

Innovationsplatform for Drænvirkemidler

Foreløbig effektopgørelse af anlægsoptimerede minivådområder med overfladestrømning



Rapporten indeholder foreløbige monitoringsresultater og effektopgørelser fra anlægsoptimerede minivådområder med overfladestrømning for perioden februar 2019 til december 2020.

Chefforsker Charlotte Kjærgaard
Plante- og Miljøinnovation, SEGES

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Forord

Rapporten sammenfatter de foreløbige monitoringsresultater og effektopgørelser af anlægsoptimerede minivådområder med overfladestrømning for monitoringsperioden februar 2019 til december 2020. Der er tale om foreløbige resultater og dermed ikke endelige konklusioner på det foreliggende data-grundlag. Monitoring af anlæggene er planlagt til at fortsætte i årene 2021-2023, hvorefter de endelige effektopgørelser og konklusioner kan opgøres.

Udviklingsprojektet er etableret i regi af projektet ”Innovationsplatform for Drænvirkemidler” der har haft fokus på at forbedre kvælstofreduktionseffektiviteten af minivådområder med overfladestrømning. Samtidig har der i projektet ”Håndtering af fosfor under ny fosforregulering” har været fokus på at opnå forbedrede P-effekter, og projekterne har således forløbet parallelt. Begge projekter er finansieret af Promilleafgiftsfonden for Landbrug. Resultaterne for kvælstof (N) og fosfor (P) er publiceret samlet i denne rapport, da monitoringen af begge næringsstoffer fremadrettet fortsætter i regi af nyt projekt. Fosfor-resultaterne udført i regi af projektet ”Håndtering af fosfor under ny fosforregulering” er desuden særskilt afrapporteret i dette projekt.

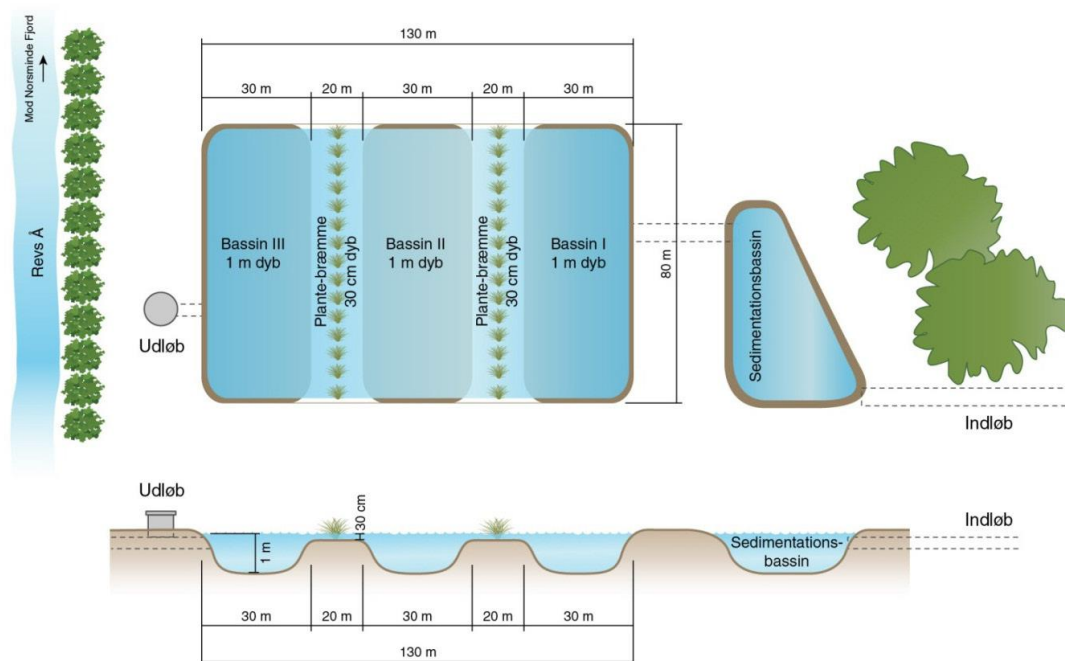
Projektet er gennemført som et samarbejdsprojekt mellem SEGES og Aarhus Universitet Institut for Bioscience (AU-BIOS). AU-BIOS har i projektsamarbejdet været ansvarlig for prøvetagning, drift af monitoringsudstyr, laboratorieanalyse, kvalitetssikring af data samt effektopgørelser. AU-BIOS har af-rapporteret resultater og effektopgørelser i et selvstændigt dokument, der er vedhæftet denne rapport som bilag.

Projektleder Charlotte Kjærgaard
Plante- og Miljøinnovation, SEGES

1. Baggrund

Minivådområder med overfladestrømning etableret på markdræn virker ved at omsætte kvælstof (N) og tilbageholde fosfor (P), og anvendes i dag som et målrettet virkemiddel til reduktion i udledningen af N og P fra drænede arealer.

Minivådområder med overfladestrømning findes i mange udformninger, men fælles for danske minivådområder godkendt under den kollektive ordning (<http://lbst.dk/landbrug/natur-og-miljoe/minivaadomraader/#c48417>) er, at disse er opbygget efter samme princip (Kjærgaard & Hoffmann, 2017). Grundlæggende består et minivådområde af et sedimentationsbassin, samt et efterfølgende vådområde bestående af flere sekvenser af åbne dybe zoner og lavvandede vegetationszoner (Figur 1). Den samlede vandoverflade skal som minimum være 1% af drænoplanet, så der opnås en tilstrækkelig hydraulisk opholdstid (HRT) til at processerne er effektive.



Figur 1. Principskitse af minivådområde med overfladestrømning bestående af sedimentationsbassin samt et vådområde med sekvenser af åbne dybe (~1 m) og lavvandede (~0.3 m) vegetationszoner. Principskitsen er gengivet fra Kjærgaard & Hoffmann, 2017.

I minivådområder foregår kvælstoffjernelsen primært ved biologisk omdannelse af nitrat-N til gasformigt kvælstof (N_2) via denitrifikation. Denitrifikation er en mikrobiel respirationsproces, der forudsætter iltfrie forhold samt en let omsættelig kulstofkilde. I minivådområder foregår denitrifikationen i det anaerobe bundsediment, mens selve vandfasen er iltet. Plantebaserede minivådområder bidrager til at facilitere den mikrobielle denitrifikation, da planterne ved henfald leverer kulstof og dermed energi til bakterierne.

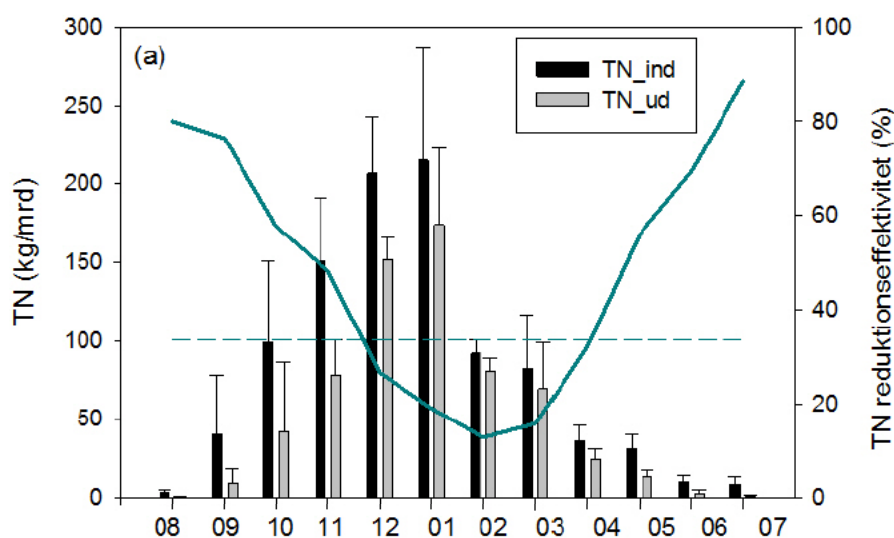
Fosfor tilbageholdes i minivådområder ved fysiske, kemiske/biogeokemiske og biologiske processer (Figur 2) i form af sedimentation af partikulært P, adsorption, fældning og/eller biomasse optag af

opløst fosfat (Kjærgaard, 2015, Mendes et al., 2018a,b). Netto sedimentation, adsorption og fældning regnes som retentionsprocesser, mens biologisk biomasseoptag generelt regnes som en temporær pulje, hvor P-frigives igen efter henfald af plantebiomasse.

1.1 Resultater fra danske minivådområder

Resultater fra 14 danske minivådområder med overfladestrømning og effektmålinger i perioden 2013-2017 viser gennemsnitlige målte total N (TN) reduktioner på 25%, men med betydelige årsvariationer bestemt af de klimatiske forhold (Kjærgaard et al., 2017a,b; Eriksen et al. 2020). Tilsvarende viser resultaterne en gennemsnitlig total P (TP) retentionseffektivitet på 45% med variationsinterval på 26-76% mellem minivådområder og årsvariationer (Kjærgaard et al., 2017a,b; Eriksen et al. 2020).

Kvælstofreduktionseffektiviteten er yderligere årstidsafhængig og bestemt af temperatur og hydraulisk opholdstid (HRT), og dermed årstidsvariationen i drænafstrømning. Kvælstofreduktionseffektiviteten er således høj i forår, sommer og efterår, men begrænset i vinterhalvåret ved lave temperaturer (Kjærgaard et al., 2017b). Dette er illustreret for minivådområdet Fillerup (Figur 2). Grundlæggende er den årlige N-reduktionseffektivitet således bestemt af årstidsvariationen i drænafstrømning og i særdeleshed årstidsvariationen i kvælstoftransport via drænen. Da langt størstedelen af kvælstoftransporten i markdrænen typisk forekommer i perioden oktober til marts vil den årlige N-reduktionseffektivitet være begrænset af de lavere temperaturer i denne periode. Dette er eksemplificeret for minivådområdet Fillerup (Figur 2).



Figur 2. Illustration af årstidsvariationen i N-reduktionseffektivitet i procent (blå linje) og i absolut TN-reduktion per måned (forskellen i TN_ind og TN_ud søjlerne). Resultaterne er vist for minivådområdet Fillerup som gennemsnit over fire måleår (2013-2017). Den stiplede linje angiver den gennemsnitlige årlige TN-reduktion for de fire måleår. Figuren er gengivet fra Kjærgaard et al., 2017b.

