

DESIGNMANUAL FOR MINIVÅDOMRÅDER MED TRÆFLIS FILTERMATRICE BASERET PÅ MMM PROJEKTET

FINN PLAUBORG, CARL CHRISTIAN HOFFMANN, JOACHIM AUDET OG MAJA HØRNING SKJØDT

DCA RAPPORT NR. 190 · JUNI 2021 · RÅDGIVNINGSRAPPORT



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



DESIGNMANUAL FOR MINIVÅDOMRÅDER MED TRÆFLIS FILTERMATRICE BASERET PÅ MMM PROJEKTET

DCA RAPPORT NR. 190 · JUNI 2021 · RÅDGIVNING



AARHUS
UNIVERSITET
DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG

Seniorforsker Finn Plauborg¹⁾, seniorforsker Carl Christian Hoffmann²⁾, forsker Joachim Audet²⁾ og jordbrugsteknolog Maja Hørning Skjødt²⁾

¹⁾Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, Foulum

²⁾Institut for Bioscience, Aarhus Universitet, Silkeborg

DESIGNMANUAL FOR MINIVÅDOMRÅDER MED TRÆFLIS FILTERMATRICE BASERET PÅ MMM PROJEKTET

Serietitel og nummer:	DCA rapport nr. 190
Rapporttype:	Rådgivning
Udgivelsesår:	Juni 2021, 1. udgave, 1. oplag
Forfatter(e):	Seniorforsker Finn Plauborg og jordbrugsteknolog Maja Hørning Skjødt fra Institut for Agroøkologi, AU samt seniorforsker Carl Christian Hoffmann og forsker Joachim Audet fra Institut for Bioscience, AU
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Finansiering:	Designmanualen er udarbejdet som Bilag C til slutrapport for projektet: Mini-vådområder med matrice, Nr. J.nr. 33010-NIFA-16-649, som addendum til "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet "Ydelsesaftale Planteaftalen 2017-2020"
Fagfællebedømmelse:	Forskningsprofessor Brian Kronvang fra Institut for Bioscience, AU og lektor Bo Vangsø Iversen, Institut for Agroøkologi, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Specialkonsulent Lene Hegelund, DCA Centerenheden, Aarhus Universitet
Ekstern kommentering:	Ja. Kommentarket kan findes via dette LINK
Eksterne bidrag:	Der er benyttet fotos og skitser i rapporten med tilladelser fra SEGES, Peter Nielsen fra WSP Danmark A/S, Dan Jord A/S og BM Bogense A/S
Kommentarer til besvarelse:	Rapporten præsenterer resultater, som ved rapportens udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer
Citeres som:	Plauborg F, Hoffmann CC, Audet J, Skjødt MH. 2021. Designmanual for minivådområde med træflis filtermatrice baseret på MMM projektet. Antal sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet
Layout:	Jette Ilkjær, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet
Foto forside:	Janne Hansen
Tryk:	Digisource.dk
ISBN:	Trykt version: 87-93998-54-6, elektronisk version 87-93998-55-4
ISSN:	2245-1684
Sideantal:	47
Internetversion:	https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport190.pdf
Rapporter fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/publikationer/ hvor rapporterne er frit tilgængelige i pdf-format
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Forord

Der er stor samfundsmæssig interesse i at udvaskning af kvælstof fra landbrugsarealer til vandmiljøet reduceres. Det kan ske via virkemidler på dyrkningsfladen, eksempelvis efterafgrøder, som reducerer udvaskningen af kvælstof fra den enkelte mark.

Afhængig af jordtype, driftsform, klima m.m. kan kvælstofudvaskningen fra markarealer til vandmiljøet ske via drænvand. I forbindelse med vedtagelsen af Fødevare- og landbrugspakken i 2015 blev det besluttet at finansiere kollektive indsatser som fx minivådområder med filtermatrice, der reducerer kvælstofindholdet i drænvandet og dermed udledningen til vandmiljøet.

Princippet bag drænfiltrene er, at drænvandet ledes igennem et biofilter bestående af organisk materiale, eksempelvis pileflis. I filtret omsætter bakterier under iltfrie forhold nitrat i drænvandet til frit atmosfærisk kvælstof.

Som opfølgning på Fødevare- og landbrugspakken blev det i januar 2016 aftalt, at der skulle gennemføres forskning og test af minivådområder med matrice.

Aktiviteterne har omfattet en forskningsdel, der har skullet tilvejebringe detaljerede forskningsbaseret viden om anlæggenes effektivitet, herunder sideeffekter og langtidseffekter på virkningsgrad. Herudover er der gennemført en praktisk del, som handler om etablering og drift af bioreaktorer. Det er resultater herfra, som formidles i nærværende rapport.

Projektet har haft både en styregruppe og en følgegruppe. Styregruppen har bestået af repræsentanter fra Landbrugsstyrelsen, Miljøstyrelsen og Aarhus Universitet, mens følgegruppen er den etablerede gruppe under Landbrugsstyrelsen "Partnerskab for vidensopbygning om virkemidler og arealregulering", som består af en lang række interessenter inden for området.

Projektet er blevet præsenteret for både styregruppe og følgegruppe med henblik på at få input til projektarbejdet og afklare spørgsmål m.m.

Niels Halberg

Direktør, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet

Forord	3
Baggrund og formål	5
Afgrænsning af opland til minivådområde med træflis filtermatrice	6
Krav til koter i landskabet	10
Krav til nitratinhold i dræningsvand	10
Dimensionering af minivådområde med træflis filter-matrice	11
Drænopland med kun vinterafstrømning	11
Drænopland med helårsafstrømning.....	12
Størrelsen af drænopland og antal flisbassiner	12
Anlæg med et enkelt bassin.....	12
Anlæg med flere bassiner	12
Bruttoareal for flisanlægget.....	13
Specifikke krav til sedimentationsbassin og vandstuvningsbassin	14
Etablering og konstruktion af fordelerbrønd	14
Udformning af flisbassiner	16
Bassinets dimensioner og sikring af tilstrækkelig vandgennemstrømning.....	16
Valg af vandstrømningsretning, horisontalt eller vertikalt i bassin	17
Horisontal strømning i bassin	17
Vertikal strømning i bassin.....	17
Filtermatricens bassindrænrør ved horisontal strømning.....	21
Filtermatricens bassindrænrør ved vertikal strømning.....	22
Bassinskråninger og bentonitmembraner	22
Flistype og -mængde ved etablering af anlægget	24
Spulebrønd ved problemer med alger i sedimentationsbassin	25
Minimering af negative sideeffekter	27
Geniltning.....	27
Konstruktion af geniltningsbrønd og -trappe	27
Reduktion af klimagasser	30
Reduktion af fosfor frigivelse	31
Vedligehold af filtermatriceanlæg	32
Tilsyn	32
Tilførsel af ny flis og total udskiftning af flis.....	32
Anvendte dimensioner og design ved nogle af AUs anlæg	33
Anlæg med enkelt bassin.....	33
Gjern, anlæg med horisontal strømning med opretstillet indløbsrør i indløbsbrønd	33
Egsmarken, anlæg med horisontal strømning uden indløbsbrønd	34
Dundelum, anlæg med vertikal strømning uden indløbsbrønd.....	34
Skovlyvej, minivådområde med stuvningsbassin og horisontal-vertikal matrice.....	39
Spjald, anlæg med horisontal strømning og stuvningsbassin.....	41
Gyldenholm, anlæg med flere bassiner med opretstillet indløbsrør i indløbsbrønde.....	42
Referencer	47

Baggrund og formål

Denne rapport beskriver designkriterier for minivådområder med træflis filtermatrice (bioreaktor med træflis) på baggrund af resultater fra projektet "Minivådområder med matrice" (Plauborg et al. 2021).

Projektet er gennemført i perioden 2017-2020 og omfattede en forskningsdel, der tilvejebragte detaljeret viden om kort- og langtidseffekter i nye og eksisterende bioreaktorer, og en praktisk del, der omfattede identifikation af relevante placeringer for de seks nye bioreaktorfaciliteter, design og konstruktion af bioreaktorerne samt drift og optimering af faciliteterne.

Der blev opført fire anlæg bestående af én bioreaktor, der behandlede vand fra drænoplane < 20 ha og to anlæg med tre bioreaktorer, der behandlede vand fra drænoplane > 20 ha. Anlæggene blev sat i drift i løbet af 2018-2020.

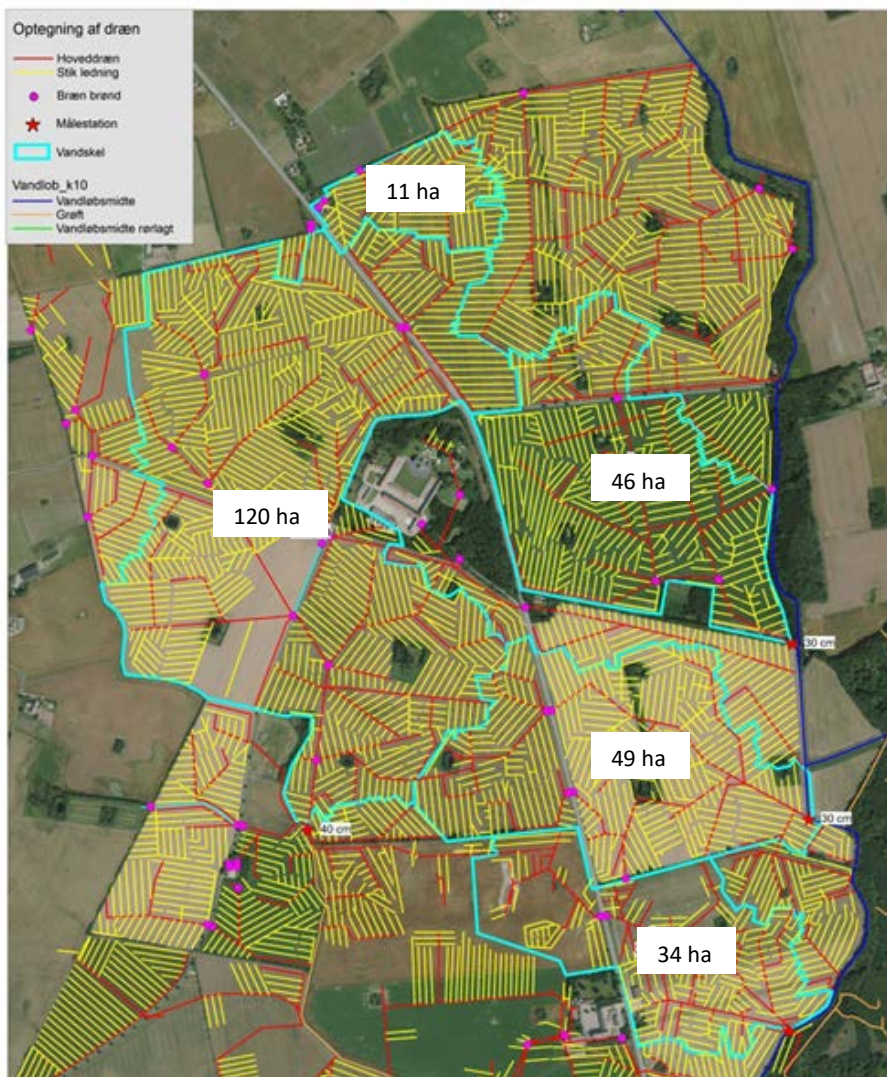
Nærværende rapport beskriver specifikke nye anlægs- og designkriterier, der supplerer den eksisterende vejledning for minivådområder med filtermatrice (Landbrugsstyrelsen, 2020a, 2020b).

Afgrænsning af opland til minivådområde med træflis filtermatrice

Nugældende krav til et opland for et minivådområde med træflis filtermatrice er, at arealet er minimum 20 ha og drænet. Filtermatricen skal placeres, så drænoplanet består af minimum 70% egnet eller potentielt egnet areal, og endvidere må maksimalt 10% af drænoplanet bestå af ikke-egnet areal (Landbrugsstyrelsen, 2020a, 2020b). Ifølge Landbrugsstyrelsens udpegningskort (Landbrugsstyrelsen, 2020b) er målet at placere minivådområder, hvor effekten af et minivådområde er over 300 kg N pr. ha minivådområde.

