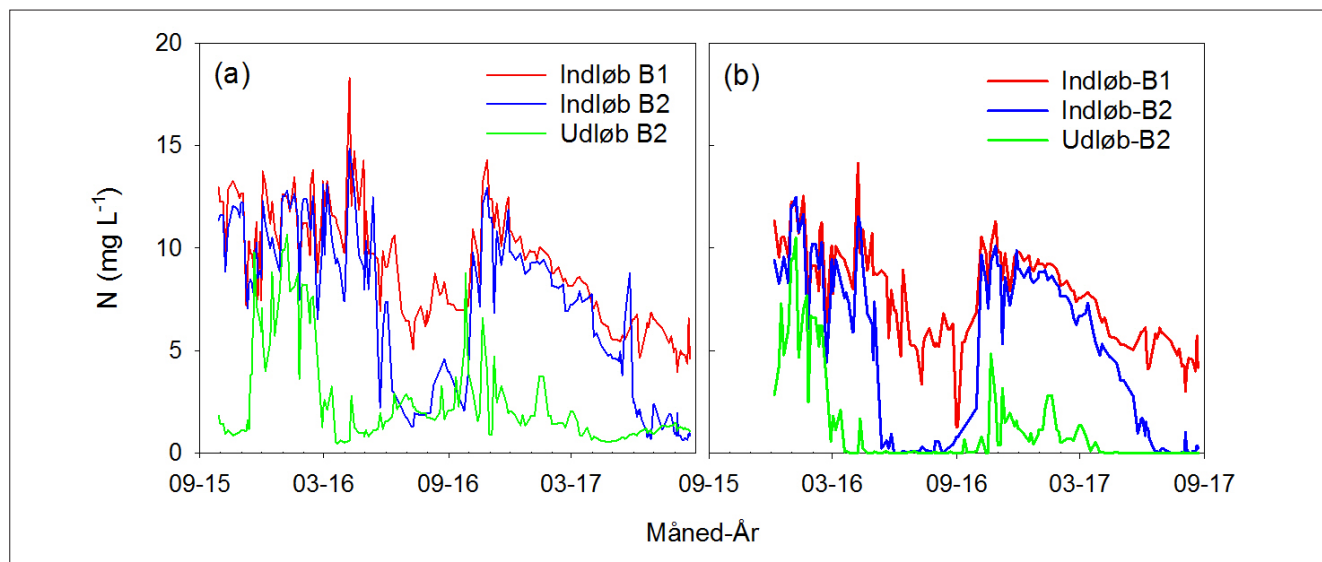
Figur 2. Hydraulisk belastning omregnet til hydraulisk opholdstid (a), samt drænvandstemperatur i indløb til stuvningsbassin (B1, sort) og i udløb fra filtermatrice (B2, rød) (b). Gengivet fra /8/

vandføringsrater, eller alternativt ved at udjævne høje vandføringer (peak flow) ved etablering af et stuvningsbassin. iDRÆN matricevådområdet skulle således teste potentialet for at optimere kvælstofeffekten ved at etablere et stuvningsbassin med variabel vandspejlskote umiddelbart før filtermatricen.

Matricevådområde med stuvningsbassin

I efteråret 2015 blev det første danske matricevådområde med stuvningsbassin etableret i tilknytning til 20 ha drænet landbrugsareal ved Odder i oplandet til Norsminde Fjord. Matricevådområdet består meget simpelt af et stuvningsbassin (B1) etableret umiddelbart før selve filtermatricen (B2) (Fig. 1). De to bassiner er ca. 8 m brede og 31 m lange, og det samlede areal af B1 og B2 er hhv. 280 m² og 220 m². Det samlede vådområde udgør således 0,25 % af drænoplandet på 20 ha, mens selve filtermatricen udgør 0,11 %. Matricen har en aktiv dybde på ca. 1 m, mens stuvningsbassinet har varierende vanddybde. Lokaliteten er karakteriseret ved moræneler, og der er ikke udlagt membran i bassinerne. Vandføringen mellem stuvningsbassin og filtermatrice fungerer i praksis ved en vertikal-horizontale rørføring, hvor den hydrauliske kapacitet øges via et vertikalt stillet perforeret rør, der tillader en vis stigning i vandstanden i stuvningsbassinnet ved høje vandføringer, således at den hydrauliske belastning af matricen stiger i et langsommere tempo og derved udjævnes peak-flow.