1.2 Hypotese

Da minivådområders N-reduktionseffektivitet i vintermånederne, hvor den primære drænafstrømning forekommer, er begrænset af især lave temperaturer kombineret med kortere HRT, er der et behov for

at undersøge muligheden for at optimere N-reduktionseffektiviteten i minivådområder med overfladestrømning. Det antages at kvælstoffjernelsen ved denitrifikation foregår i det reducerede bundsediment, og at N-reduktionseffektiviteten i vinterhalvåret således er begrænset af den vertikale opblanding samt den diffusive udveksling af nitrat-N mellem vandfase og sediment. Det antages med dette udgangspunkt, at en tilledning af drænvand direkte til sedimentoverfladen og dermed forbedret kontakt mellem nitrat-N og sedimentfasen vil bevirke en øget N-reduktionseffektivitet, som alternativ til den nuværende situation hvor drænvandet ledes ind i den øvre del af vandsøjlen.

Det er velkendt fra vådområdeprojekter at infiltration og transport af nitrat-N igennem vådområdesedimentet bevirker N-reduktionseffektivitet i størrelsesorden 50-100%, mens overfladisk transport har mere begrænset effektivitet (Petersen et al., 2020). Det antages således at en direkte tilledning af nitrat-N til sedimentoverfladen vil kunne øge N-reduktionseffektiviteten i minivådområder fra nuværende gennemsnitlige 25% med overfladestrømning til potentielt 50% ved direkte kontakt til sedimentfasen.

2. Projektets formål

Projektet har til formål at teste hypotesen om at N-reduktionseffektiviteten kan øges ved at lede drænvandet direkte til sedimentoverfladen. Til at teste denne hypotese blev der udvalgt to eksisterende minivådområder med overfladestrømning (fremover benævnt minivådområder), hvor der allerede findes monitoringsdata på virkemiddelseffekten hhv. Fillerup (etableret 2017) med gennemsnitlig høj N-reduktionseffektivitet, og Fensholt (etableret 2015) med gennemsnitlig lavere N-reduktionseffektivitet (Kjærgaard et al., 2017a).

2.1 Minivådområdet Fillerup

Minivådområdet blev etableret i 2010 i oplandet til Norsminde Fjord, som et demonstrationsprojekt under Landdistriktsprogrammet (Figur 3). Minivådområdet er etableret i en lavning i kanten af marken, hvor drænvandet passivt strømmer fra marken via minivådområdet inden udløb i Odder Å (Kjærgaard et al., 2017a). Minivådområdet er etableret på egnet areal og med kvælstofeffekt på udledningen (Kjærgaard et al., 2017c, Kjærgaard & Børgesen, 2017).



Figur 3. Dronefoto af minivådområdet Fillerup. Foto: SEGES

Minivådområdet på 0,298 ha modtager drænvand fra et drænet landbrugsareal på 38 ha. Minivådområdet udgør 0,78% af drænoplanet, og er således underdimensioneret i forhold til nuværende krav om minimum 1% af drænoplansarealet (Kjærgaard & Hoffmann, 2017).

For måleperioden 2013-2017 reducerer minivådområdet det årlige gennemsnitlige kvælstoftab i dræn fra 26,8 til 18,9 kg N/ha landbrugsareal. Den gennemsnitlige vandføringsvægtede kvælstofkoncentration reduceres fra 10,5 til 7,6 mg/L. Gennemsnitligt har minivådområdet en N-effekt på 1.007 kg N/ha og reducerer kvælstoftabet fra dræn med 28% af tilført N. Dette gennemsnit dækker dog over store årlige variationer fra 15-42% i perioden 2013-2017 (Kjærgaard et al., 2017a). For måleperioden 2013-2017 reducerer minivådområdet Fillerup kvælstofudledningen til Norsminde Fjord med 740 kg-N/ha. Dette

er højere end den estimerede effekt på 570 kg-N/ha, hvilket skyldes en højere gennemsnitlig N-reduktions effektivitet for dette minivådområde (Kjærgaard et al., 2020).

2.2 Design optimering

I november 2018 blev minivådområdets anlægsdesign ændret. Før ændringen løb drænvandet via sedimentationsbassinet over en fysisk bræmme og ind i den øvre del af vandsøjlen i det første dybe bassin. Ved ændring af anlægsdesignet blev der lavet en spærring mellem sedimentationsbassinet og det første dybe bassin. I stedet for det passive overløb via bræmmen, blev drænvandet fra sedimentationsbassinet i stedet opsamlet i to lukkede drænrør og transporteret til bunden af det første dybe bassin. Her blev drænvandet fordelt via 9 perforerede fordelerør lukket i enden (Figur 4a). Fordelerørerne blev placeret i direkte kontakt med det kulstofholdige bundsediment (Figur 4b), og vandsøjlen blev efterfølgende hævet til 1 m. Designet sikrer således at drænvandet udledes i tæt kontakt med det kulstofholdige bundsediment.



Figur 4. Fotos af Fillerup minivådområdet med (a) fordelerør placeret ved sedimentbunden i det første dybe bassin, og (b) foto der viser det kulstofholdige akkumulerede bundsediment. Fotos: Charlotte Kjærgaard.

2.3 Instrumentering, monitoring og analyse

Instrumenteringen af minivådområdet omfatter nedbørsmålere, elektromagnetisk flow-måler i dræninløb til minivådområdet, ISCO-prøvetager til automatisk vandprøvetagning ved indløb (Ind), efter første dybe-bassin (Midt) og i udløb (Ud). ISCO-prøvetagningen omfattede udtagning af delpøver hver time, hvor time-prøverne puljes til døgnprøver.

Monitoringen er igangsat i foråret 2019 jf. samarbejdsaftale mellem SEGES og Institut for Bioscience Aarhus Universitet. Flow-målinger og næringsstofmålinger før ændring af anlægsdesign er gennemført i regi af et tidligere projekt. Prøvetagning, analyser og kvalitetssikring af data er foretaget af Institut for Bioscience Aarhus Universitet. Prøvetagningen blev udført hver 3. uge og omfattede logning af nedbørs- og flow-data, tømning af ISCO-prøvetagere samt udtagning af manuelle punktprøver herunder måling af basis vandparametre. Analyserne omfatter total N (TN) og total P (TP) på ISCO-prøverne, samt N-specier ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, N-org) og P-specier (opløst reaktivt P /SRP/ $\text{PO}_4\text{-P}$), ufiltreret- og filtreret-TP hvoraf partikulært P (PP) her blev estimeret som TP-ufilt.- TP-filt.) på punktprøver.

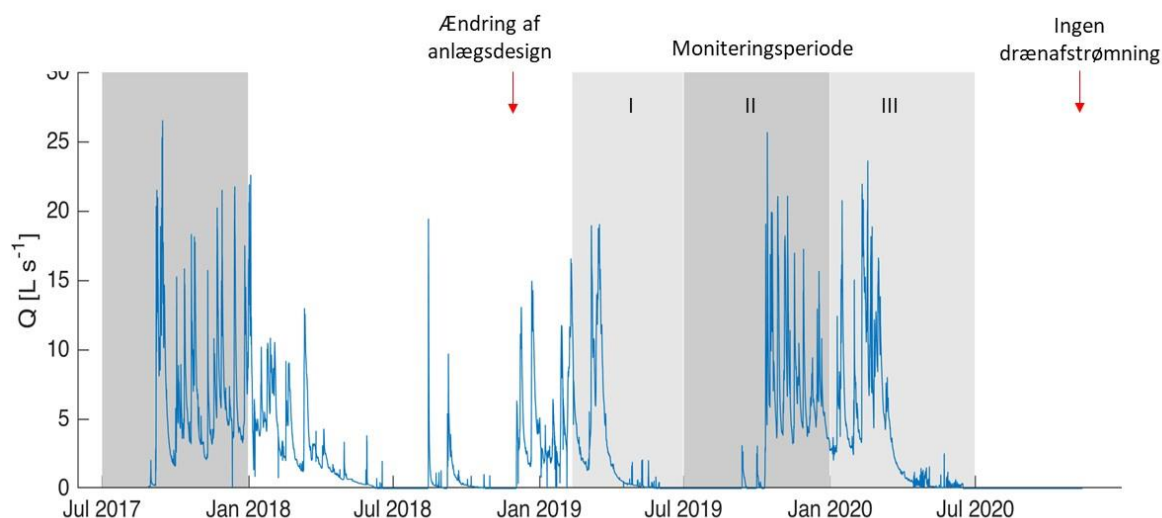
2.4 Resultater

I dette afsnit henvises til data og resultater beskrevet i den selvstændige monitoringsrapport af Hoffmann & Petersen, 2020, hvor resultaterne afrapporteres. Rapporten med alle data findes i Bilag 1.

2.4.1 Drænafstrømning

Dræntilstrømningen (Q) til minivådområdet er vist i Figur 5 for perioden juli 2017 til juli 2020. Monitoringsperioden for projektet er markeret med grå felter i perioden februar 2019 til juli 2020. Monitoringen i 2017 er gennemført i regi af tidligere projekt, men medtages for sammenligning. Der har ikke været muligt at foretage monitoring af næringsstoffer i 2. halvår 2020, da der medio december ganske usædvanligt endnu ikke var drænafstrømning.

Generelt er drænafstrømningen karakteriseret ved betydelige årstids- og års-variation, der er kendetegnet for såvel dette minivådområde samt for morænelers lokaliteter generelt (Kjærgaard et al., 2017a,b). Drænafstrømningsperioden for 2. halvår 2020 er klimatisk meget atypisk, da der medio december 2020 endnu ikke er observeret målbar drænafstrømning på lokaliteten.



Figur 5. Dræntilstrømning (Q) til Fillerup minivådområdet (L/s). Grå felter fra februar 2019 til juli 2020 viser monitoringsperioden for projektet. Figuren er gengivet fra Hoffmann & Petersen (2020) (Bilag 1).

2.4.2 Kvælstofeffekt

Kvælstofeffekten opdelt på afstrømningsperioder er vist i Tabel 1. I halvåret 07/17-12/17 forud for anlægsoptimeringen er kvælstoftransporten for 2. halvår 2017 meget betydelig og i overensstemmelse med den høje hydrauliske belastning. Kvælstofreduktionseffektiviteten i 2. halvår 2017 er høj (26%) svarende til en absolut reduktion på 167 kg-N og en direkte minivådområdeeffekt på 560 kg-N/ha.

I monitoringsperioden efter anlægsoptimering af minivådområdet er minivådområdets kvælstofeffekt væsentligt reduceret (Tabel 1). I den korte monitoringsperiode (efter monitoringsopstart) 1. halvår 2019 er kvælstoftransporten meget lav og der ses meget begrænset N-reduktion. I 2. halvår 2019 er kvælstoftransporten via dræn på niveau med 2. halvår 2017, men N-reduktionseffektiviteten er halveret, mens en lidt højere N-reduktionseffektivitet ses for foråret 2020.