Denne rapport anbefaler, at minimum oplandsstørrelsen kan sænkes til 15 ha, idet der for sådant mindre areal er fundet en N reduktion på mere end 1000 kg N per 0.2 ha filtermatrice (Plauborg et al., 2021).

Fastlæggelsen af størrelsen af et drænoplanet og hvorvidt oplandet er systemdrænet eller pletdrænet er vigtige faktorer for dimensioneringen af flisanlægget. Et eksempel på fem klart afgrænsede drænoplane på leret højbundsjord, hvoraf tre (11 ha, 46 ha og 49 ha) er systemdræned, er vist i figur 1. Det ses, at mindre områder i drænoplanet på 34 ha og 120 ha ikke er drænet.



Figur 1. Systemdrænede drænoplane (11, 46 og 49 ha) på Sjælland. Mindre områder i drænoplanene 34 og 120 ha er ikke drænet. Turkis linje markerer de fem drænoplane (Kilde: SEGES).

På leret højbundsjorde kan drænoplanet typisk afgrænses som et eksakt topografisk opland ved en topografisk analyse, men for dimensionering af et minivådområde med filtermatrice er kendskabet til dræningsgraden (som nævnt) ligeledes vigtigt. For områder, der er pletdrænede, kan det være svært at fastlægge drænoplanet effektive størrelse og problemet kan være endnu større for områder, der er drænet, men hvor der ikke findes fuldstændige drænkort.



Figur 2. Pletdrænet areal i Midtjylland, hvor drænoplandets størrelse vanskeligt kan fastlægges eksakt, se figur 3 (Kilde: SEGES).



Figur 3. Drænoplandet for pletdrænet areal i Midtjylland (se figur 2) er fastlagt til 159 ha på baggrund af en terrænmodel i SCALGO (Analyse foretaget af SEGES). Størrelsen af det effektive drænopland er sat til 80 ha (Kilde: SEGES).

Figur 2 og 4 viser pletdrænedede arealer, hvor de topografiske analyser (figur 3 og 5) kan bidrage til at afgrænse oplandet. Drænoplandet for de to arealer er fastlagt til hhv. 159 ha og 35 ha, mens det effektive drænopland svarende til de drænedede arealer på disse to lokaliteter er henholdsvis 80 og 15 ha. Det kan dog i mange tilfælde være forbundet med stor usikkerhed både at fastlægge det reelle drænopland, og dermed det effektivt drænedede areal. Tilsvarende kan en fastlæggelse af det reelle drænopland være vanskelig, idet flere drænkort desværre er ufuldstændige. For drænoplande i det vestlige Danmark kan størrelsen af drænvandsafstrømningen være forbundet med yderligere usikkerhed, idet

oplandet kan være grundvandsdomineret med bidrag fra grundvand uden for det afgrænsede drænopland.



Figur 4. Pletdrænet areal i Sønderjylland hvor oplandet, der bidrager til drænafstrømningen er afgrænset i SCALGO, se figur 5 (Kilde: SEGES).



Figur 5. Oplandet der bidrager til drænafstrømningen i det pletdrænedede areal fra figur 4 er afgrænset i SCALGO til 35 ha. Størrelsen af det effektive drænoiland er sat til 15 ha (Kilde: SEGES).

Krav til koter i landskabet

De lokale topografiske forhold skal detailundersøges for at afklare, om der kan sikres en tilstrækkelig naturlig koteforskel (fald) til etablering af matriceanlægget. Derfor er det vigtigt at foretage kotemålinger på hoveddrænet, som bliver tilløb med vand og næringsstoffer til anlægget og ligeledes kotemålinger for den slutrecipient, der skal modtage afløbsvandet fra anlægget. Som minimum skal der for anlæg med horisontal vandstrømning (se afsnit [Valg af vandstrømningsretning, horisontalt eller vertikalt i bassin](#)) kunne etableres et fald henover flisbassinets længderetning (fra indløb til udløb) på tilhørende intervallet 1,0-2,9%. Kravet om højdeforskel i terrænet er dog betydeligt større, hvis recipientforholdene kræver geniltning af afgangsvandet fra anlægget. I så fald skal der være en yderligere faldhøjde på afgangsvandet på 0,6 m (se afsnittet [Konstruktion af geniltningsbrønd og -trappe](#)). Såfremt terræforholdene muliggør etablering af et anlæg, men det viser sig, at hoveddrænet ligger for dybt, kan løsningen være, at vandet pumpes ind i anlægget.

Krav til nitratindhold i dræningsvand

Som supplement til de overordnede retningslinjer, der er beskrevet i Landbrugsstyrelsens vejledning for etablering af et minivådområde med filtermatrice (Landbrugsstyrelsen, 2020a, 2020b), anbefaler Plauborg et al. (2021), at der i 3-4 målinger på drænvand i vinterhalvåret skal kunne dokumenteres et kvælstofindhold på mere end 4 mg NO₃-N L⁻¹, svarende til mere end 22 mg NO₃ L⁻¹.

Dimensionering af minivådområde med træflis filtermatrice

Lokale målinger af drænaftstrømningens størrelse og dynamik er vigtig at kende for helt korrekt kunne dimensionere den optimale volumen af filtermatricen, dvs. mængden af flis, der vandmættes under drift (våd flis). Dog er det oftest sådan at disse lokale målinger ikke findes. Alternativt kan viden om især dynamikken overføres fra nærvæd liggende drænstationer med målinger. Hvis dette heller ikke er muligt må man anvende simple tommelfinger regler til dimensioneringen. Her er det bedste bud håndtallet for dimensionering af drænsystemer lig $1 \text{ L sek}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, et tal der senest er bekræftet i anlægget AU har opført ved Gyldenholm (Plauborg et al., 2021). Det er vigtigt, at der til den beregnede mængde af våd flis til matricen skal tillægges 0,3-0,5 m flis på toppen af den våde flis. Denne flismængde er aldrig vandmættet under drift af anlægget, og de aerobe (iltridge) forhold i dette flislag bidrager til bl.a. at reducere metanudslip (Carstensen et al., 2019).

I udgangspunktet skal mængden af våd flis i matricen dimensioneres således, at der sikres den fornødne opholdstid af drænvandet. Flismængden beregnes som:

$$V_{\text{flis}} = \text{Opland} \times \text{Ophtid} \times \text{redF} \times Q / \text{Flporøs} \quad (1)$$

hvor V_{flis} (m^3) er flismængden eller flisvolumen, Opland (ha) er oplandets areal, Ophtid (timer) er minimum krav til vandets opholdstid i anlægget, redF er en reduktionsfaktor, Q ($\text{m}^3 \text{time}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) er maksimal drænaftstrømning og Flporøs er flisens porøsitet udtrykt som fraktion. Flisens porøsitet er sat til 0,6, svarende til 60%. Reduktionsfaktoren, redF, sættes til 0,9 for ikke at behandle al vand, især vand der strømmer ved ekstreme hændelser. I forhold til opholdstid er det vigtigt at kende afstrømningsmønstret for et givent område, idet der kræves en opholdstid på minimum 6,5 timer for anlæg, der er placeret i oplande udelukkende med afstrømning i vintermånederne og en opholdstid på 4 timer for anlæg, der er placeret i oplande med helårsafstrømning. Disse nøgleparametre er fastlagt på baggrund af resultater i Plauborg et al. (2021).

Drænopland med kun vinterafstrømning

Er drænoplandet kendt og systematisk drænet, kan den maksimale drænstrømning sættes til håndtallet for dimensionering af drænsystemer, dvs. $1 \text{ L sek}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, svarende til $3,6 \text{ m}^3 \text{time}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Erfaringer viser, at den maksimale vandstrømning kan være betydelig større, op til mere end $1,5 \text{ L sek}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, men det vil typisk kun optræde ved ekstreme hændelser (Plauborg et al., 2021). Det betyder således, at den tilstræbte minimum opholdstid ($\text{Ophtid} = 6,5$ timer) i praksis kan blive mindre, dog kun kortvarigt, svarende til få timer til et par dages varighed. En opholdstid på f.eks. 2 timer i en kortvarig periode vil ikke reducere anlæggets N-reduktionseffektivitet nævneværdigt set over en hel afstrømningssæson (Plauborg et al., 2021). Med de anviste forudsætninger vil et drænopland på 100 ha, der er systematisk drænet, kræve et flisvolumen beregnet ved ligning 1 på:

$$\text{Volumen flis (m}^3\text{)} = 100 \text{ (ha)} \times 6,5 \text{ (time)} \times 0,9 \times 3,6 \text{ (m}^3 \text{time}^{-1} \text{ ha}^{-1}\text{)} \times (1/0,6) = 3510 \text{ m}^3$$

Flisarealet er således i dette eksempel 0,35 ha ved 1 m dybde af vandmættet flis, men kan reduceres ved større dybde af aktivt våd flis. Generelt gældende for drænoplande med kun vinterafstrømning er der et krav om et flisareal ved 1 m dyb vandmættet flis på 0,35% af drænoplandets areal. Er arealet ikke systematisk drænet, nedsættes arealet i ovennævnte eksempel ved at skønne andelen af det drænede areal ud fra bl.a. drænkort og lodsejers evt. yderligere oplysninger.

Drænopland med helårsafstrømning

Filtermatricen skal her dimensioneres, så den som hovedregel udgør 0,2 - 0,25 procent af drænoplandet eller ved brug af ligning 1 med minimum 4 timers opholds tid:

$$\text{Volumen flis (m}^3\text{)} = 100 \text{ (ha)} \times 4 \text{ (time)} \times 0,9 \times 3,6 \text{ (m}^3 \text{ time}^{-1} \text{ ha}^{-1}\text{)} \times (1/0,6) = 2160 \text{ m}^3$$

Igen er beregningen her lavet for 1 m dyb vandmættet flis, men flis arealet kan reduceres ved større dybde af aktivt våd flis. Kravet til opholdstiden ved anlæg med helårsafstrømning er lavere, idet en stor del af vandafstrømningen sker med en højere vandtemperatur.

Størrelsen af drænopland og antal flisbassiner

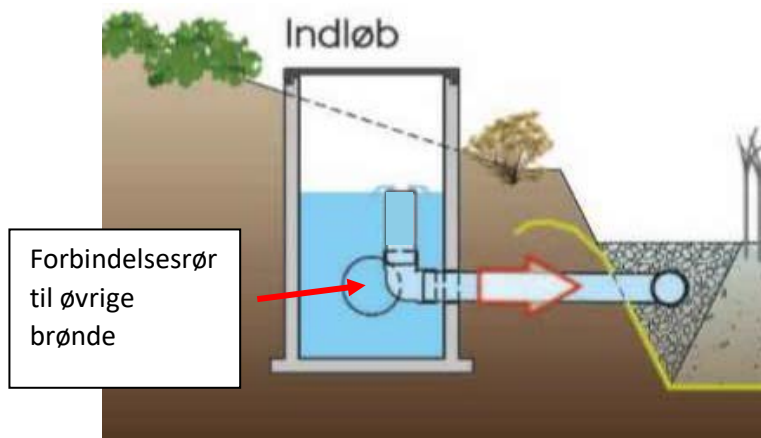
Anlæg med et enkelt bassin

Ved mindre drænoplande (15-20 ha) kan drænvandet behandles i kun et flisbassin. Diameter på rør i et enkeltbassin anlæg skal være lig diameter for drænoplandets hoveddræn.

Såfremt grænsen for drænoplandet øges til mere end 20 ha, vil et anlæg med kun et bassin skulle dimensioneres større. Det vil betyde, at vandet renses helt frit for nitrat i perioder med lav drænafstrømning, idet anlægget i disse perioder har for stor rensningskapacitet. I sådanne situationer vil der være øget risiko udslip af hydrogensulfid og klimagasser (Plauborg et al. 2021). Risikoen reduceres ved at der etableres flere bassiner.

Anlæg med flere bassiner

For større drænoplande (større end 20 ha) kræves flere bassiner. Herved kan det sikres, at anlægget både kan håndtere perioder med høj og lav drænafstrømning, hvor vand ved lav drænafstrømning udelukkende behandles i et bassin (det primære bassin). Dette design er afprøvet ved AUs anlæg ved Gyldenholm (se afsnittet [Gyldenholm, anlæg med flere bassiner med opretstillet indløbsrør i indløbsbrønde](#)). Ved stigende dræntilstrømning indgår det i designet, at det sekundære, tertiære og evt. flere bassiner kobles ind gradvist. Indløbet sker i brønde der er indbyrdes forbundne med lodrette indløbsrør (se figur 6). Koterne på indløbsrørene kan finjusteres med skydemuffe.