Filtermatricen består udelukkende af pileflis, og indløbet til filtermatricen sker via et 8 m langt perforeret PVC rør, der er placeret på tværs af bassinet i toppen af matricen. Rørud-



Figur 3. Drænvandskoncentration af total N (a) og NO₃-N (b) ved indløb til stuvningsbassin (B1), indløb til filtermatrice (B2) samt udløb fra filtermatrice (B2). Gengivet fra /8/

løbet ligger i modsatte ende ca. 30 m fra indløbet og i bunden af den 1 m dybe filtermatrice i et lag af hele muslingeskaller. Vandets strømning gennem matricen bliver således en kombination af horisontal og vertikal-nedstrømning. Den hydrauliske gradient over den 30 m lange filtermatrice er på 25 cm. I udløbet er der etableret en geniltingsbrønd.

I forbindelse med måleprogrammet er anlagt instrumenteret med elektromagnetiske flowmålere både ved indløb til B1 og ved udløb fra B2, nedbørsmålere, vandstandsloggere, temperatursensorer samt automatiske vandprøvetagere ved indløb til B1, udløb fra B1/indløb til B2, samt udløb fra B2. Vandprøverne analyseres for alle N og P fraktioner, sulfat (SO₄²⁻), TOC, suspenderet stof og BI5. I feltet måles in situ ilt, pH, og ledningsevne. Resultaterne er beskrevet i videnskabelig publikation /8/.

Hydraulisk opholdstid og temperatur

Hydraulisk opholdstid (HRT) og drænvandstemperatur (Temp) er dokumenteret som styrende variable for kvælstofreduktionseffektiviteten i matricevådområder /2, 3/. iDRÆN-lokaliteten er karakteriseret ved en betydelig tidlig variation i den hydrauliske belastning af filtermatricen varierende fra ingen tilstrømning i store dele af sommerperioden til hydrauliske belastninger på over 4000 mm pr dag i forbindelse med periodisk høje afstrømnings hændelser. Dette er direkte afspejlet i den hydrauliske opholdstid (HRT) for filtermatricen, der varierer fra et minimum på 3 timer under peak-flow situationer til opholdstider på langt over 100 dage i sommerperioden, hvor drænastrømningen er meget lav eller helt ophører (Fig. 2a). Drænvandstemperaturen i ind- og udløb varierer over året fra

3 til 19°C (Fig. 2b). Udløbstemperaturen er i samme størrelsesorden eller lidt lavere end temperaturen i indløb, hvilket skyldes at organisk materiale virker isolerende. Der er i danske matricevådområder ikke fundet effekter på temperatur ved opholdstider fra få timer til >100 dage i filtermatricen /2, 3, 6/.

Effektiv kvælstofomsætning

Kvælstoftransporten i drænvandet domineres af nitrat-N, der gennemsnitligt udgør 86 % af total N (TN). Målinger viser, at der sker en markant reduktion i koncentrationen af såvel nitrat-N som total N (TN) fra indløb til udløb over hele året (Fig. 3). I det første måleår 2015/16 ses en mere begrænset kvælstofreduktion i vinterperioden, mens kvælstofreduktionen i andet måleår er betydelig over hele året. Vandføringsvægtede indløbskoncentrationer varierer fra 7,8-8,7 mg/L NO₃-N og 8,9-10,0 mg/L TN, mens de tilsvarende udløbskoncentrationer varierer fra 4,0-3,0 mg/L NO₃-N og 5,4-2 mg/L TN for de to måleår.

Stuvningsbassinet bidrager på årsbasis til en begrænset kvælstofreduktion i størrelsesordenen 8-10 %, men i sommermånederne, hvor der er meget lav eller ingen drænastrømning, reduceres udløbskoncentrationen til et minimum på 0-1 mg N/L allerede i stuvningsbassinet.