Den begrænsede monitoringsperiode, hvor det har været muligt at indsamle data (1½ år – da der ikke var drænaftstrømning i efteråret 2020) giver ikke et tilstrækkeligt grundlag til at tolke på kvælstofeffekten efter anlægsoptimering. Den væsentlig lavere kvælstofeffekt i afstrømningsperioden 2019/2020 er på niveau med tidligere observerede årlig N-reduktionseffektivitet på 15% for Fillerup i afstrømningsåret 2016/17 (Kjærgaard et al., 2017a). Her var den lave effekt direkte korreleret med en lavere temperatur i drænaftstrømningsperioden. Dette vil kræve en nærmere analyse, men først og fremmest er der behov for et mere substantielt datagrundlag i form af flere års målinger.

Ses på N-specie fordelingen fra udtagne punktprøver ses at N-drænvandstilførslen til minivådområdet er domineret af NO₃-N (87-93%), mens organisk-N udgør restfraktionen (6,3-11,3%). Minivådområdet har en netto-retention af såvel NO₃-N samt organisk-N, mens der er en lille frigivelse/udledning af NH₄-N svarende til 0,6-2,3 kg/halvår (Hoffmann & Petersen, 2020).

Tabel 1. Total kvælstof(TN)transport og reduktion i Fillerup-minivådområdet#. Perioden 07/17-12/17 er resultater fra tidligere projekt og før design-optimering af minivådområdet.

Monitoringsperiode	TN-dræn Kg/ha	TN-indløb Kg	TN-udløb Kg	TN-reduktion Kg	TN-reduktion Kg/ha	TN-red %
07/17-12/17	16,9	642	475	167	560	26
02/19-06/19	5,4	206	193	13	44	6,3
07/19-12/19	18,9	717	631	86	289	12
01/20-06/20	11,5	438	367	70	235	16

Data er fra monitoringsrapporten Hoffmann & Petersen, 2020

2.4.3 Fosforeffekt

Fosforeffekten opdelt i afstrømningsperioder er vist i Tabel 2. I halvåret 07/17-12/17 forud for design-optimeringen er TP-retentionseffektiviteten på 47% og svarer til en reduktion på 5,3 kg-P og en minivådområdeeffekt på 17,8 kg-P/ha.

I monitoringsperioden efter anlægsoptimering af minivådområdet øges minivådområdets TP-effekt i de efterfølgende to halvår (Tabel 2). I den korte monitoringsperiode (efter monitoringsopstart) 1. halvår 2019 er TP-transporten meget lav og således også den absolutte TP-retention, mens den relative TP-retention er høj (60%). I 2. halvår 2019 er TP transporten på niveau med 2017, mens TP-retentionseffektiviteten er forøget til 55%. I 1. halvår 2020 ses derimod en lille netto udledning af TP fra minivådområdet. Data af P-specie-fordelingen indikerer at netto-udledning for denne periode skyldes frigivelse og netto-udledning af partikulært mineralsk og/eller organisk-PP.

Tabel 2. Total-P transport og retention i Fillerup-minivådområdet#. Perioden 07/17-12/17 er resultater fra tidligere projekt og før design-optimering af minivådområdet.

Monitoringsperiode	TP-dræn Kg/ha	TP-indløb Kg	TP-udløb Kg	TP-retention Kg	TP-retention Kg/ha	TP-retention %
07/17-12/17	0,297	11,3	5,98	5,3	17,8	47
02/19-06/19	0,04	1,67	0,670	1,0	3,36	60
07/19-12/19	0,211	8,0	3,6	4,4	14,8	55
01/20-06/20				-0,3	-1,0	-3,6

Data er fra monitoringsrapporten Hoffmann & Petersen, 2020

Den begrænsede monitoringsperiode hvor det har været muligt at indsamle data (1½ år – da der ikke var drænafstrømning i efteråret 2020) giver ikke et tilstrækkeligt grundlag til at konkludere endeligt på TP-effekten efter anlægsoptimering. Det er usikkert hvad der betinger netto-frigivelsen af PP i 1. halvår 2020, og den videre monitoring vil belyse om der er tale om enkeltstående hændelser fx forstyrrelser af bundsedimentet, eller om det er tale om systematiske effekter. Opløst reaktivt $\text{PO}_4\text{-P}$ udgør den dominerende P-fraktion i drænvandstilførslen i 2. halvår 2017 og 1. halvår 2019 (70-76%), men kun 45% i 2. halvår 2019.

3. Minivådområdet Fensholt

Minivådområdet blev etableret i 2015 i oplandet til Norsminde Fjord i regi af GUDP-projektet iDR/EN (Figur 6). Minivådområdet er etableret på hældende terræn og er i modsætning til de øvrige danske minivådområder etableret under Miljøteknologi-ordningen (Kjærgaard et al., 2017a) etableret med vand-spejl i tre koter. Drænvandet strømmer passivt fra marken via minivådområdet inden udløb i Stampe-møllebæk. Minivådområdet er etableret på egnet areal med kvælstofeffekt på udledningen (Kjærgaard et al., 2017c, Kjærgaard & Børgesen, 2017).



Figur 6. Dronefoto af minivådområdet Fensholt. Foto SEGES

Minivådområdet på 0,245 ha modtager drænvand fra et drænet landbrugsareal på 33 ha. Minivådområdet udgør 0,74% af drænoplandet, og er således underdimensioneret i forhold til nuværende krav om minimum 1% (Kjærgaard & Hoffmann, 2017).

For måleperioden 2015-2017 reducerer minivådområdet det årlige gennemsnitlige kvælstoftab i dræn fra 31,1 til 26,2 kg N/ha landbrugsareal. Den gennemsnitlige vandføringsvægtede kvælstofkoncentration reduceres fra 10,3 til 8,6 mg/L (Kjærgaard et al., 2017a). Gennemsnitligt har minivådområdet en N-effekt på 646 kg N/ha og reducerer kvælstoftabet fra drænen med 16% af tilført N. Minivådområdet Fensholt reducerer kvælstofudledningen til Norsminde Fjord med 475 kg-N/ha, hvilket er lavere end den estimerede effekt på 666 kg-N/ha (Kjærgaard et al., 2020). N-reduktionseffektiviteten baseret på to års målinger af det nyetablerede minivådområde viser en lavere effektivitet end det nationale gennemsnit på 25%. En mulig forklaring på den lavere effekt af det to år gamle minivådområde kan være at vegetationen efter to år stadig ikke var etableret i vegetationszonerne, og med et minivådområde udgravet i råler var forudsætningerne for denitrifikation i de første måle-år efter etablering ikke optimale.

For måleperioden 2015-2017 reducerer minivådområdet det årlige gennemsnitlige P-tab i dræn fra 0,883 til 0,616 kg P/ha landbrugsareal. Den gennemsnitlige vandføringsvægtede TP-koncentration

reduceres fra 0,289 til 0,184 mg/L. Gennemsnitligt har minivådområdet en P-effekt på 36 kg P/ha og tilbageholder 35% af tilført P (Kjærgaard et al., 2017a).

3.1 Anlægsoptimering

I november 2018 blev minivådområdets anlægsdesign ændret. Før ændringen løb drænvandet via sedimentationsbassinet over en fysisk bræmme og ind i den øvre del af vandsøjlen i det første dybe bassin. Ved ændring af anlægsdesignet blev drænvandet fra sedimentationsbassinet i stedet opsamlet i to lukkede drænrør og transporteret til bunden af det første dybe bassin. Her blev drænvandet fordelt ud i vandsøjlen via 9 perforerede fordelerør lukket i enden. Fordelerørene blev placeret i direkte kontakt med bundsedimentet og vandsøjlen blev efterfølgende hævet til 1 m (Figur 7). Designet sikrer således at drænvandet altid vil udledes til vandsøjlen i tæt kontakt med bundsedimentet.



Figur 7. Foto af Fensholt minivådområdet med fordelerør placeret ved sedimentbunden i det første dybe bassin. På fotoet skimtes fordelerørene ved sedimentbunden efter vandstanden er hævet. Foto: Charlotte Kjærgaard.

3.2 Instrumentering, monitoring og analyse

Instrumenteringen af minivådområdet omfatter nedbørsmåler, elektromagnetisk flow-måler i dræninløb til minivådområdet, ISCO-prøvetager til automatisk vandprøvetagning ved indløb (Ind), efter første dybe-bassin (Midt) og i udløb (Ud). ISCO-prøvetagningen omfattede udtagning af delprøver hver time, hvor time-prøverne puljes til døgnprøver.

Monitoringen er igangsat i foråret 2019 i regi af Innovationsplatform for Drænvirkemidler jf. samarbejdsaftale mellem SEGES og Institut for Bioscience Aarhus Universitet. Flow-målinger og næringsstofmålinger før design-ændringen er gennemført i regi af et tidligere projekt. Prøvetagning, analyser og kvalitetssikring af data er foretaget af Institut for Bioscience Aarhus Universitet. Prøvetagningen blev udført hver 3. uge og omfattede logning af nedbørs- og flow-data, tømning af ISCO-prøvetagere samt udtagning af manuelle punktprøver.

Laboratorieanalyserne omfatter total N (TN) og total P (TP) på ISCO-prøverne, samt N- ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, N-org) og P-specier (SRP ($\text{PO}_4\text{-P}$), ufiltreret-TP og filtreret-TP hvoraf partikulært P (PP) blev estimeret som TP-ufilt.- TP-filt.) på manuelle punktprøver.

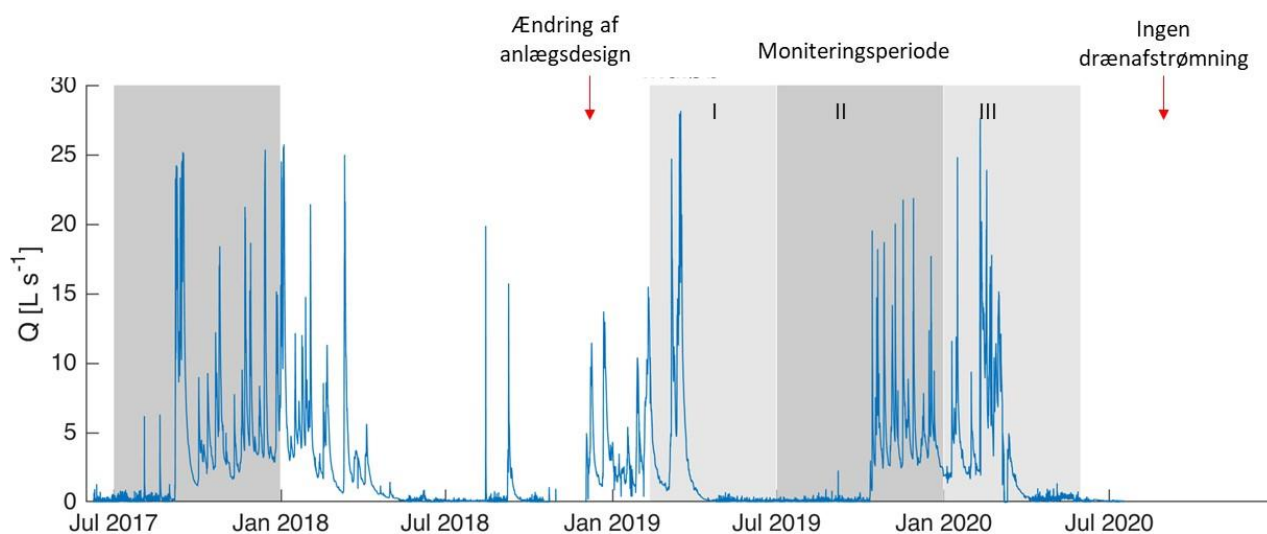
3.3 Resultater

I dette afsnit henvises til data og resultater beskrevet i den selvstændige rapport af Hoffmann & Petersen, 2020, hvor monitoringsresultaterne afrapporteres. Rapporten med alle data findes i Bilag 1.