Figur 6. Skitse af indløbsbrønd med lodret indløbsrør til flisbassin. Denne brønd er hydraulisk forbundet til de andre bassiners indløbsbrønde med en rør dimension der svarer til hoveddræn fra oplandet (modificeret fra Hoffmann et al., 2019).

Indløb og udløb til de forskellige bassiner designes som følgende:

Indløbsbrønde til bassinerne forbindes med et rør med diameter svarende til drænoplandets hoveddræn.

Primært bassin: Skal have et rør med indløbskote 0,4 m under indløb til det sekundære bassin og ind- og udløbsrørets diameter skal være ca. 0,7 gange diameter for indløbsrøret til det sekundære bassin, der skal have en diameter svarende til 70% af drænoplandets hoveddræn. Herved sikres, at det primære bassin får mest vand ved lav drænafstrømning men også, at vandtrykket bygges hurtigt op ved stigende vandstrømning. Den hydrauliske gradient (beregnet ved bassin længde og koteaforskul på indløb og udløb) skal minimum være 1,0%, altså 0,11 m per 10 m bassin i horisontal strømningsretning i bassinet.

Sekundært bassin: Indløbsrørets kote skal være 0,4 m over det primære bassin og meddiameter - også på udløbsrør - svarende til ca. 70% af drænoplandets hoveddræn. Den hydrauliske gradient (beregnet ved bassin længde og koteaforskul på indløb og udløb) tilstræbes at være 1,0-2,9%. Med de mindre diameter end hoveddrænet vil der ved stigende drænafstrømning bygges et vandtryk op så vandspejlet stiger og når indløbskoten i den tredje (el. næste) brønd.

Tertiært (eller endnu flere bassiner): Indløbsrørets kote skal være 0,01 m over det foregående bassin, her det sekundære bassin, igen med diameter på ind- og udløbsrørsvarende til ca. 70% af drænoplandets hoveddræn. Dette sikrer, at bassinet er det sidste (eller næste) bassin, der modtager drænvand ved stigende drænafstrømning. Den hydrauliske gradient skal også her være at være 1,0-2,9%.

Bruttoareal for flisanlægget

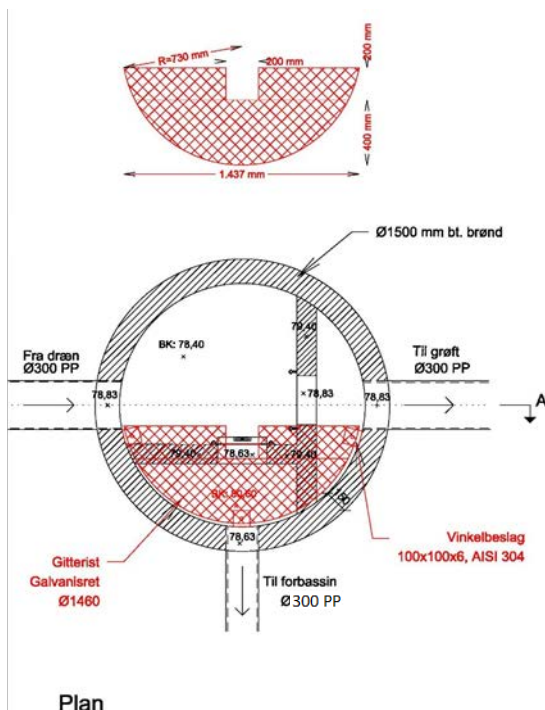
Bruttoarealet for hele anlægget skal være betydelig større end arealet af de enkelte flisbassiner, idet der rundt om flisbassinerne skal sikres adgang til udstyr til ilægning og optagning af flis. Ligeledes skal der etableres et sedimentationsbassin opstrøms flisanlægget, der kan opfange sediment og sedimentbundet fosfor. Den generelle anbefaling er at arealet af sedimentationsbassinet bør være svarende til minimum 10% af samlede areal af flisbassinerne

Specifikke krav til sedimentationsbassin og vandstuvningsbassin

Hvis drænoplandet til minivådområdet etableres i et område med mere end 50% egnet areal, jf. Landbrugsstyrelsen (2020a, 2020b), skal sedimentationsbassinet udgøre mindst 10% af arealet af flisbassinet. Hvis mere end 50% af drænoplandet består af potentielt egnede arealer skal der etableres et stuvningsbassin, der ligeledes virker som et sedimentationsbassin, med et areal svarende til flisbassinet.

Etablering og konstruktion af fordelerbrønd

Til hvert anlæg skal der etableres en fordelerbrønd opstrøms sedimentationsbassinet så "overskudsvand" ved høj vandstrømning ikke ledes til flisbassinet, men udenom dette. En for høj vandtilstrømning til anlægget vil vise sig ved, at vandspejlet i flisbassinet stiger op i det øverste tørre 0,3-0,5 m flislag. Fordelerbrønden skal derfor forsynes med et manuelt spjæld, der kan reguleres op og ned for at styre vandindstrømningen til flisbassinet, se figur 7. Spjældet skal konstrueres således, at der kan lukkes helt af for vandtilstrømning til anlægget i sommerhalvåret, typisk april-oktober, hvor vandtilstrømningen for drænoplande på højbundslerjorde typisk helt ophører i april-maj. Der skal lukkes for anlægget i denne periode, idet rensning af en lille gennemstrømmende vandmængde kan udvikle hydrogensulfid, lugten af rådne æg (Plauborg et al., 2021). For anlæg beliggende i områder med helårs drænafstrømning, altså også drænafstrømning i alle sommermåneder, lukkes der ikke for anlægget. Igen skal det dog understreges, at det kan være nødvendig i nogle år også at lukke for disse anlæg i sommermånederne, idet afstrømningen kan være så lille i sommermånederne, at der også her udvikles en generende lugt af hydrogensulfid.



Figur 7 Billede (tv.) og skitse (th.) af fordelerbrønden ved AU's anlæg ved Egsmarken på Fyn med rørføring, regulerbart overløb og spjæld, så anlægget kan lukkes om sommeren. Overkant af rør mod sedimentationsbrønd eller bassin skal være i samme kote som underkant hoveddræn (Kilde: Foto fra AGRO, AU, Skitse fra WSP).

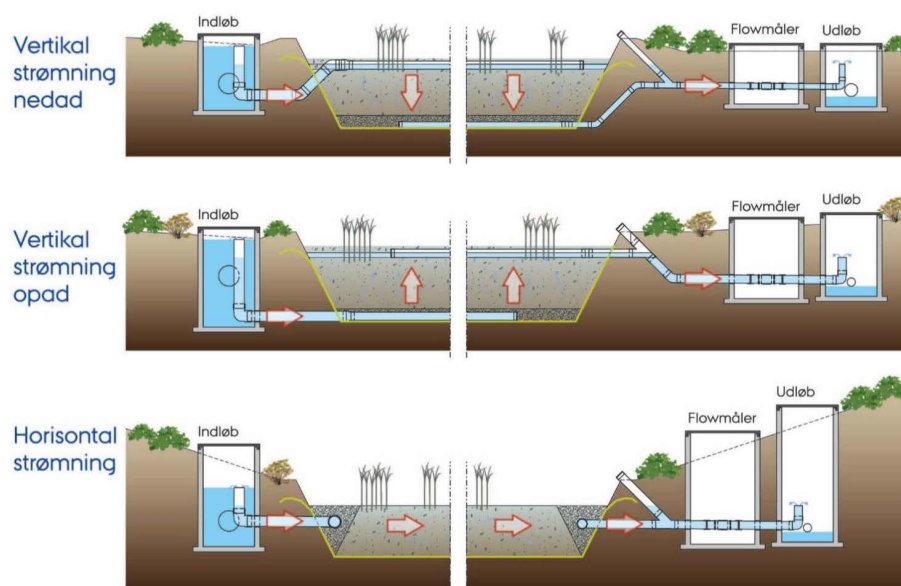
Hvis terræn- og dyrkningsforholdene tillader det, kan der i fordelerbrønden etableres et regulerbart overløb for hoveddrænet, således at trykket på indløbsvandet til flisbassinet kan hæves lidt. Udføres dette, vil det skabe en svag vandstuvning tæt på hoveddrænets udløb fra dyrkningsfladen og derved hæve vandspejlet på den nedre del af drænoplandet, dog vil en hævnings på f.eks. 0.1 m i brønden, som kan give en markant øget vandgennemstrømning i anlægget, ikke skade dyrkningen af jorden.

Udformning af flisbassiner

For alle forskellige design af et filtermatrice anlæg gælder, at dybden i flisbassinet skal kunne håndtere, at der oven i den aktive våde flis skal lægges et 0,3-0,5 m tørt flislag (se afsnittet [Reduktion af klimagasser](#)). Endvidere må en af dimensionerne, længde eller bredde af flisbassinet, ikke overstige 30 m, idet udlægning af flis skal kunne ske med grab, transportbånd e.l. Der må under ingen omstændigheder køres med tungt entreprenørgrej på den udlagte flis, idet flisen herved komprimeres, porøsiteten går ned og dermed falder anlæggets N-reduktionskapacitet. På baggrund af resultaterne i Plauborg et al. (2021) anbefales, at dybden af den våde flis ligger i intervallet 1,0-1,5 m og det anbefales at den maksimale bredde eller længde for et bassin ikke overstiger 60 m.

Bassinets dimensioner og sikring af tilstrækkelig vandgennemstrømning

Vandgennemstrømning gennem et bassin kan etableres på tre forskellige måder baseret på resultater fra Gjærn anlægget (Hoffmann et al., 2019), se figur 8.

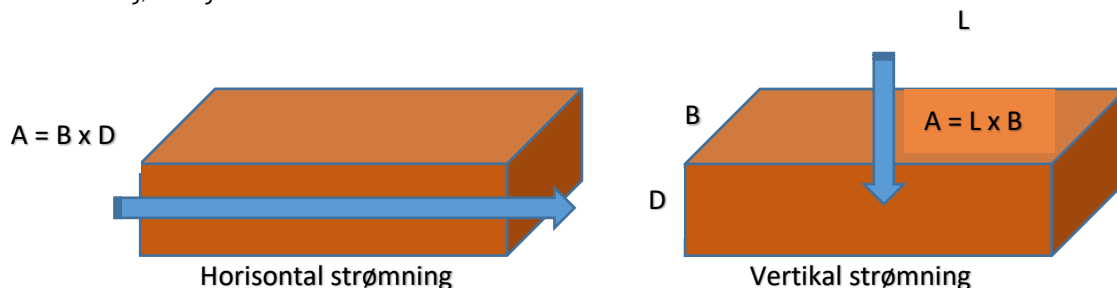


Figur 8. Skitse af anlægget ved Gjærn, der har flisbassiner med forskellig strømningsretning (Hoffmann et al., 2019).

Generelt gælder, at kravet til den hydrauliske gradient, der driver vandgennemstrømningen, ligger i intervallet 1,0-2,9%, hvilket svarer til at koten ved indløb er 0,10-0,29 m højere end ved udløb ved en bassinlængde på 10m. Endvidere skal gradienten, bredde (B) og dybde (D), samt længde af vandets strømningsvej i bassinet opfylde kravet til den hydraulisk ledningsevne (K_{sat}) i matricen. K_{sat} skal være mindre end 4200 m dag⁻¹, ideelt set bør den ligge i intervallet 3100-3500 m dag⁻¹ baseret på Plauborg et al (2021). Yderligere studier er dog påkrævet for at fastlægge flismaterialets maksimale K_{sat} . Kravene defineres ved følgende formel (Darcys lov):

$$Q = K_{sat} * A * \left(\frac{\Delta H}{L_v}\right) \quad (2)$$

hvor Q er maksimal vandstrømning per dag ($\text{m}^3 \text{dag}^{-1}$). K_{sat} kan som nævnt maksimalt antage værdien 4200 m dag^{-1} , A er indstrømningsarealet ($B \times D$ i m^2 for horisontal strømning og $B \times L$ i m^2 for vertikal strømning) og ΔH er kote-forskel (indløb minus udløb (m)) og L_v er længden af vandets strømning (m) lig med bassinets længde L ved horisontal strømning og lig med dybden af den våde flis ved vertikal strømning, se figur 9.