Årstidsvariation i kvælstofeffekten

Målingerne viser en betydelig årstidsvariation i kvælstoftransporten til matricevådområdet i de to måleår (Fig. 4). Den maksimale kvælstoftransport til matricevådområdet i 2015/16 ses i december, januar og november (Fig. 4a), mens kvælstoftransporten i 2016/17 er meget betydelig i oktober med de første store

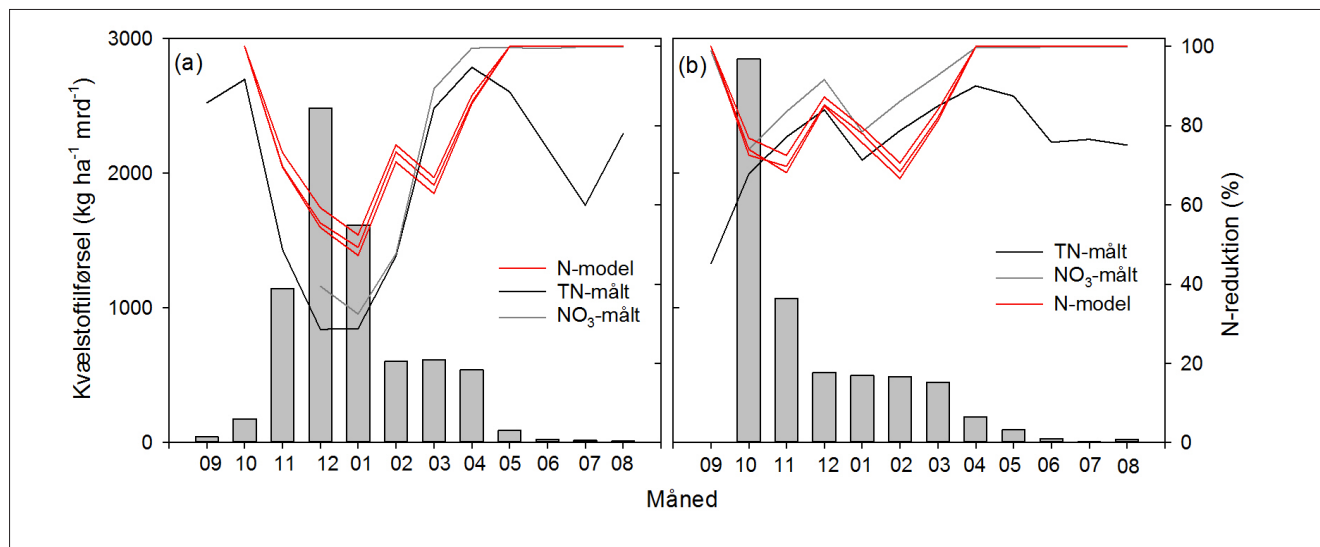
afstrømningshændelser efterfulgt af lavere kvælstoftransport i november og resten af afstrømningsperioden (Fig. 4b). Kvælstoftransporten via drænen i sommer og sensommerperioden juni-september er generelt ikke kvantitativt betydende for den årlige kvælstoftransport for denne morænelokalitet.

På baggrund af målingerne af kvælstoftransporten til og fra matricevådområdet er kvælstofreduktionen for hhv. TN og nitrat-N opgjort for hver enkelt måned (Fig. 4). Kvælstofreduktionen varierer i 2015/16 betydeligt indenfor afstrømningsperioden fra minimum på 28 % i januar stigende til >90 % i såvel oktober som april (Fig. 4a). Reduktionen af TN og nitrat-N følger generelt samme forløb indtil april. I sommerperioden er nitrat-N reduktionen på 100 %, mens den relative TN-reduktion falder som følge af en lille udledning af organisk-N og ammonium-N på et tidspunkt, hvor der er meget lav drænastrømning.

I måleåret 2016/17 er kvælstofreduktionen over hele året mere konstant på 70-90 %. Igen ses 100 % nitrat-N reduktion fra april til september, mens en lille udledning af organisk-N og ammonium-N bidrager til den lavere TN-reduktion. På årsbasis reduceres kvælstoftransporten via drænen for nitrat-N og TN med hhv. 49 % og 46% i 2015/16 og med 82 % og 74% i 2016/17 (Tabel 1).