3.3.1 Drænafstrømning

Dræntilstrømningen (Q) til minivådområdet er vist i Figur 8 for perioden juli 2017 til juli 2020. Monitoringsperioden for projektet er markeret med grå felter i perioden februar 2019 til juli 2020. Monitoringen i 2017 er gennemført i regi af tidligere projekt, men medtages for sammenligning. Der har ikke været muligt at foretage monitoring af næringsstoffer i 2. halvår 2020, da der medio december ganske usædvanligt endnu ikke var afstrømning fra drænene.

Drænafstrømningen er karakteriseret ved betydelige årstids- og års-variation, der er kendetegnet for såvel dette minivådområde samt for morænelerslokaliteter generelt (Kjærgaard et al., 2017a,b). Drænafstrømningsperioden for 2. halvår 2020 er meget atypisk, da der medio december 2020 stadig ikke er observeret målbar drænafstrømning på lokaliteten.



Figur 8. Dræntilstrømning (Q) til Fensholt minivådområdet (L/s). Grå felter fra februar 2019 til juli 2020 viser monitoringsperioden for projektet. Figuren er gengivet fra Hoffmann & Petersen (2020) (Bilag 1).

3.3.2 Kvælstofeffekt

Kvælstofeffekten opdelt i afstrømningsperioder er vist i Tabel 3. I halvåret 07/17-12/17 forud for anlægs-optimeringen er kvælstoftransporten for 2. halvår 2017 høj i overensstemmelse med den høje hydrauliske belastning. Kvælstofreduktionseffektiviteten er på 19% svarende til en reduktion på 107 kg-N og en direkte minivådområdeeffekt på 437 kg-N/ha.

I monitoringsperioden efter anlægsoptimering af minivådområdet er minivådområdets kvælstofeffekt lavere eller på samme niveau (Tabel 3). I den korte monitoringsperiode (efter monitoringsopstart) 1. halvår 2019 er kvælstoftransporten væsentligt lavere og der ses en moderat N-reduktion. I 2. halvår 2019 er kvælstoftransporten via dræn på niveau med 2. halvår 2017, men N-reduktionseffektiviteten er reduceret, mens den i 1. halvår 2020 igen er på 19%.

Den begrænsede monitoringsperiode hvor det har været muligt at indsamle data (1½ år – da der ikke var drænaftstrømning i 2. halvår 2020) giver ikke et tilstrækkeligt grundlag til at tolke på kvælstofeffekten efter anlægsoptimering. Kvælstofeffektiviteten (16%) for afstrømningsperioden 2019/2020 er på niveau med den gennemsnitlige kvælstofeffekt i måleårene 2015-2017 (Kjærgaard et al., 2017a).

Ses på N-specie fordelingen fra udtagne punktprøver ses at N-drænvandstilførslen til minivådområdet er domineret af NO₃-N (91-92%). Minivådområdet har en netto-retention af TN og NO₃-N mens der er tendens til en mindre frigivelse/udledning af NH₄-N og organisk-N (Hoffmann & Petersen, 2020).

Tabel 3. Total kvælstof (TN) transport og reduktion i Fensholt-minivådområdet#. Perioden 07/17-12/17 er resultater fra tidligere projekt og før design-optimering af minivådområdet.

Monitorings- periode	TN-dræn Kg/ha	TN-indløb Kg	TN-udløb Kg	TN-reduktion Kg	TN-reduktion Kg/ha	TN-red %
07/17-12/17	17,1	563	456	107	437	19
02/19-06/19	10,5	347	295	52	212	15
07/19-12/19	18,6	615	535	80	327	13
01/20-06/20	12,3	405	328	77	314	19

Data er fra monitoringsrapporten Hoffmann & Petersen, 2020

3.3.3 Fosforeffekt

Fosforeffekten opdelt i afstrømningsperioder er vist i Tabel 4. I halvåret 07/17-12/17 forud for anlægsoptimeringen er P-transporten for 2. halvår 2017 generelt høj. TP-retentionen er på 36% svarende til en reduktion på 7,8 kg-P og en minivådområdeeffekt på 31,8 kg-P/ha.

I monitoringsperioden efter anlægsoptimering af minivådområdet øges minivådområdets TP-effekt (Tabel 4). I den korte monitoringsperiode (efter monitoringsopstart) 1. halvår 2019 er TP-transporten lav og således også den absolutte TP-retention, mens den relative TP-retention er øget. I 2. halvår 2019 og 1. halvår 2020 er TP-transporten hhv. lavere og højere end i 2017, mens TP-retentionseffektiviteten øges til hhv. 43 og 62%.

Tabel 2. Total-P transport og retention i Fensholt-minivådområdet#. Perioden 07/17-12/17 er resultater fra tidligere projekt og før design-optimering af minivådområdet.

Monitorings- periode	TP-dræn Kg/ha	TP-indløb Kg	TP-udløb Kg	TP-retention Kg	TP-retention Kg/ha	TP-retention %
07/17-12/17	0,658	21,7	13,9	7,8	31,8	36
02/19-06/19	0,152	5,0	3,0	2,0	8,16	40
07/19-12/19	0,430	14,2	8,1	6,1	24,9	43
01/20-06/20	0,903	29,8	16,8	13	53,1	62

Data er fra monitoringsrapporten Hoffmann & Petersen, 2020

Den begrænsede monitoringsperiode hvor det har været muligt at indsamle data (1½ år – da der ikke var drænafstrømning i efteråret 2020) giver ikke et tilstrækkeligt grundlag til at konkludere endeligt på TP-effekten efter anlægsoptimering, men resultaterne indikerer at der kan være en positiv effekt på TP-retentionen. Opløst reaktivt $\text{PO}_4\text{-P}$ udgør markant den dominerende P-fraktion i drænvandstilførslen med 65-89% af TP, bortset fra 1. halvår 2020 hvor $\text{PO}_4\text{-P}$ kun udgør 38% af TP i drænindløb. Speciefordelingen af P kan have betydning for forskellen i netto TP-retention.

4. Foreløbig konklusion og perspektiver

Den begrænsede monitoringsperiode hvor det har været muligt at indsamle data fra opstart af monitoring i februar 2019 til juli 2020 – grundet manglende drænafstrømning i 2. halvår 2020, giver ikke et tilstrækkeligt grundlag til at konkludere endeligt på effekten af ændret anlægsdesign. Eksisterende tidsseriedata viser, at årlige udsving i N-reduktionseffektiviteten varierer fra 15-42% for Fillerup (2013-2017) og 14-18% for Fensholt (2015-2017) (Kjærgaard et al., 2017a), og resultaterne fra 2019/2020 ligger således indenfor dette spænd omend i den lave ende for Fillerup og den høje ende for Fensholt. Ændringen i anlægsdesign har således ikke bidraget til at øge effektiviteten i 2019/2020, hvis andre faktorer fx temperatur er begrænsende faktorer, men der kræves en længere måleperiode for at konkludere endeligt. Der er dog oplagt potentiale for allerede nu at lave en forbedring af konstruktionen, der vil kunne fremme en højere effekt, og dette anbefales at afprøve i den kommende monitoringsperiode.

I forhold til P-effekten så er monitoringsperioden ligeledes for kort til at konkludere på effekten af ændret anlægsdesign. P-retentionen målt i projektperioden 2019/2020 er indenfor det variationsinterval i den årlige P-retention på 20-74% der i perioden 2013-2017 er målt for Fillerup, og de 14-56% der i 2015-2017 er målt for Fensholt (Kjærgaard et al., 2017a). Den negative P-balance i 1. halvår 2020, der er resultatet af en netto-frigivelse af partikulært-P er ikke set tidligere i den samlede monitoringsperiode 2013-2020, og kan ikke umiddelbart forklares. Den fortsatte monitoring vil vise, om der kan være tale om enkeltstående hændelser fx som følge af forstyrrelser i minivådområdet, og derudover kvalificere effekten af ændret anlægsdesign. P-retentionseffektiviteten af minivådområder er generelt høj, men såvel langtidseffekter samt muligheden for at optimere P-retentionen bør være fokus for de fortsatte undersøgelser.

5. Referencer

- Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. DCA rapport nr. 174. <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>
- Kjærgaard, C., Hoffmann, C.C. 2017. Retningslinjer for etablering af konstruerede minivådområder med overfladestrømning. Design manual. DCA – Nationalt Center for Jordbrug og Fødevarer, Aarhus Universitet, 14s, nr. 2017-760-000069, 9. marts 2017.
- Kjærgaard, C., Iversen, B.V., Hoffmann, C.C. 2017a. Virkemiddelseffekter af konstruerede minivådområder med overfladestrømning målrettet drænvand. Afrapportering af resultater fra danske minivådområder i regi af GUDP-projektet iDRÆN (2011-2017). Aarhus Universitet. Rapport til Miljø- og Fødevarerministeriet, Maj 2017.
- Kjærgaard, C., Hoffmann, C.C., Gertz, F. & Iversen, B.V. 2017b. Minivådområder – et nyt kollektivt virkemiddel. I: Filtre i Landskabet. Vand & Jord, 2017-3:84-88.
- Kjærgaard, C., Bach, E.O., Greve, M.H., Iversen, B.V., Børgesen, C.D. 2017c. Kortlægning af potentielle områder til etablering af konstruerede minivådområder. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 15 s, 19. Maj 2017.

Kjærgaard, C. & Børgesen, C.D. 2017. Udarbejdelse af minivådområdeeffekt (kg N pr ha minivådområde) på ID15-oplandsniveau. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 16s, nr. 2017-760-000042, 7. april 2017.

Kjærgaard, C., Pennington, P., Filsø, S.S., Thostrup, L.K. 2020. Bliv klogere på minivådområder – effekt og erfaringer fra de første danske minivådområder. Landbrug & Fødevarer F.m.b.A, SEGES, Agro Food Park 15, Aarhus

Mendes, L.R.D., Tonderski, K., Iversen, B.V., Kjaergaard, C. 2018a. Phosphorus retention in surface-flow constructed wetlands targeting agricultural drainage water. *Ecological Engineering* 120:94-103.