Figur 9. Skitse af bassin med horisontal og vertikal strømning. Indstrømningsarealet A er placeret forskelligt.

Hvis bassinets længde L og den hydrauliske gradient er fastlagt pga. forskellige forhold (terræn og koter), er designkravet, at indstrømningsarealet A for horisontal strømning sammen med K_{sat} skal kunne dimensioneres til den daglige maksimale vandtilstrømning. Da det er en forudsætning ved beregning med ligning 2, at hele fladen A gennemstrømmes af vand, så er det vigtigt i praksis, at ind- og udløb af drænvand etableres med drænrør i flere niveauer så fladen A er dækket af, se næste afsnit.

Valg af vandstrømningsretning, horisontalt eller vertikalt i bassin

Plauborg et al. (2021) har opnået gode resultater fra seks nyetablerede anlæg, fire med horisontal strømning, et anlæg med vertikal (nedad) og et med horisontal-vertikal strømning. I udgangspunktet anbefales bassinet med den horisontale strømning. Bassinet med vertikal strømning udsættes lettere for mulige tilstopninger af bassindrænrør (på lang sigt >7 år) forårsaget af delvist omsat træflis, idet bassindrænen ligger på bunden. Endvidere besværliggøres påfyldninger af flis lidt, idet bassindrænen, der ligger i toppen af flisen, skal frigøres før påfyldning og herefter lægges tilbage i samme kote.

Horisontal strømning i bassin

I tabel 1 er angivet eksempler på dimensionering af bassiner med horisontal strømning for 20 ha systemdrænet opland. Som det fremgår af tabel 1 er der en del frihedsgrader for dybde D , bredde B og længde L (for horisontal strømning er $L = L_v$). Det ses, at der også er mulighed for forskellig hydrauliske gradienter, således at krav til kote-forskel mellem ind og udløb også udviser en betydelig grad af fleksibilitet.

Vertikal strømning i bassin

Hvis der af landskabsmæssige årsager ikke kan etableres den tilstrækkelige hydrauliske gradient ($\Delta H/L_v$) eller tilstrækkelig indstrømnings areal (A) i et anlæg med horisontal strømning kan anlægget i stedet etableres med vertikal nedad strømning dvs. indløb i drænrør øverst i den våde flis og udløb i bunden. I tabel 2 er flere hydrauliske gradienter for horisontal strømning markeret med **blåt**, som eksempler på, at disse kote-forskelle ikke kan leveres i anlæggets længderetning altså, at $\Delta H/L_v$ er mindre

end 1,1%. Ved konvertering til vertikal strømning bliver $L_v = D$ og den hydrauliske gradient bliver øget så kraftigt, at kravet til K_{sat} kan reduceres. Vandet kan nu strømme, dog ikke proportionalt med den kraftige øgning af gradienten, idet det nu er vandindstrømningen (Q), der er den bestemmende faktor.

Tabel 1. Dimensioneringsretningslinjer for et bassin med horisontal strømning, der modtager vand fra 20 ha opland udelukkende med vinterafstrømning. Den horisontale strømning definerer, at længden af vandets strømningsretning (L_v) er lig bassinets længde (L), der maksimalt må antage værdien 60 m.

Ligning 1 anvendes sammen med disse data til at beregne V_{flis}						Ligning 2 anvendes sammen med disse data til at beregne krav til A og $L_v = L$					
Opland	Maks Q	Red. Q	Q	Q	V_{flis}	K_{sat}	$\Delta H/L_v$	Krav til A	D	Krav til B	Krav til $L_v = L$
Ha	$L \text{ sek}^{-1}$ ha^{-1}	$L \text{ sek}^{-1}$ ha^{-1}	$m^3 t^{-1}$	$m^3 dag^{-1}$	m^3	$m dag^{-1}$	%	m^2	m	m	m
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3100	1,1	45,6	1,5	30,4	15,4
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3500	1,1	40,4	1,5	26,9	17,4
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	4200	1,1	33,7	1,5	22,4	20,9
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3100	2,5	20,1	1,5	13,4	35,0
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3500	2,5	17,8	1,5	11,8	39,5
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	4200	2,5	14,8	1,5	9,9	47,4
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3100	1,1	45,6	1,0	45,6	15,4
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3500	1,1	40,4	1,0	40,4	17,4
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	4200	1,1	33,7	1,0	33,7	20,9
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3100	2,5	20,1	1,0	20,1	35,0
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3500	2,5	17,8	1,0	17,8	39,5
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	4200	2,5	14,8	1,0	14,8	47,4

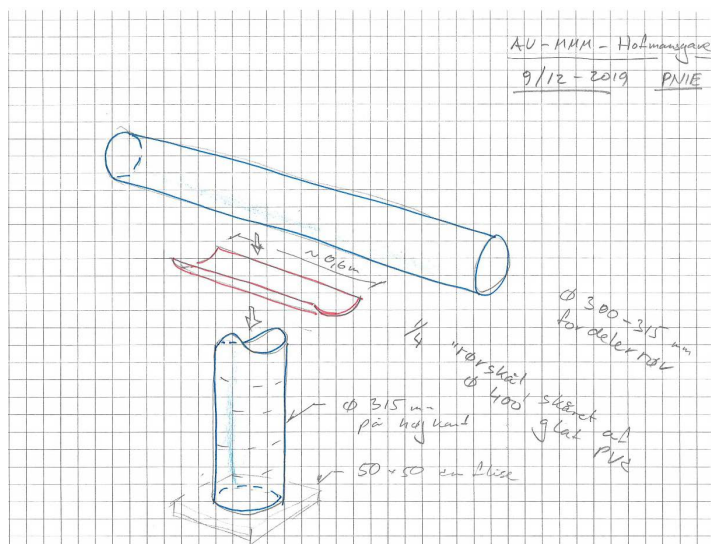
Tabel 2. Konvertering af fire horisontale flow beregninger (*gradient markeret med blå* i øverste del af tabel) til vertikalt nedad strømning i et anlæg. De ændrede hydrauliske egenskaber $\Delta H/L_v$, K_{sat} og A er markeret med grøn baggrund.

Data fra tabel 1						Data fra tabel 1					
						For horisontal strømning er $A = D \times B$					
Opland	Maks Q $L \text{ sek}^{-1}$	Red. Q $L \text{ sek}^{-1}$	Q $m^3 t^{-1}$	Q $m^3 \text{ dag}^{-1}$	V_{flis} m^3	K_{sat} $m \text{ dag}^{-1}$	$\Delta H/L_v$ %	Krav til A m^2	D m	Krav til B m	Krav til $L = L_v$ m
Ha	ha^{-1}	ha^{-1}	$m^3 t^{-1}$	$m^3 \text{ dag}^{-1}$	m^3	$m \text{ dag}^{-1}$	%	m^2	m	m	m
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3100	1,1	45,6	1,5	30,4	15,4
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3500	1,1	40,4	1,5	26,9	17,4
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	4200	1,1	33,7	1,5	22,4	20,9
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	3100	2,5	20,1	1,5	13,4	35,0

Data fra Tabel 1						Ligning 2 anvendes sammen med disse data til at beregne nye hydrauliske egenskaber					
						For vertikal strømning er $A = L \times B$ og $L_v = D$					
Opland	Maks Q $L \text{ sek}^{-1}$	Red. Q $L \text{ sek}^{-1}$	Q $m^3 t^{-1}$	Q $m^3 \text{ dag}^{-1}$	V_{flis} m^3	Ny K_{sat} $m \text{ dag}^{-1}$	Ny $\Delta H/L_v$ %	Ny A m^2	D m	B m	L M
Ha	ha^{-1}	ha^{-1}	$m^3 t^{-1}$	$m^3 \text{ dag}^{-1}$	m^3	$m \text{ dag}^{-1}$	%	m^2	m	m	M
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	29,4	11,3	468	1,5	30,4	15,4
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	26,1	12,7	468	1,5	26,9	17,4
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	21,7	15,3	468	1,5	22,4	20,9
20	1	0,9	64,8	1555,2	702	5,7	58,3	468	1,5	13,4	35,0

Filtermatricens bassindrænrør ved horisontal strømning

Vandet ledes ind i bassinet (indløb) og ud af bassinet (udløb) ved montering af fuldslidset stift hovedbassindrænrør midt for bassinenderne og midt i den våde flis dog skal drænrøret hælde svagt (1 ‰) fra midten ud mod begge ender. Hovedbassindrørets længde skal være lig bredden af bassinet. Bassindrænrøret skal understøttes, enten ved overskåret stift drænrørstykke formet som skål (Figur 10) eller støbte betonklodser (Figur 11).



Figur 10. Skitse af hovedbassindrænrør understøttet af lodret stift stykke drænrør med øverste ende formet som en skål (Kilde: WSP).

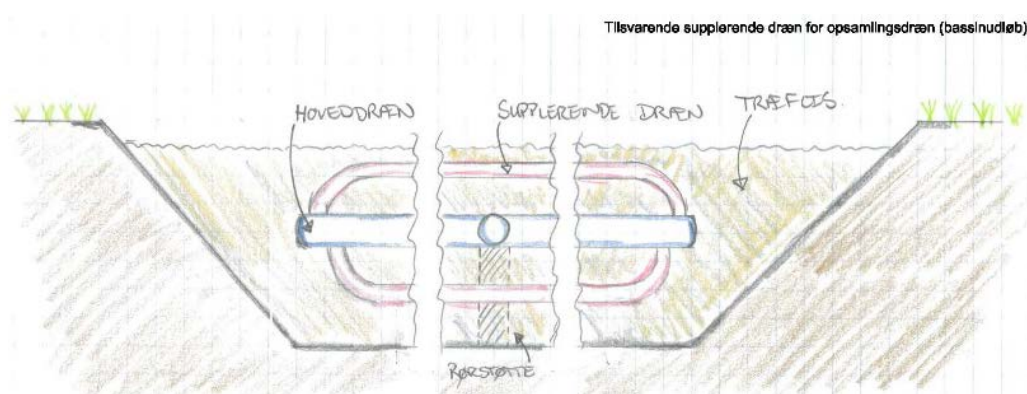


Figur 11. Hovedbassindrænrør understøttet af blokke af beton (Kilde: BM Bogense).

For at sikre en god vandstrømning ind og ud af flisbassinet skal hovedbassindrænrøret i begge ender af flisbassinet suppleres med endnu et dræn (bøjelig drænslange) under hovedbassindrænrøret, se figur 12. Er flisdybden over 1,2 m skal hovedbassindrænrøret suppleres med to sæt drænslinger, et over og et under bassindrænrøret (Figur 13).



Figur 12. Placering af ekstra drænrør ved ind-og udløb i bassin under hovedbassindrænrør i bassin med 1,0 m dyb våd flis (Kilde: Dan Jord).



Figur 13. Placering af ekstra drænrør ved ind-og udløb i bassin. Et rør ekstra drænrør både under og over hovedbassindrænrør i bassin med 1,2 - 1,5 m dyb våd flis (Kilde: WSP).

Filtermatricens bassindrænrør ved vertikal strømning

Ved denne vandstrømningsretning - enten oppefra og ned eller nedefra og op - gælder at indstrømningsarealet A er defineret ved bassinets bredde og længde. For at dette areal udnyttes fuldt ud anbefaler Plauborg et al. (2021), at der fordeles drænrør i top og bund af den våde flis med et drænrør for hver 0.5 meter. Ved AUs anlæg ved Dundelum - opført i 2018 - er der anvendt tre drænrør fordelt på 13 m bredde. Herved er der opnået gode resultater, men anbefalingen er nu, baseret på erfaringer fra flere anlæg, at øge antallet af drænrør, så vandfordelingen over arealet A bliver endnu bedre (se afsnittet [Dundelum, anlæg med vertikal strømning uden indløbsbrønd](#)).