Model estimeret kvælstofreduktion

På baggrund af SupremeTech modellerne er TN- og nitrat-N reduktionseffektiviteten estimeret på basis af de målte variable hhv. drænvandstemperatur og HRT og opgjort på månedsbasis for de to måleår (Fig. 4). Resultaterne viser, at den model estimerede



Figur 4. Målte kvælstoftransporter til matricevådområdet fordelt på måneder samt måleårene 2015/16 (a) og 2016/17 (b). Optrukne linjer angiver hhv. målte TN og nitrat-N ($\text{NO}_3\text{-N}$) reduktioner som funktion af årstid, samt den model-estimerede kvælstof-reduktionseffektivitet ved anvendelse af SupremeTech modeller. Gengivet fra /8/

månedlige kvælstofreduktionseffektivitet følger forløbet for de faktisk målte kvælstof-reduktioner. Modellerne afviger i første måleår 2015/16 fra de målte reduktioner ved en højere N-reduktion i vintermånederne, og en lavere reduktion i foråret. I måleåret 2016/17 giver modellerne en god estimering af den månedlige kvælstofreduktionseffektivitet. Generelt estimerer modellerne nitrat-N reduktionseffektiviteten meget tilfredsstillende, mens modellerne ikke tager højde for den lille N-udledning i form af organisk-N og ammonium-N, der giver anledning til en relativt lavere TN-reduktionseffektivitet i sommermånederne.

Opgørelse af den målte og modelestimerede kvælstofreduktion fordelt på såvel årstider samt måleår viser, at TN- og Nitrat-N mo-

dellerne i måleåret 2016/17 estimerer kvælstofreduktionen meget tilfredsstillende for alle årstider (undtaget TN for sommerperioden) samt den samlede årlige kvælstofreduktion på 74 vs 75 % TN og på 82 vs 76 % $\text{NO}_3\text{-N}$. De lavere årlige effekter i måleåret 2015/16 skyldes primært lavere HRT som følge af større afstrømningsrater. Den større afvigelse mellem målte og modelestimerede kvælstofreduktioner i 2015/16 kan ikke umiddelbart forklares af de målte variable. En mulig forklaring kan være at den ny-konstruerede filtermatrice i første måleår havde en fejl-konstruktion, der betød en præferentiel strømning til udløbet. Dette vil afspejles i de målte resultater med lavere kvælstofreduktioner, mens modellen ikke kan tage højde for dette. Fejl-konstruktionen blev udbedret i som-

meren 2016, og matrice vådområdet har i afstrømningsåret 2016/17 fungeret optimalt med meget høje kvælstofreduktioner.

Perspektivering

iDRÆN matricevådområdet blev designet og konstrueret som fuldskala matricevådområde på basis af resultater og viden om funktion og effekt fra SupremeTech forskningsanlægget /2, 3, 4, 6, 7/. iDRÆN matricevådområdet er optimeret ved etablering af et stuvningsbassin før indløb i filtermatricen, hvilket har vist sig som en relativ simpel operationel og omkostningseffektiv løsning. Det konkrete matrice-minivådområde udgør med stuvningsbassin 0,25 % af drænoplandet, hvor selve filtermatricen udgør 0,11 %, og reducerer den årlige målte kvælstoftransport i drænen i størrelsesordenen fra 46 til 74 % TN og fra 49 til 82 % nitrat-N.

SupremeTech modellerne har vist sig anvendelige til at estimere månedlige samt årlige kvælstof reduktionseffektiviteter på basis af målte input variable hhv. drænvandstemperatur og hydraulisk opholdstid for en morænelers lokalitet, der adskiller sig væsentligt i afstrømningsregime fra Skannerup lokaliteten /2, 3, 6/. Der er således grundlag for at anvende SupremeTech modellerne mere generelt til at estimere forventede kvælstofreduktioner ved etablering af fremtidige matricevådområder. I forhold til konstruktion af fremtidige matricevådområder er det væsentligt, at stuvningsbassinets kapacitet justeres i henhold til filtermatricens hydrauliske kapacitet.