Mendes, L.R.D., Tonderski, K., Kjaergaard, C. 2018b. Phosphorus accumulation and stability in sediments of surface-flow constructed wetlands. *Geoderma* 331:109-120.

Petersen, R.J., Prinds, C., Jessen, S., Iversen, B.V., Kjaergaard, C. 2000. Riparian lowlands in clay till landscapes part II: Nitrogen reduction and release along variable flow paths. *Water Resources Research* 56, e2019WR025810. <https://doi.org/10.1029/2019WR025810>

Årsrapport – Minivådområder med overfladestrømning.

Carl Christian Hoffmann og Rasmus Jes Petersen, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet

Projektet "Håndtering af fosfor under ny fosforregulering" er finansieret af Promilleafgiftsfonden for landbrug.

Projektansvarlig for delprojekt om P-retention i design-optimerede minivådområder Chef forsker
Charlotte Kjærgaard, SEGES.

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Indledning

Året 2020 har været lidt usædvanligt for begge de undersøgte minivådområder, idet der ikke har været drænafstrømning i efteråret 2020 frem til medio december (formentlig længere).

Det er valgt at vise de foreløbige målinger for begge de undersøgte minivådområder ved Fillerup og Fensholt (kaldet Vesterskovvej) over en længere tidsperiode end blot for 2020, dels fordi der er begrænsede målinger fra 2020 dels for at give en overblik over målingerne fra 2017 og fremad.

Metoder

De analysemetoder der er anvendt på vandprøverne i dette projekt er alle forskrifter ifølge Dansk Standard/European Standard.

Vandprøver der er analyseret for total fosfor (TP) stammer fra automatiske vandprøvetagere (såkaldte ISCO'er), der tager en vandprøve hver tredje time, som puljes i en flaske til en daglig prøve. Opløst fosfat (SRP/PO₄-P) er punktprøver taget hver tredje uge.

Partikulært P er beregnet som:

$$P_{\text{Partikulær}} = TP_{\text{ufiltreret}} - TP_{\text{filtreret}}$$

Fillerup

Drænopland 38 ha, og minivådområde 0,298 ha.

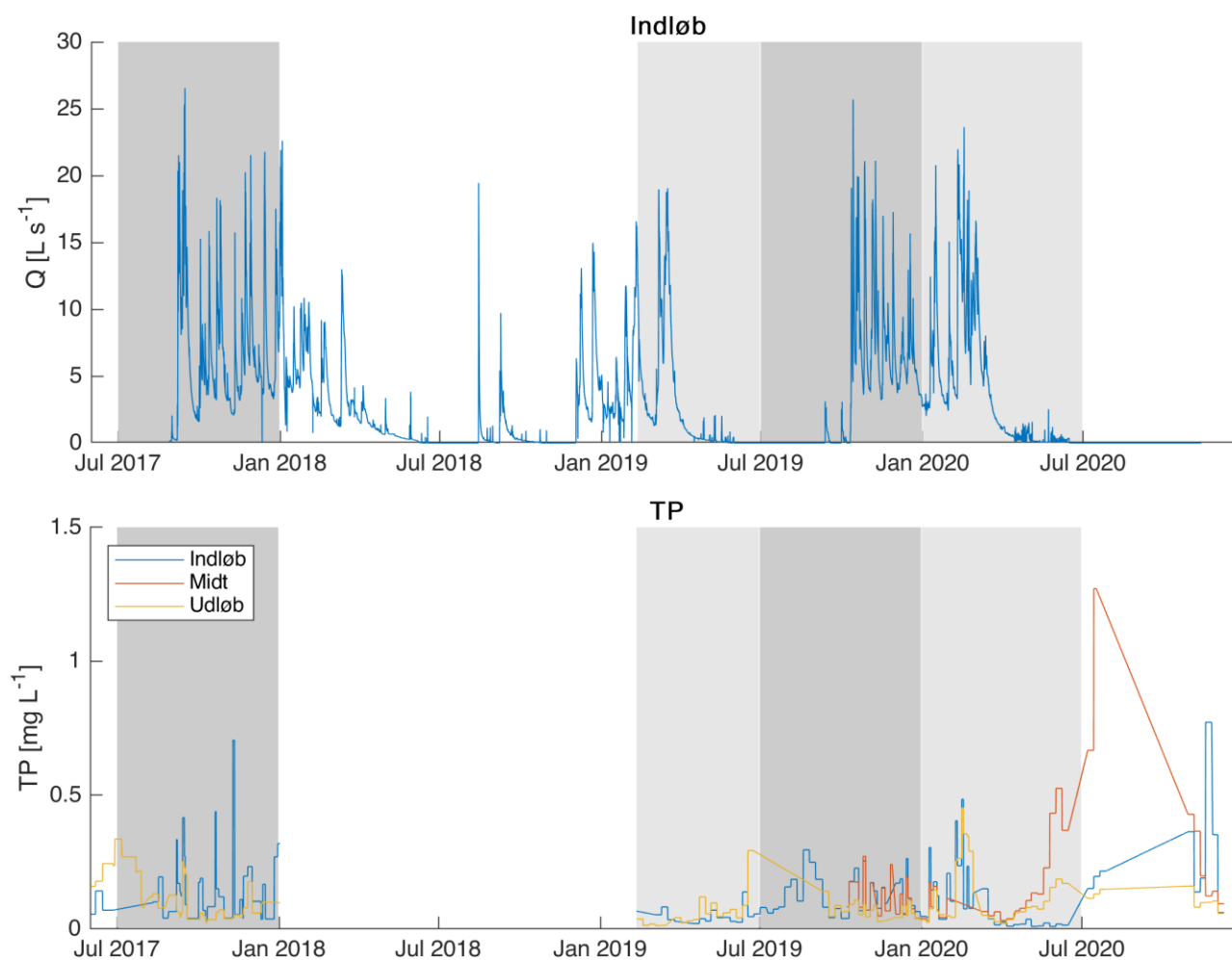
Figur 1 øverst viser flowmålinger fra drænindløbet til minivådområdet, efterfulgt af målte koncentrationer af total fosfor (TP). I efteråret og vinter 2020 er der taget enkelte vandprøver når det så ud til at drænvandet skulle til at begynde løbe ("drypvis" ind og udløb), men frem til medio december har der ikke kunnet konstateres reel ind- og udløb af vand fra minivådområdet.

I tabel 1 ses opgjorte balancer de perioder hvor der er foretaget målinger. Perioden 07/17 – 12/17 er uden for rammerne af dette projekt, men er medtaget, da det er sidste periode inden anlæggets design ændres. Retentionen af total fosfor (TP) og opløst fosfat (SRP) er markant i perioderne 07/17 – 12/17, 02/19 – 06/19 og 07/19 – 12/19, hvorefter der sker et markant fald i perioden 01/20 – 06/20.

Opgørelsen for tilbageholdelse af SRP er lavet på baggrund af punktprøver taget hver tredje uge. Det skal derfor bemærkes, at der formentlig kan være stor usikkerhed på SRP beregningerne. Disse er dog alligevel medtaget, da der er en klar trend i beregningerne. Beregningerne for alle perioder viser en markant procentuel tilbageholdelse af SRP, der er større end den procentuelle tilbageholdelse af TP. Et minivådområde er i princippet en lille næringsrig sø. Når der tilføres kvælstof og fosfor til minivådområdet vil en del blive optaget i alger og bakterier der svømmer rundt i vandfasen, og disse organismer kan skyldes ud med udløbsvandet. Det betyder, at SRP optages af disse organismer og omdannes til organisk fosfor og føres bort med udløbsvandet som partikulært fosfor eller opløst organisk fosfor (det være sig levende eller henfaldne organismer) og derfor er den procentuelle tilbageholdelse af SRP større end den procentuelle tilbageholdelse af TP.

Tabel 2 viser årsbalancen for det hydrologiske år 2019/2020 for minivådområdet ved Fillerup.

I figurerne 2-4 vises de daglige fluxe ind og ud af minivådområdet for de forskellige P specier samt den akkumulerede mængde der kommer ind og ud af minivådområdet opgjort for alle måleperioder



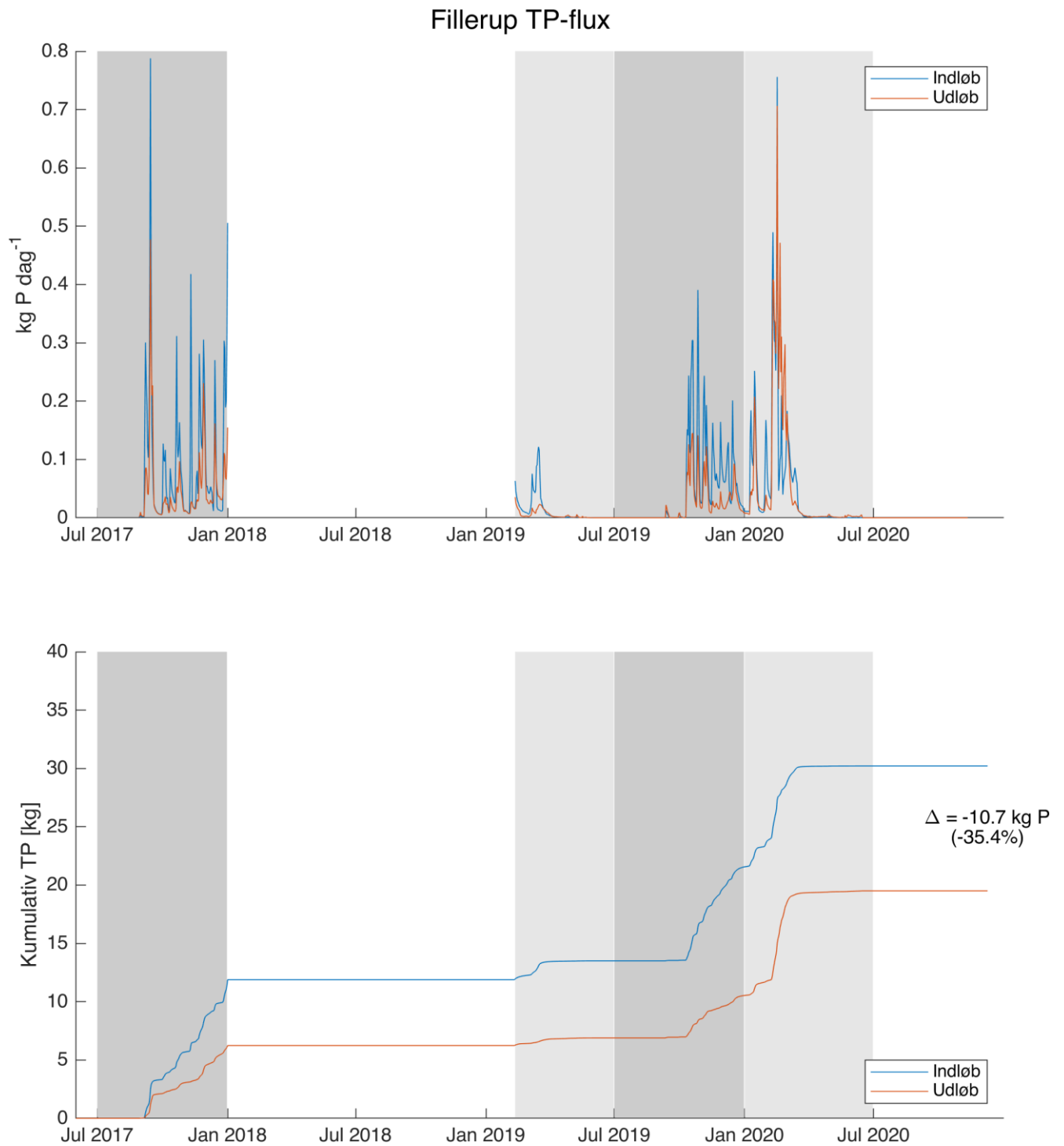
Figur 1: Drænløb til minivådområdet i Fillerup (øverste panel), samt koncentration af total fosfor (TP, nederste panel) i indløbet, mellem de to bassiner, samt i udløbet fra minivådområdet. De grå felter indikerer perioder, hvorover effekten af minivådområdet er opgjort. Koncentrationsmålinger fra efteråret 2020 er vist selvom der i praksis ikke var indløb og udløb, dvs. vandprøver er analyseret hvis der var "dryp" i forventning om at drænløbstrømningen var ved at begynde.