Bassinskråninger og bentonitmembraner

Bassinskråningernes hældning ind mod midten af bassinet skal være mindst 45°, altså anlægsnormen A1 (1 m ind, 1 m op). Det minimerer risiko for kollaps af skråning og muliggør ligeledes en korrekt montering af bentonitmåtte, hvor dette måtte være nødvendig. Bentonitmåtten lægges op af skråningen og fastgøres på modsatte side af kronekant (Figur 14). Bentonitmåtten er påkrævet for at holde bassinet vandtæt og skal benyttes, hvor jorden, der danner bassinbund, har et lerindhold på mindre end 12%. Er

lerindholdet tilstrækkeligt (større end 12%) skal lerlaget have en tykkelse på mindst 0,3 m for at være vandtæt. Hældning af skråningen for udvendig bassin skal opfylde normen A2 (hældning 26.6°; 2 m ind, 1 m op)



Figur 14. Udlægning af bentonitmembran. Endvidere vist (foto til venstre) støbte sokler som anlæg for hovedbassindrænrør (Kilde: Foto til venstre BM Bogense, til højre Google).

Flistype og -mængde ved etablering af anlægget

Det er et krav at bruge pileflis med en kornstørrelse på mellem 4-60 mm, hvoraf minimum 50% skal være mellem 20 og 50 mm. Op til 10% af filtermatricens indhold kan afvige fra kornstørrelsesintervallet. I løbet af opretholdelsesperioden, der er den periode på 10 år, hvor man skal opretholde og vedligeholde sit minivådområde, er der ikke krav til kornstørrelse, idet kornstørrelsen ændrer sig med alderen på træflisen.

Filtermatricen etableres med en mættet zone (vandmættet flis) og en umættet zone ("tør flis"), der ved tidspunktet for kontrol skal ligge i intervallet 30-50 cm. Den umættede zone må ikke komme under 20 cm i opretholdelsesperioden.

Udlægningen af flis skal ske med grab, transportbånd e.l., idet der ikke må køres med tungt entreprenørgrej i den udlagte flis i minivådområdet.

Den total beregnede mængde flis skal tillægges ekstra 20%, idet flisen sætter sig ved transport fra leverandør og ved ifyldning i bassin. Målinger har vist, at flisen sætter sig eller synker ca. 7 - 10 cm om året, dels pga. omsætning men også pga. en vis omlejring. Man kan vælge at påfylde 20 cm hvert andet år eller sørge for at få nedsat en meterstok, når der første gang fyldes flis i bassinet. Meterstokken skal monteres på en plade og stilles på bunden af bassinet, så det nemt kan aflæses, hvor meget flisen synker og derefter påfylde flis når behovet er der (dvs. når det umættede dæklag er nede på 20 cm). Pladen, hvorpå stokken monteres, sikrer, at meterstokken ikke kan flytte sig i vertikal retning i løbet af anlæggets levetid.

Spulebrønd ved problemer med alger i sedimentationsbassin

Der kan i visse områder opstå kraftig algevækst i sedimentationsbassinet som kan medføre tilstopning af bassindrænrør, på trods af dykket indløb (Figur 15).



Figur 15. Algevækst i sedimentationsbassin (tv.). Tilstopning af bassindrænrør med alger fra sedimentationsbassinet (th.) (Kilde: Dan Jord).

Det kan derfor anbefales at montere en spulebrønd for enden af bassindrænrøret i bassinets indløbsende (Figur 16 og 17).



Figur 16. Gennemløbsbrønde anvendt som spulebrønde ved to anlæg. Under etablering (tv.), efter etablering (th.) (Kilde: Dan Jord).



Figur 17. Etablering af spulebrønd i bassin med våd flis dybere end 1 m. og derfor drænrør både over og under bassindrænrøret (Kilde: BM Bogense).

Minimering af negative sideeffekter

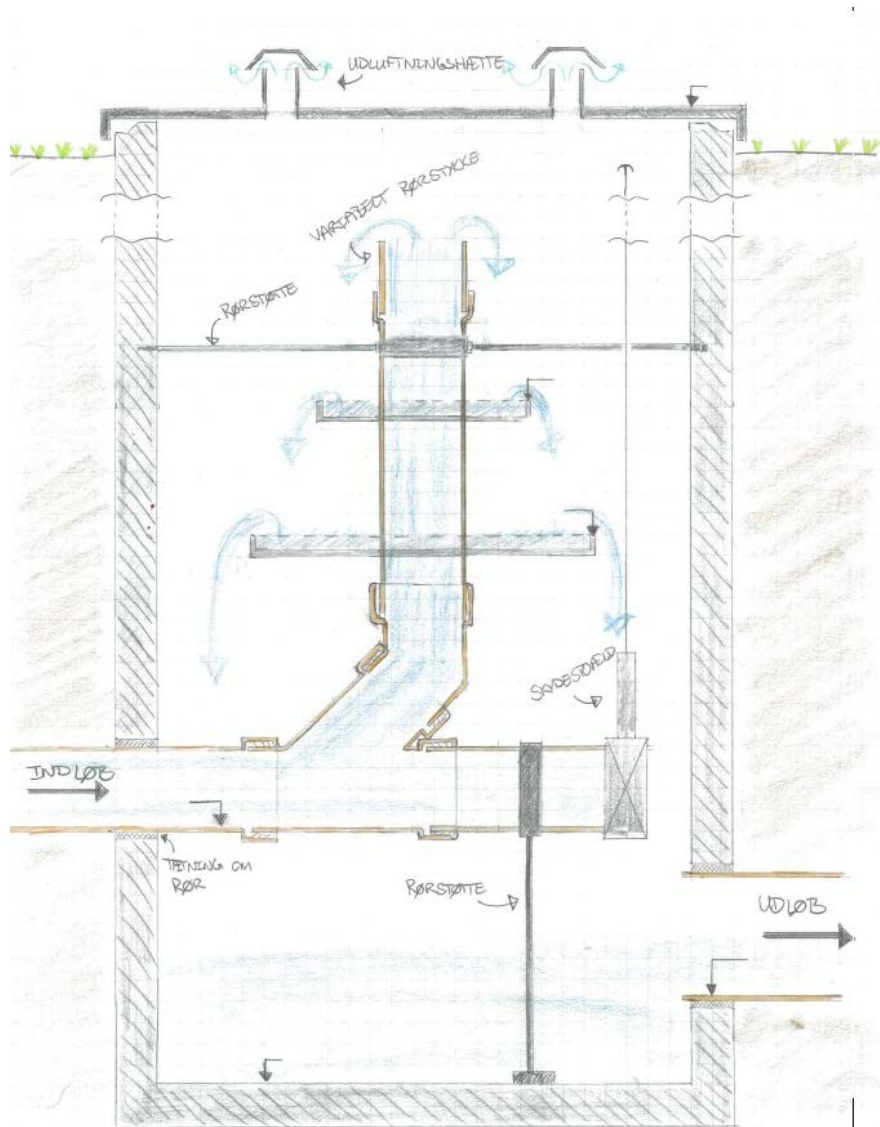
Geniltning

Når drænvandet løber gennem træflisen i filtermatricen reduceres iltindholdet markant. Derfor skal der altid etableres en geniltning ved udløbet. Dette sker med fordel ved brug af en geniltningsbrønd, der har et opretstående udløbsrør, der er medbestemmende for den hydrauliske gradient for bassinet, se næste afsnit. Denne geniltning er typisk ikke tilstrækkelig til at afgangsvandet fra geniltningsbrønden kan ledes direkte over en kort afstand (10 m) til et vandløb. Er modtageren af afgangsvandet en recipient, der reguleres efter vandløbsloven, skal disse krav indfries med yderligere foranstaltninger efter ilttningsbrønden. Her kan anvendes andre typer, f.eks. iltningstrappe, geniltning ved at vandet holdes i en plastic rende (stor diameter drænrør skåret halvt over så der dannes et trug) med veksling af afsnit med mindre sten 4-6 cm og store sten 10-15 cm eller betonbund med opretstående forhindringer.

Er modtageren af afgangsvandet en flad mark eller lavning, og er der ikke et vandløb inden for en vis afstand kræves ikke yderligere geniltning. De lokale myndigheder vil ved ansøgning om tilladelse til opførelse af et anlæg vurdere geniltningskravet.

Konstruktion af geniltningsbrønd og -trappe

Figur 18 og 19 viser henholdsvis skitse og billede af en velafprøvet geniltningsbrønd. Bemærk at skitsen viser et spjæld, der hvis det åbnes tømmer helle bassinet for vand. Det er meget vigtigt at etablere, idet vandet skal tømmes ud, når al flisens skal skiftes efter mange års brug, formodentlig efter en 10-12 år.



Figur 18. Skitse af geniltningstrappe i geniltningsbrønd. Bemærk skydespjæld til højre på skitsen. Åbnes dette, kan hele bassinet tømmes for vand (Kilde: WSP).



Figur 19. Foto af geniltningstrappe i geniltningsbrønd (Kilde: WSP).

Kræves yderligere geniltning, kan der etableres endnu en iltningstrappe (Figur 20) tæt på recipienten. Dog forudsætter dette, at der er tilstrækkelig fald i terrænet.



Figur 20. Geniltningstrappe til supplement af primær geniltning (Kilde: AGRO, AU).

For flisanlæg der er anlagt i fladt terræn kan det være vanskeligt at genilte udløbsvandet via en udløbsbrønd, som skitseret ovenfor. Her vil det være nødvendigt at genilte vandet ved at udforme udløbskanalen som en trappe med flade trin. For hvert trin lægges et enkelt lag sten med vekslende størrelse på 4-6 og 10-15 cm (Figur 21 og 22). Det er vigtigt, at der kun lægges et tyndt lag sten, der kan skabe turbulens, så vandet geniltes. Hvis man blot anlægger en stenkanal med masser af sten, geniltes vandet ikke nær så effektivt. På billederne er trapperne lavet af aluminiumsbakker i et forsøg på optimering af geniltningprocessen. I praksis ville man have en betonbund, hvorpå der lægges et tyndt lag sten.



Figur 21. Geniltning i fladt terræn. Billedet er fra Spjald i Vestjylland. Der er to perforerede udløbsrør med mange huller, hvor vandet løber ned i første flade "trappetrin". Her forsøgs-mæssigt lavet som en aluminiums-bakke (Kilde: Bioscience, AU).



Figur 22. Geniltning i fladt terræn. Her ses de flade trappetrin med et enkelt lag sten, der medvirker til at skabe turbulens i vandet, hvorved geniltningen øges (Kilde: Bioscience, AU).

Reduktion af klimagasser

For at undgå betydelige emissioner af metan er det vigtigt at etablere filtermatricen med 0,3-0,5 m flis på toppen af den våde flis, så metan kan oxideres til kuldioxid. Flisanlæg, der ikke har helårsafstrømning, skal være lukket i sommermånederne men stå fyldt med vand for at undgå, at flisen nedbrydes for hurtigt. Hvis man ikke på anden måde har sikret sig, at bioreaktoren ikke kan blive oversvømmet bør

man installere et overløbsrør i toppen i udløbsenden så en eventuel kraftig nedbørhændelse ikke skaber oversvømmelse af de nærliggende arealer. Overløbsrøret skal have en vis hældning så der ikke i frostperioder kan dannes is i røret, der kan hindre afstrømning fra flisbassinet ved kraftig tø.

Reduktion af fosfor frigivelse

Ved etablering af flisanlæg vil der frigives en vis mængde fosfor, der især stammer fra flisens barkdele. I det første driftsår vil der kunne ske en hurtig omsætning af det lettilgængelige flismateriale, der ikke er vandmættet pga. de højere temperaturer om foråret og hen over sommeren. Det er derfor vigtigt at et anlæg vandmættes umiddelbart efter at al flisen er fyldt i et bassin. Det kan være umuligt at vandmætte i sommerhalvåret for anlæg, hvor afstrømning er lav eller ikke eksisterende. Det er derfor vigtigt at etableringen af flisanlægget sker om efteråret umiddelbart før drænsæsonen starter, så flisen hurtigt vandmættes. I denne periode er det køligere så den "tørre flis på toppen" vil ikke nedbrydes nævneværdigt.