Matricevådområder er pt ikke godkendt som målrettet drænvirkemiddel, men resultaterne fra såvel SupremeTech (2010-2016) samt

Tabel 1. Målt og model-beregnet nitrat-N og total N (TN) reduktion opdelt på årstid og år for måleårene 2015/16 og 2016/17. Data fra /8/.

Måleår	Periode	Målt	Model	Målt	Model
		$\text{NO}_3\text{-N}$ (%)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (%)	TN (%)	TN (%)
2015/16	Efterår	-	-	56	75
2016/17	Efterår	77	72	70	72
2015/16	Vinter	38	54	31	56
2016/17	Vinter	86	76	78	77
2015/16	Forår	95	75	89	77
2016/17	Forår	95	89	87	89
2015/16	Sommer	100	100	71	100
2016/17	Sommer	100	100	76	100
2015/16	Årlig	49	58	46	63
2016/17	Årlig	82	76	74	75



iDRÆN matricevådområde med måleudstyr (www.idraen.dk). Foto: Charlotte Kjærgaard.

iDRÆN (2011-2017) har sikret et solidt vidensgrundlag for en operationalisering. Resultaterne peger utvetydigt på et stort potentiale, og samtidig er der et stort og akut behov for nye omkostningseffektive virkemidler, der kan sikre balancen mellem produktion af fødevarer og opfyldelse af miljømål.

Referencer

- /1/ Kjærgaard, C., Hoffmann, C.C. 2013. Konstruerede minivådområder til målrettet reduction af næringsstoffer i drænvand. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, samt DCA – Nationalt Center for Jordbrug og Fødevarer, Aarhus Universitet.
- /2/ Kjærgaard, C., Hoffmann, C.C. 2017. Vurdering af kvælstofeffekt, virkemiddelsscenerier og omkostningseffektivitet ved anvendelse af minivådområder med filtermatrice. SupremeTech rapport (www.supremetech.dk).
- /3/ Hoffmann, C.C., Kjærgaard, C. 2017. Nitrogen removal in denitrifying bioreactors with variable hydraulic design targeting agricultural drainage water. Submitted Water Research
- /4/ Bruun, J. D., Hoffmann, C. C., & Kjærgaard, C. 2016. Nitrogen removal in permeable woodchips filters affected by hydraulic loading rate and woodchips ratio. *Journal of Environmental Quality*, 45(5), 1688-1695
- /5/ Bruun J., Pugliese, L., Hoffmann C.C., Kjærgaard C., 2016. Solute transport and nitrate removal in full-scale subsurface flow constructed wetlands of various designs treating agricultural drainage water. *Ecological Engineering* 97: 88-97
- /6/ Hoover, N.L., Bhandari, B., Soupir, M.L., & Moorman, T.B. 2016. Woodchip Denitrification Bioreactors: Impact of Temperature and Hydraulic Retention Time on Nitrate Removal. *Journal of Environmental Quality* 45(3), 803-812.
- /7/ Hoffmann, C.C., Kjærgaard, C. 2017. Kvælstoffjernelse i matricevådområder. *Vand & Jord*, 2017, nr. 3
- /8/ Ørum, J.E., Kjærgaard, C., Thomsen, I.K. 2017. Landbruget og vandområdeplanerne: Omkostninger og implementering af virkemidler i oplandet til Norsminde Fjord. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport nr. 258.
- /9/ Hoffmann, C.C., Kjærgaard, C. 2017. Optimizing nitrogen removal in a full-scale denitrifying bioreactor with a storage pond for hydraulic control. Accepted in Special issue in *Journal of Environmental Quality* 2018.

CARL CHRISTIAN HOFFMANN er seniorforsker ved Inst. for Bioscience, Aarhus Universitet. E-mail: cch@bios.au.dk

CHARLOTTE KJÆRGAARD er PhD og specialkonsulent ved SEGES Miljø, tidligere seniorforsker ved Aarhus Universitet. E-mail: chkj@seges.dk