Tabel 1: Absolut og relativ tilbageholdelse af total fosfor (TP), opløst reaktivt fosfor (SRP) og partikulært fosfor ($P_{\text{partikulær}}$) for tre halvårige perioder, samt den totale måleperiode for minivådområdet i Fillerup.

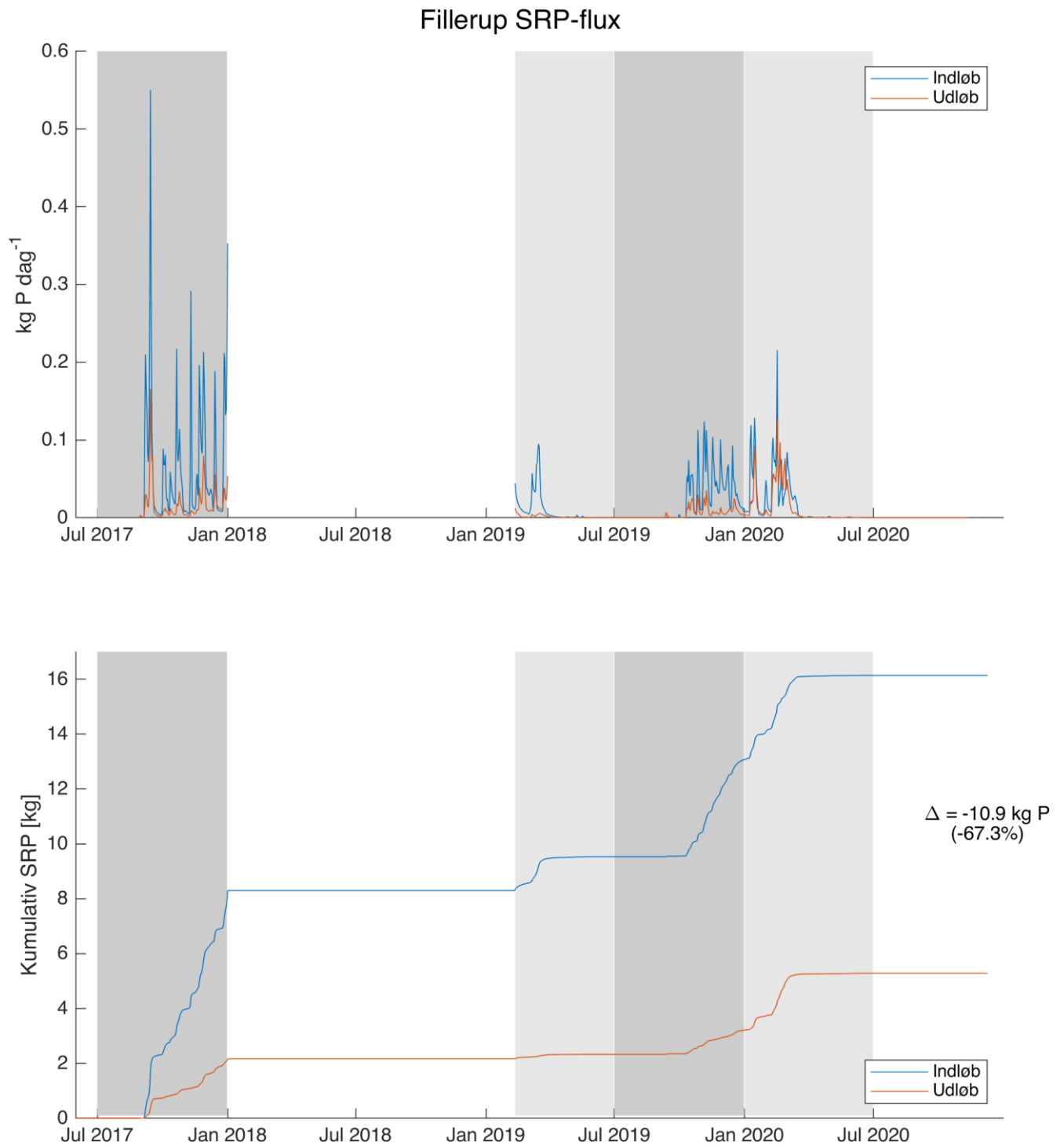
	07/17 - 12/17		02/19 - 06/19		07/19 - 12/19		01/20 - 06/20		Hele måleperioden	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
TP	5.3	47	1.0	60	4.4	55	-0.3	-3.6	11	35
SRP	5.8	73	1.1	87	2.7	75	1.0	32	11	67
$P_{\text{partikulær}}$	-3.5	-595	-0.6	-192	0.4	7	-2.6	-46	-9.2	-66

Tabel 2: Årsbalancer for det hydrologiske år 2019/2020 for minivådområdet Fillerup. Massebalancer for total fosfor (TP), opløst reaktivt fosfor (SRP) og partikulært fosfor ($P_{\text{partikulær}}$) for perioden 01/07-2019 – 30/06-2020 for minivådområdet i Fillerup. Det skal bemærkes at drænvandet har ikke har løbet hele det hydrologiske år, som det fremgår af figur 1 øverst.

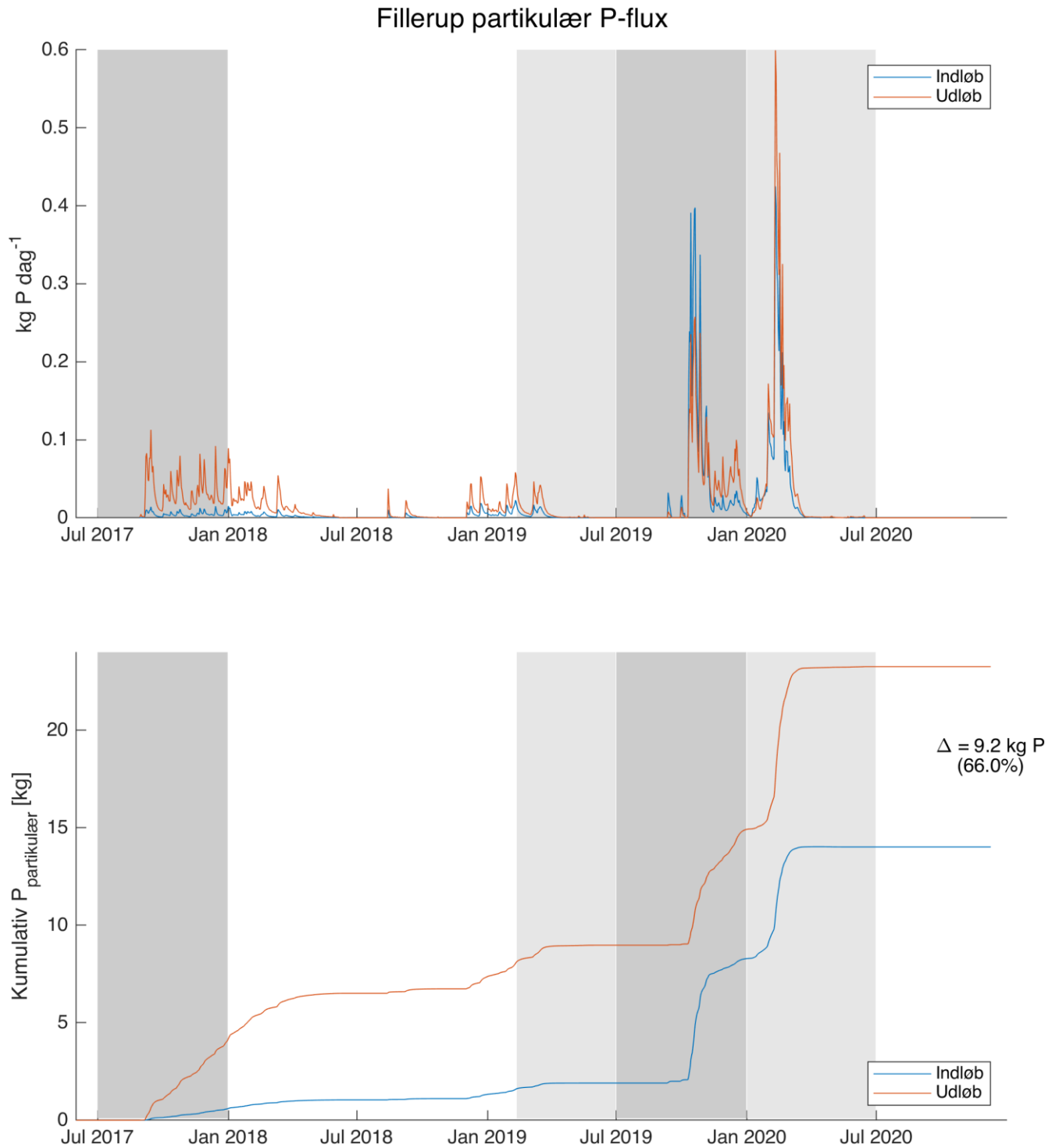
	Ind	Ud	Tilbageholdelse	
	kg	kg	kg	%
TP	17	13	4.1	25
SRP	6.6	3.0	3.7	55
$P_{\text{partikulær}}$	12	14	-2.2	-18



Figur 2: Øverst, daglige fluxe af total fosfor (TP) ind og ud af minivådområdet samt nederst akkumuleret mængde total fosfor ind og ud af minivådområdet opgjort for måleperioderne (de gråskraverede felter)



Figur 3: Øverst, daglige fluxe af opløst fosfat (SRP) ind og ud af minivådområder samt nederst akkumuleret mængde opløst fosfat ind og ud af vådområdet opgjort for måleperioderne (de gråskravrede felter)



Figur 4: Øverst, daglige fluxe af partikulært fosfat (PP) ind og ud af minivådområder samt nederst akkumuleret mængde partikulært fosfor ind og ud af vådområdet opgjort for måleperioderne (de gråskravede felter)

Vesterskovvej

Drænopland 33 ha og minivådområde 0,245 ha.