Vedligehold af filtermatriceanlæg

Tilsyn

Minivådområder med træflis filtermatrice vil kræve tilsyn for at sikre optimal funktion. Der kan komme dyr i rørføringerne – f.eks. vandrotter – der kan blokere for tilløb eller afløb eller bassindrænrør kan stoppes til af alger pga. stor algevækst i sedimentationsbassin, se ovenfor vedrørende etablering af spulebrønd. Usædvanlig lange nedbørsperioder kan føre til uforudsete hændelser som f.eks. tilførsel af store mængder sediment stammende fra fladeerosion fra de omkringliggende marker. For at beskytte anlægget mod dette anbefales det, såfremt anlægget ligger på en lokalitet omgivet af markflader, der ligger højere i terrænet, at der etableres en forhøjet jordvold rundt om flisbassinet ved at bygge jord op taget udenfor flisbassinet, således at der dannes en fordybet rende rundt om flisbassinet. Meget store vandmængder kan føre til lækager/brud forårsaget af store vandstrømningshastigheder eller overmætning af jorden, så den bliver ekstremt mudret. Det anbefales derfor, at anlægget tilses hyppigt i første driftssæson, ca. hvert 14 dag. Derefter i følgende sæsoner en gang om måneden.

Foreløbige erfaringer viser, at matriceanlæggene også fungerer i længerevarende frostperioder. Dog fryser toplaget men drænvandet løber i filtermatricen under isen. Ved tøj, pludselige nedbørhændelser og sneafsmeltning, vil der dannes vand på overfladen, som skal have mulighed for afløb. Dette skal ske gennem overløbsrøret, som således skal ligge i toppen af træflisen og være selvtømmende – altså med en vis hældning.

Som beskrevet ovenfor skal man med mellemrum tjekke træflisen tykkelse og eventuelt tilføre ny træflis. Sedimentationsbassinet tilses om sommeren, hvor det er tørret ud, og det bedømmes, om der er kommet så meget sediment, at bassinet skal oprensnes. Hvis mængden af deponeret materiale vurderes at kunne risikere at tilstoppe ind og udløb fra bassinet skal der ske en opgravning af sediment. Sedimentet er formodentlig beriget med fosfor og kan spredes i tyndt lag på nærmeste mark.

Tilførsel af ny flis og total udskiftning af flis

Da flisen synker 7 – 10 cm om året, skal der tilføres ny flis med mellemrum, ca. hvert andet år, for at det vandumættede (tørre) dæklag på 30-50 cm opretholdes. Det forventes, at al flisen skal udskiftes efter 10-12 år.

Anvendte dimensioner og design ved nogle af AUs anlæg

Plauborg et al. (2021) beskriver resultater fra i alt otte minivådområder med træflis filtermatrice. To anlæg, Gjærn og Skovlyvej, der blev etableret i henholdsvis 2012 og 2015, og seks nye anlæg etableret i 2018. De nye anlæg er baseret på erfaringer fra Gjærn anlægget og det blev ved tidspunktet for etableringen vurderet, at de nye anlæg skulle dimensioneres med krav op minimum 10 timers opholdstid af drænvandet, se tabel 3. Resultaterne fra de to første år 2018-19 og 2019-20 har dog vist at den hydrauliske opholdstid kan sænkes til 6,5 timer for anlæg med vinterafstrømning og 4 timer for anlæg med helårsafstrømning (som nævnt ovenfor).

Anlæg med enkelt bassin

Tabel 3 angiver de væsentligste designkriterier for anlæggene ved Gjærn med helårsafstrømning, Egsmarken på Fyn og Dundelum ved Haderslev, de to sidstnævnte med vinterafstrømning.

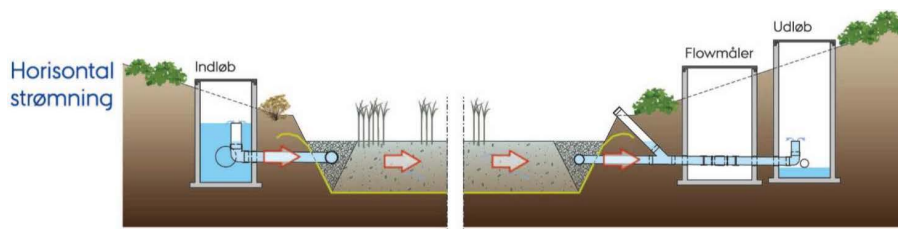
Gjærn, anlæg med horisontal strømning med opretstillet indløbsrør i indløbsbrønd

I Gjærn anlægget, der har en længde på 10m, er den hydrauliske gradient på 2,5% ved horisontal strømning gennem flisbassinet sikret ved en forskel i kote på 0,25 m for ind- og udløbsrør, der er lodret stillet i ind- og udløbsbrøndene, se figur 23.

Tabel 3. Design kriterier for AU's anlæg på ved Gjærn, Egsmarken på Fyn og Dundelum ved Haderslev. *L, B og D er henholdsvis bassin længde, bredde og dybde. A angiver indstrømningsarealet. Hydraulisk gradient er $\Delta H/L_v$ (Forskel på indløbs- og udløbskote divideret med længden af vandets strømningsretning, L_v).*

Lokalitet	L	B	D	A	Våd flis volu- men	Q	Q	Ophtid	Q/A	ΔH	L_v	$\Delta H/L_v \times$ 100	Ksat
	m	m	m	m ²	m ³	l sec ⁻¹	m ³ dag ⁻¹	timer	m dag ⁻¹	m	m	%	m dag ⁻¹
Gjærn anlæg (horisontal)	10	10	1	10,0	100	9	778	2*)	77.8	0,25	10,0	2,5	3110
Egsmarken (horisontal)	33,2	13,2	1,2	15,8	526	8,8	756	10	47,8	0,38	33.2	1,5	3150
Dundelum (horisontal)	41,2	13,2	1,2	15,8	653	10,9	942	10	59,6	0,50	41.2	0,7	8053
Dundelum (vertikal top mod bund)	41,2	13,2	1,2	544	653	10,9	942	10	1,7	0,50	1.2	41,7	4

*) Gjærn anlægget blev etableret i 2012 uden central fokus på opholdstid, derfor er opnået markant mindre minimums opholdstid, der forekommer i ved korte perioder med maks. gennemstrømning.



Figur 23. Skitse af anlægget ved Gjern med flisbassin horisontal strømning (Hoffmann et al, 2019).

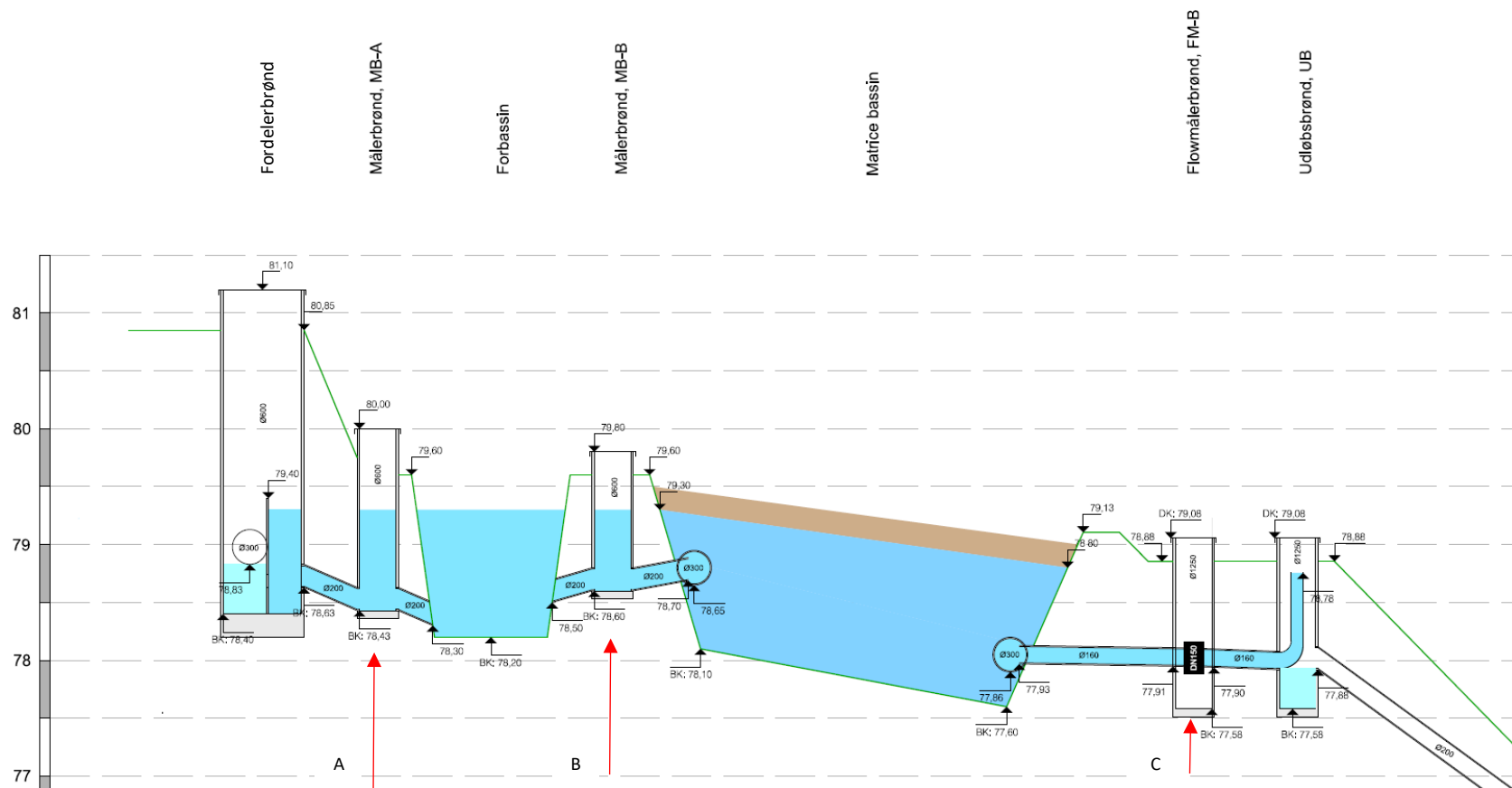
Egsmarken, anlæg med horisontal strømning uden indløbsbrønd

For lokaliteter, hvor den hydrauliske gradient kan etableres mindre end 1,5% kan indløbsbrønden med opretstillet indløbsrør undværes baseret på erfaringer fra Plauborg et al. (2021). Er gradienten større end 1,5% anbefaler Plauborg et al. (2021) en indløbsbrønd til styring af vandets indløbshøjde. Figur 24 viser teknisk tegning af det hydrauliske snit for anlægget ved Egsmarken på Fyn. I stedet for at anvende lodret stillet rør i en indløbsbrønd lige før flisbassinet er sikring af tilstrækkelig hydrauliske gradient til at drive vandet gennem flisen sket ved at bassinets bund og kronekant er etableret med en hældning, svarende til en gradient på 1,5% (Tabel 3). Når vandet strømmer bygges den hydrauliske gradient op inde i den våde flis. Herved opnås, at hele den våde flismatrice gennemstrømmes af drænvand, hvilket giver den bedste effektivitet af flisen. Til venstre i figur 24 er vist fordelerbrønden. Yderst til højre genilt-ningsbrønden. De tre andre brønde markeret med pile (A-C) har været anvendt til forskningsformål. Brønde A og B har været brugt til udtagning af vandprøver og brønd C har været installeret med magnetisk induktiv flowmåler. Disse brønde skal ikke etableres i praksis.