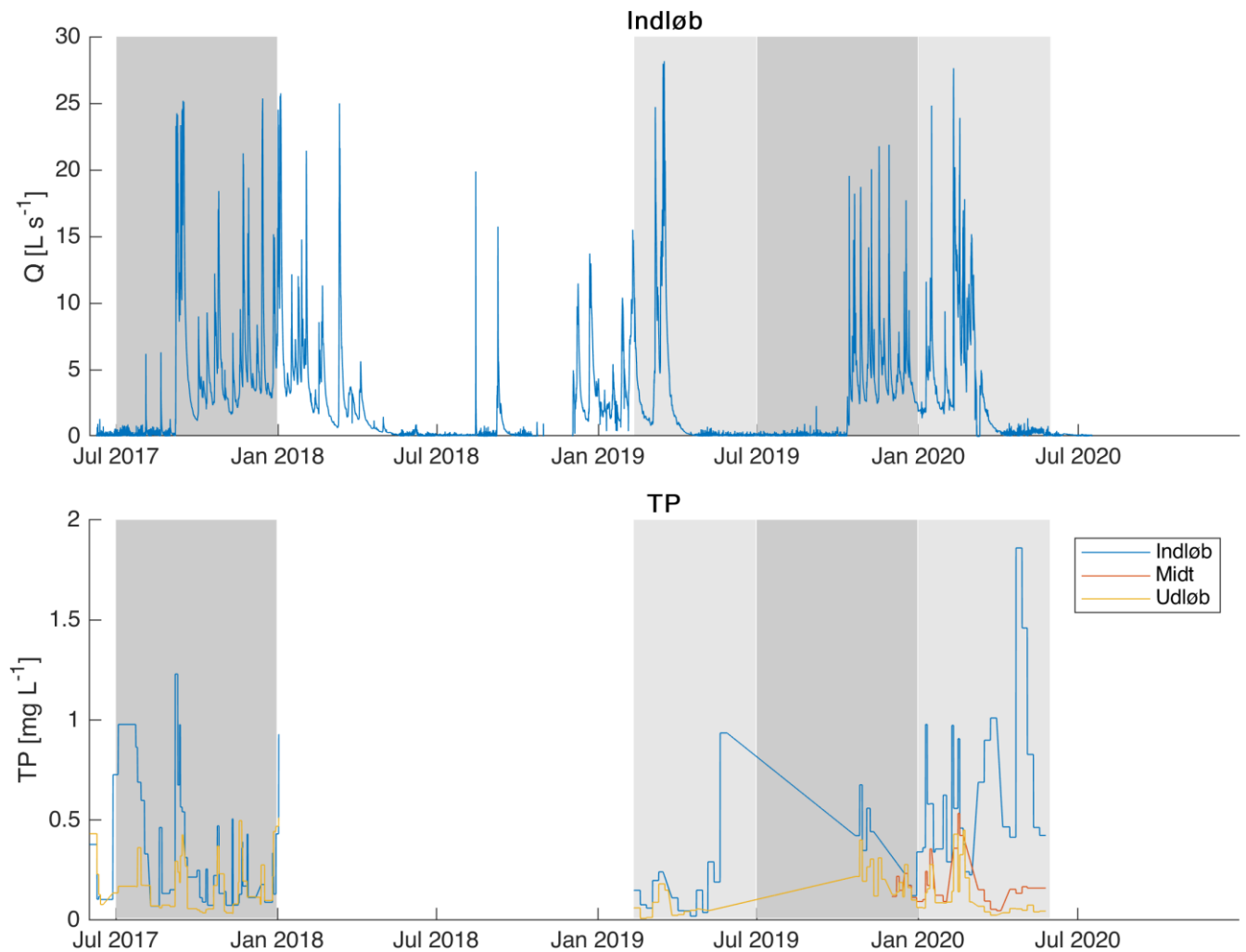
Figur 5, øverst viser flowmålinger fra drænindløbet til minivådområdet ved Vesterskovvej, og nederst ses målte koncentrationer af total fosfor (TP). I efteråret og vinter 2020 er der ikke taget vandprøver, da der frem til medio december ikke har været drænindløb til minivådområdet.

I tabel 3 ses opgjorte balancer for de perioder hvor der er foretaget målinger. Perioden 07/17 – 12/17 er uden for rammerne af dette projekt, men er medtaget, da det er sidste periode inden anlæggets design ændres. Retentionen af total fosfor (TP) og opløst fosfat (SRP) er generelt set høj i alle perioderne, men perioden 01/20 – 06/20 topper med en TP retention på 62% og en $\text{PO}_4\text{-P}$ retention på 76%.

Også for minivådområdet på Vesterskovvej skal det bemærkes, at opgørelsen for tilbageholdelse af SRP er lavet på baggrund af punktprøver taget hver tredje uge. Det skal endvidere bemærkes, at der formentlig kan være stor usikkerhed på SRP beregningerne, men disse er medtaget, da der er en klar trend i beregningerne. Beregningerne for alle perioder viser en markant procentuel tilbageholdelse af SRP, der er større end den procentuelle tilbageholdelse af TP. Et minivådområde er i princippet en lille næringsrig sø. Når der tilføres kvælstof og fosfor til minivådområdet vil en del blive optaget i alger og bakterier der svømmer rundt i vandfasen, og disse organismer kan skyldes ud med udløbsvandet. Det betyder, at SRP optages af disse organismer og omdannes til organisk fosfor og føres bort med udløbsvandet som partikulært fosfor eller opløst organisk fosfor (det være sig levende eller henfaldne organismer).

I tabel 4 er der lavet årsbalance for det hydrologiske år 2019/2020.

I figurerne 6-8 vises de daglige fluxe ind og ud af minivådområdet for de forskellige N og P specier samt den akkumulerede mængde der kommer ind og ud af minivådområdet opgjort for alle måleperioder



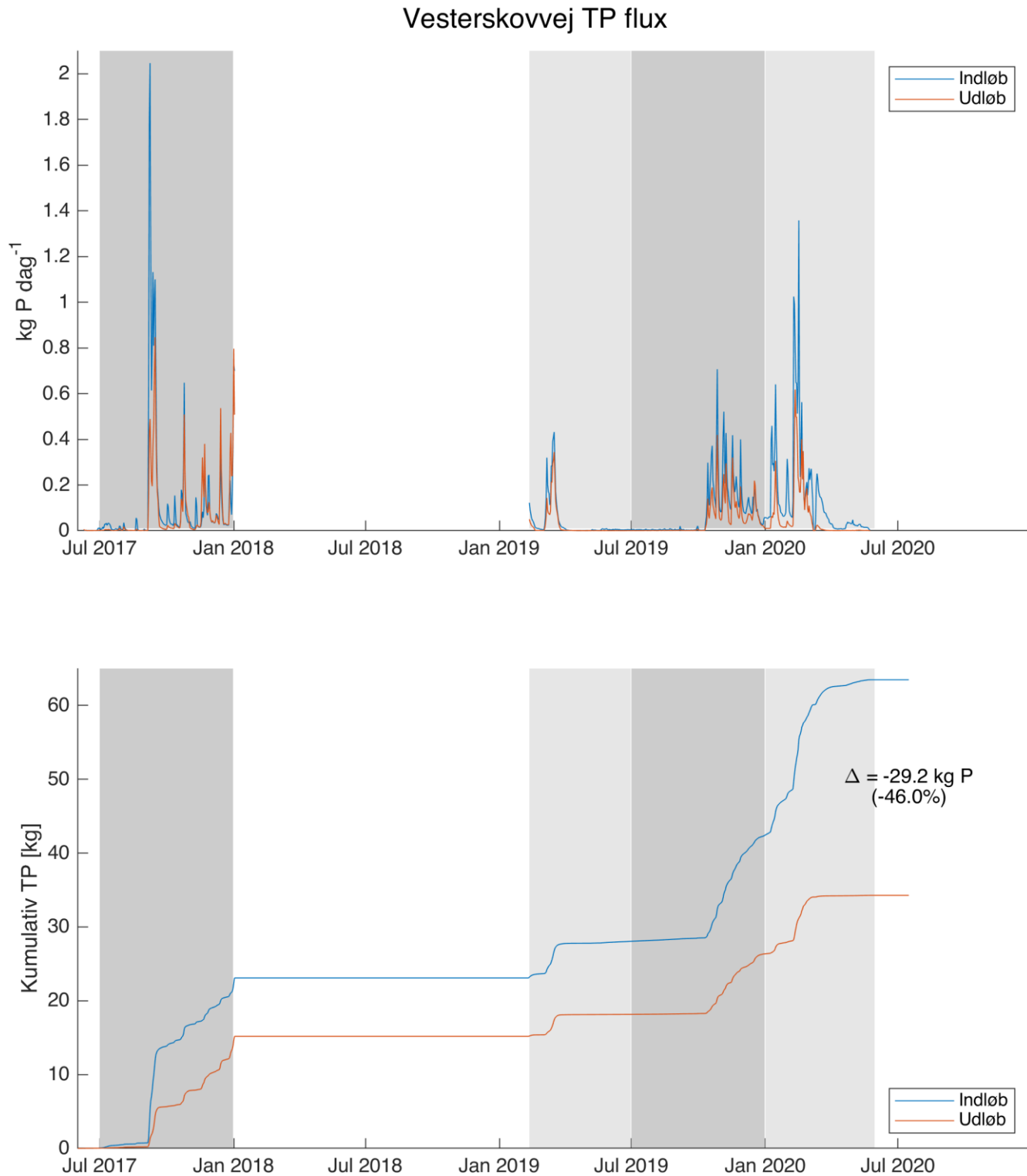
Figur 5: Drænløb til minivådområdet ved Vesterskovvej (øverste panel), samt koncentration af total fosfor (TP, nederste panel) i indløbet, mellem de to bassiner, samt i udløbet fra minivådområdet. De grå felter indikerer perioder, hvorover effekten af minivådområdet er opgjort.