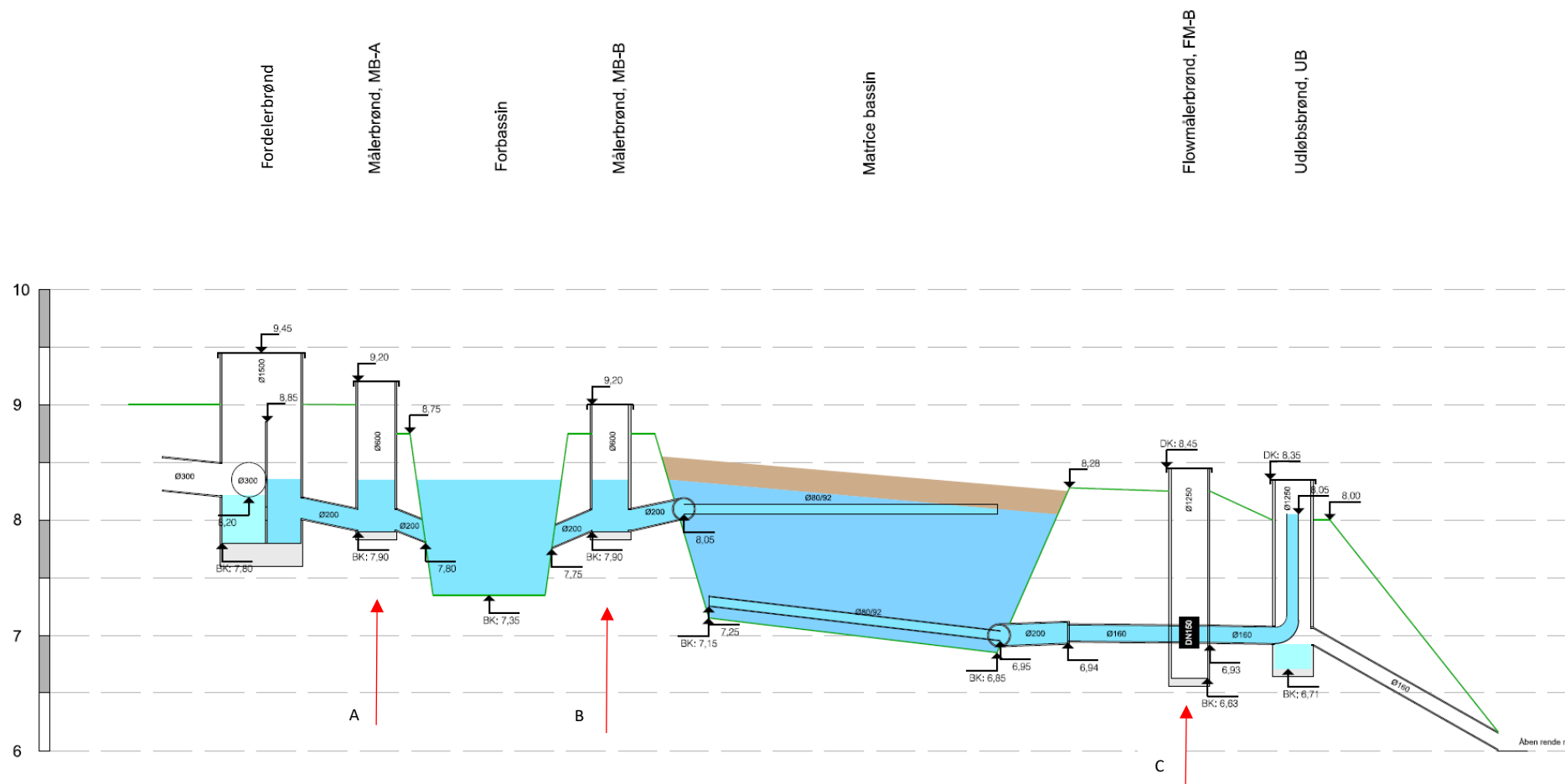
Dundelum, anlæg med vertikal strømning uden indløbsbrønd

Anlægget ved Dundelum, Haderslev er ligeledes etableret uden indløbsbrønd med opretstillet rør, der styrer vandets indløbskote til flisbassinet. Igen var ideen at anlægge bassinet med et fald på 1,2%, således at den hydrauliske gradient bygges op inde i den våde flis. Der kunne umiddelbart kun etableres et fald på 0,7%, idet større hældning ikke levnede nok højdeforskel til iltningsbrønden, hvilket resulterede i at kravet til K_{sat} blev for alt for høj, 8053 m dag^{-1} . Efter flere forskellige designskitser med horisontal strømning blev anlægget konverteret til et vertikalt anlæg, hvor vandet strømmer oppefra og ned. Det medførte et betydeligt større indstrømningsareal idet arealet (A) blev øget fra 16 til 544 m^2 og med dette større indstrømningsareal kom kravet til K_{sat} langt ned under 4200 m dag^{-1} , faktisk helt ned på 4 m dag^{-1} (se Tabel 3).

Figur 25 viser den tekniske tegning af det endelige hydrauliske snit for anlægget med vertikal strømning nedad. Bassinets bund og kronekant er fastholdt med gradienten 0,7%, men kunne med den ændrede strømning retning godt have været vandret, idet den hydrauliske gradient nu er baseret på afstanden fra top til bund i bassinet. Der er tre drænrør foroven og forneden i bassinets længde og bredderetning for hele indstrømningsarealet (A). Til venstre i figur 25 er vist fordelerbrønden. Yderst til højre genilt-ningsbrønden. De tre andre brønde markeret med pile (A-C) har været anvendt til forskningsformål. Brønde A og B har været brugt til udtagning af vandprøver og brønd C har været installeret med magnetisk induktiv flowmåler. Disse brønde skal ikke etableres i praksis.



Figur 24 Teknisk tegning af hydraulisk snit for anlægget ved Egsmarken på Fyn. De røde pile A, B, og C markerer brønde, der er etableret til prøvetagning og forskning. Disse skal ikke etableres i praksis (Kilde: WSP).

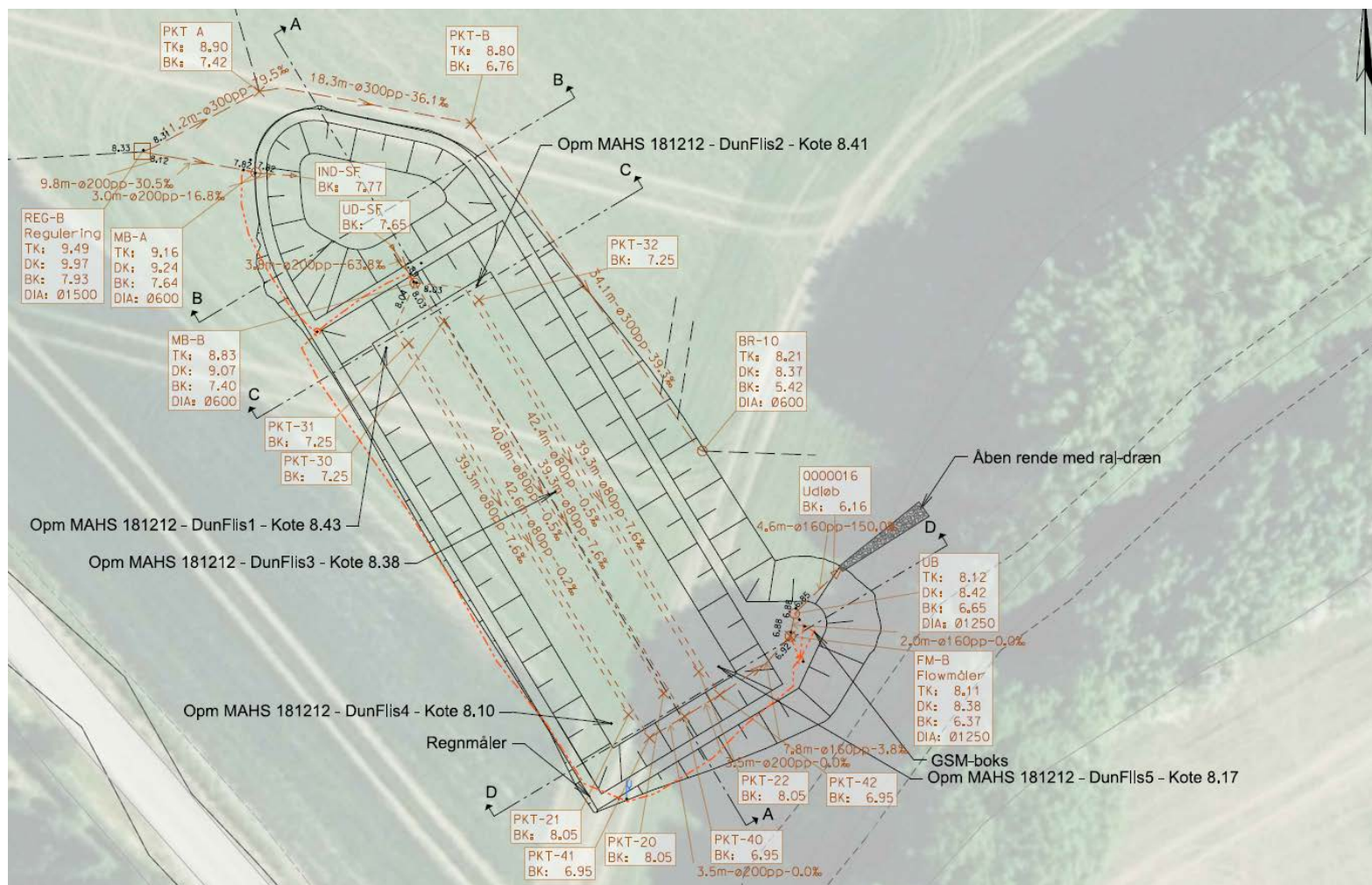


Figur 26 viser anlægget ved Haderslev fotograferet med drone. Anlægget er tilpasset lodsejerens markforhold og er ligeledes fint passet ind i landskabet.



Figur 26. AU's filtermatrice anlæg ved Dundelum ved Haderslev med fordelerbrønd (blank låg kan ses nederst til højre), sedimentationsbassin og bassin med træflis (Kilde: SEGES)

Figur 27 viser den tekniske konstruktionstegning for anlægget ved Dundelum. For at sikre, at siderne i bassinet ikke skrider, er hældning på de indvendige skrænter 45° svarende til anlægsnormen A1 (1 m ind; 1 m op). På tegningen kan ses de tre indsatte bassindrør begravet 0,3 m i flisen målt fra overfladen og tre tilsvarende drænrør i bunden af bassinet.



Figur 27. Teknisk tegning af flis anlægget ved Dundelum ved Haderslev med koter på rørføring og brønde. På tegningen kan ses indsat tre slidsede drænrør (begravet 0,3 m i flisen) og tre tilsvarende drænrør i bunden af bassinet, der indgår i princippet for vertikal ned ad strømning i anlægget (Kilde: WSP). Alle detaljer på tegningen kan ses ved at udskrive tegningen i A3 format via dette [link Dundelum](#)

Skovlyvej, minivådområde med stuvningsbassin og horisontal-vertikal matrice

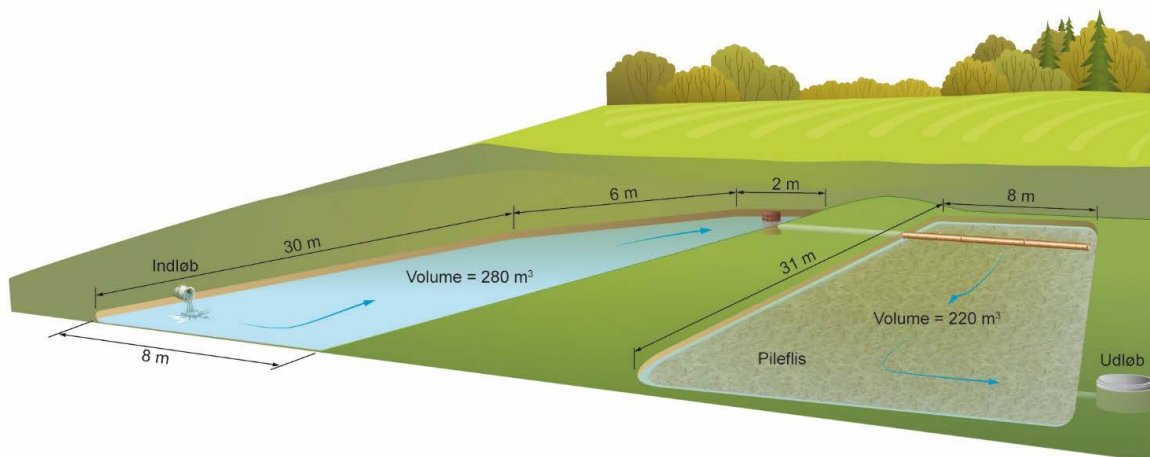
Et minivådområde, der etableres på et potentielt egnet areal skal have et stort sedimentationsbassin/stuvningsbassin. AUs anlæg ved Skovlyvej er opført således, og man kan med fordel anvende dette design, som samtidig optimerer opholdstiden i flisbassinet.