Tabel 3: Absolut og relativ fjernelse af total fosfor (TP), opløst reaktivt fosfor (SRP) og partikulært fosfor ($P_{\text{partikulær}}$) for fire halvårige perioder, samt den totale måleperiode for minivådområdet ved Vesterskovvej.

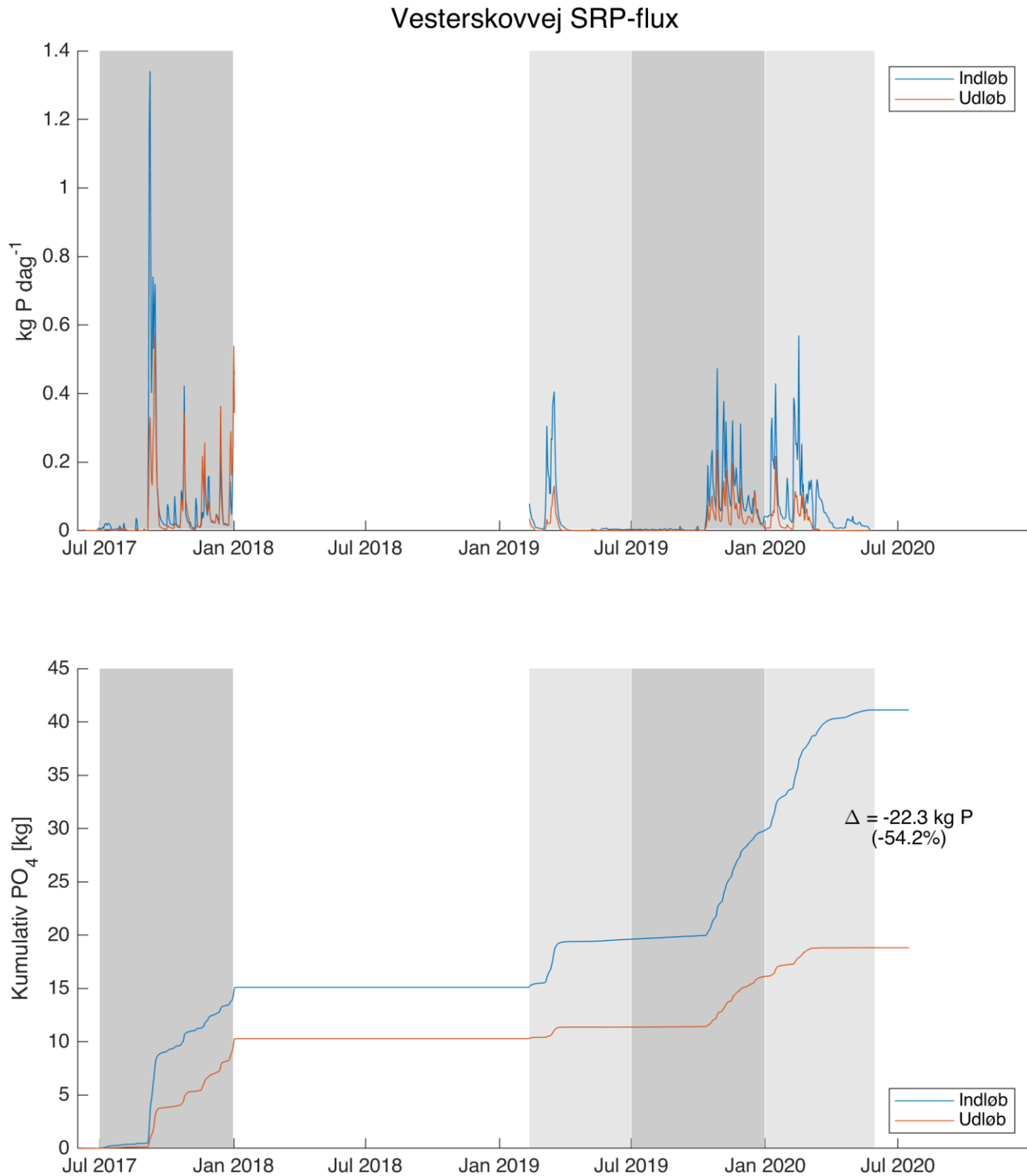
	07/17 - 12/17		02/19-06/19		07/19 - 12/19		01/20 - 05/20		Hele måleperioden	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
TP	7.8	36	2.0	40	6.1	43	13	62	29	46
SRP	4.8	34	3.4	76	5.4	53	8.6	76	22	54
$P_{\text{partikulær}}$	-2.4	-100	-0.3	-104	-1.6	-90	-7.1	-131	-13.1	-97

Tabel 4: Årsbalancer for det hydrologiske år 2019/2020. Massebalancer for total fosfor (TP), opløst reaktivt fosfor (SRP) og partikulært fosfor ($P_{\text{partikulær}}$) for perioden 01/07-2019 – 30/05-2020 for minivådområdet ved Vesterskovvej. Det skal bemærkes at drænvandet ikke har løbet i hele perioden, som det også fremgår af figur 5 øverst.

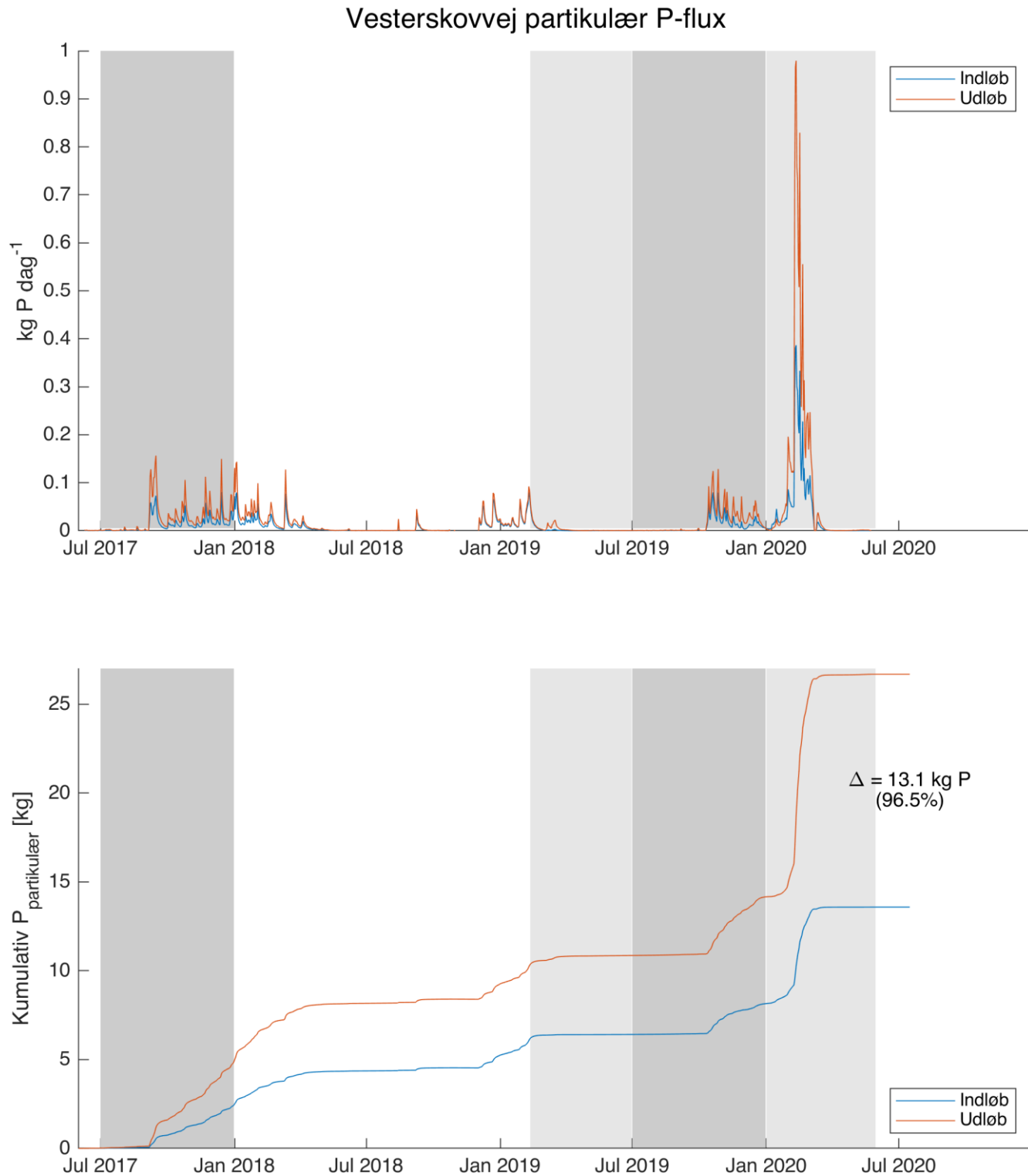
	Ind	Ud	Tilbageholdelse	
	kg	kg	kg	%
TP	35	16	19	54
SRP	22	7.4	14	65
$P_{\text{partikulær}}$	7.2	16	-8.7	-121



Figur 6: Øverst, daglige fluxe af total fosfor (TP) ind og ud af minivådområdet. Nederst akkumuleret mængde total fosfor ind og ud af minivådområdet opgjort for måleperioderne (de gråskravrede felter).



Figur 7: Øverst, daglige fluxe af opløst fosfat (SRP) ind og ud af minivådområder. Nederst akkumuleret mængde opløst fosfat ind og ud af vådområdet opgjort for måleperioderne (de gråskravrede felter)



Figur 8: Øverst, daglige fluxe af partikulært fosfat (PP) ind og ud af minivådområder. Nederst akkumuleret mængde partikulært fosfor ind og ud af vådområdet opgjort for måleperioderne (de gråskrevne felter).

Sammenfatning

Kalenderåret 2018 var et udpræget nedbørsfattigt år med en langvarig tørkeperiode midt på året, mens vinterperioden 2019/20 var meget nedbørsrig. Dette nævnes da det kan have haft indflydelse på omsætningen og tilbageholdelsen af kvælstof og fosfor i de to minivådområder, der kun ligger ganske få kilometer fra hinanden.

I perioden 01/20 – 06/20 tabes der fosfor fra Fillerup anlægget, men den samlede opgørelse for det hydrologiske år 2019/20 viser dog retention af både TP og opløst fosfat. Det er bemærkelsesværdigt, at der i alle perioder er høj effektivitet mht. opløst fosfat(SRP), men der tabes partikulært i alle perioder, bortset fra perioden 07/19 – 12/19.

Minivådområdet ved Vesterskovvej er mere stabilt gennem måleperioderne med tendens til stigning i fjernelseeffektiviteten af fosfor. Dog ses også her et tab partikulært fosfor gennem alle måleperioderne.