Sedimentationsbassinet eller stuvningsbassinet har til formål at udjævne store afstrømningshændelser (peak flows) således, at den hydrauliske belastning af flisbassinet reduceres, hvorved opholdstiden forlænges. Dermed forbedres kvælstoffjernelsen lidt under store afstrømningshændelser. Stuvningsbassinet kan samtidig fungere som sedimentationsbassin, der kan tilbageholde sediment - herunder partikelbundet fosfor - og nedsætte risikoen for tilstopning af matricen (Figur 28 og 29).

Specifikationer til forbassin/sedimentationsbassin

1. Stuvningsbassinets volumen skal som minimum have samme volumen som matricen, hvor stuvningsvolumen svarer til volumen mellem minimum og maximum vandstand.
2. Dræntilløbet til stuvningsbassinet kan etableres via en fordelerbrønd i hoveddrænet, hvor det oprindelige hoveddræn bevares som nødoverløb, der kan benyttes i forbindelse med en eventuel oprensning af stuvningsbassinet.
3. Faldhøjden på drænløbet til stuvningsbassinet etableres, så der ikke stuves vand bagud i drænsystemet. Drænløbet kan etableres med frit udløb. Dette vil være en fordel i tilfælde, hvor der ønskes vandprøvetagning.
4. Stuvningsbassin/sedimentationsbassin skal etableres, så der er mulighed for oprensning af sediment i forbindelse med vedligeholdelse.
5. Stuvningsbassinet etableres med variabel vandspejlskote svarende til den nødvendige stuvningskapacitet (pkt. 1). Vandstanden reguleres ved hjælp af et vertikalt stillet, åbent perforeret rør (øverste 0.5 m) med stor diameter, der er tilkoblet indløbsrøret til matricedelen af vådområdet.

Overgangen mellem stuvningsbassin/sedimentationsbassin og flisbassin sker ved rørføring. Røret føres ind i toppen af matricen på tværs af længderetningen. Det tværstillede hovedbassinrør skal fungere som fordelerør af vandet og skal således være perforeret men lukket i enden.



Figur 28. Matricevådområde med stuvningsbassin. Skematisk tegning af anlæg ved Skovlyvej i Odder (Oprindelig lavet i forbindelse med iDRAEN-projektet) (Kilde: Bioscience, AU).

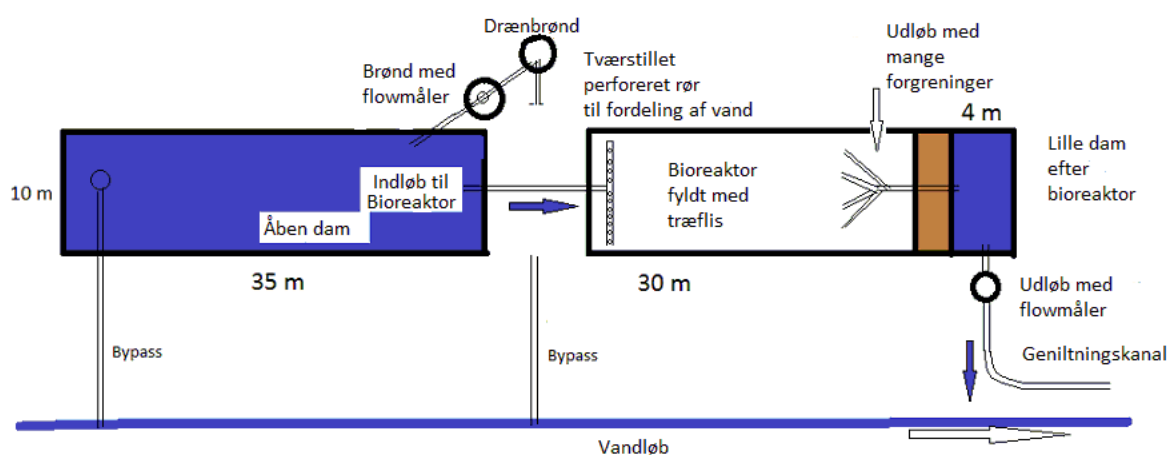
Flisbassinet ved Skovlyvej i Odder består udelukkende af pileflis (Figur 28 og 29). Anlægget er 8 meter bredt og 31 meter langt og den aktive dybde er ca. 1 meter. Herudover er der et dæklag i toppen (den umættede zone) på ca. 0,3 m. Vandet fordeles via et tværstillet rør, der ligger i toppen af flisen. Røret er forsynet med huller, der fordeler vandet jævnt over hele indløbsbredden (Figur 28). Udløbet ligger i modsatte ende i bunden af matricen, men matricen er dog stadig helt vandfyldt, da vandstanden bestemmes af udløbsrørets højde i udløbsbrønden. Udløbet består af en række fuldslidsede drænrør, der er indbyrdes forbundne og som til sidst ender i et egentligt udløbsrør. Udløbsrørene ligger i en faskine af muslingeskaller. Matrice og udløb er adskilt af et grovmasket plastiknet.



Figur 29. Foto af minivådområde med stuvningsbassin/sedimentationsbassin. Forrest i billedet ses det store vertikalt stillede perforerede rør, der passivt styrer vandstanden i forbassinet (Kilde: Bioscience, AU).

Spjald, anlæg med horisontal strømning og stuvningsbassin

Drænvandet løber ind i en åben dam lidt større end selve bioreaktoren (Figur 30). I bioreaktoren fordeles vandet via et tværstillet mangehullet hovedbassinrør, der ligger øverst i den vandmættede træflis. I den anden ende løber vandet ud i bunden via en serie af drænrør, 8 i alt, der ligger i et lag af perlesten (Figur 31), hvorpå der er lagt et grovmasket net til adskillelse af træflis og udløb. Udløbet er forsynet med en geniltningskanal (se figur 21 og 22, der viser iltningstrappen) da de topografiske forhold umuliggør installation af en geniltningsbrønd.



Figur 30. Principskitse af minivådområde med træflis og stuvningsbassin ved Spjald.



Figur 31. Udløbet fra bioreaktoren ved minivådområder ved Spjald. Man ser de 8 perforerede drænrør der samles i det orange udløbsrør. Rørene ligger i perlesten hvorpå der lagt et net (nederst th.)

Gyldenholm, anlæg med flere bassiner med opretstillet indløbsrør i indløbsbrønde

AU's anlæg ved Gyldenholm ved Slagelse (Figur 32) er et anlæg med tre bassiner, der ved pumpning modtager vand fra et 120 ha drænopland. Bassinerne er hver med dimensionerne bredde 16,2 m, længde 21,1 m og en dybde af den vandmættede flis på 1,4 m svarende til 477 m³ vandmættet flis. Anlægget skal for at kunne behandle alt vand (mindre end 0.9 L s⁻¹ ha⁻¹) udvides med yderligere to bassiner. Lodsejeren, der på et tidspunkt overdrages anlægget, kan på det tidspunkt søge om etablering af flere bassiner.



Figur 32. AU's anlæg ved Gyldenholm ved Slagelse med de 3 flisbassiner og indløbsbrønde til højre i billedet (Kilde: AGRO, AU).

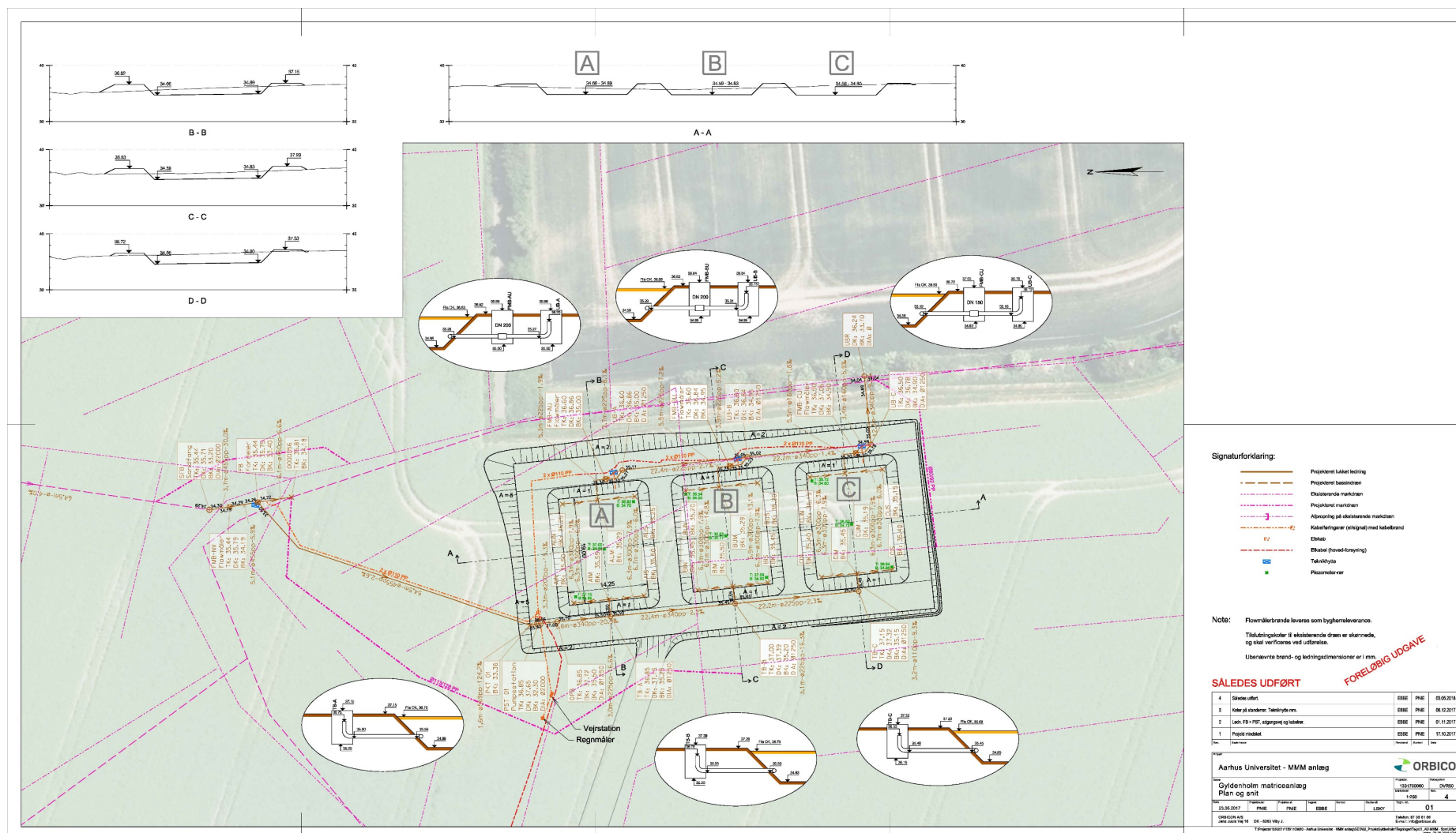
Gældende for alle indløbsrør i de tre indløbsbrønde er erfaringen fra Plauborg et al. (2021), at de skal monteres med en hældning på ca. 10° i forhold til lodret. Herved sikres, at vandet løber i røret i den ene side. Derved sikres, at luft i røret ikke indespærres. Der kan evt. i den laveste side skæres et lille V-hak, der yderligere sikrer indstrømning i røret meget lokalt langs rørets perimeter (omkreds). Herved sikres at indespærret luft hindrer vand i at løbe ind i anlægget og at der opstår trykstød og pumpeeffekt i indløbet.

Figur 33 viser eksempel på, at indløbsvand "pumpes" ud igen pga. indespærret luft, der trykker vandet ud, når røret er lodret. Ved at sætte indløbsrøret på skrå kan dette undgås.



Figur 33. Indløbsrør ved AU's anlæg ved Slagelse, før det blev sat 10° på skrå. Billedet til højre viser, at vand trykkes ud af røret pga. af indespærret luft (Kilde: AGRO, AU).

Figur 34 viser den tekniske konstruktionstegning for anlægget ved Gyldenholm med angivelse af alle detaljer, herunder koter på rør og brønde. Figur 35 viser et forstørret udsnit af den oprindelige tegning, således at dimensioner på indløbsrør og koter på indløbsbrønde og indløbsrør til bassin A, B og C kan aflæses. For at styre at al vand ved lav afstrømning behandles kun i et bassin, her bassin C (for som nævnt at undgå udvikling af hydrogensulfid) er koten for indløb i brønden til højre 36,33 m, lavere en tilsvarende kote i de to andre brønde, der er henholdsvis 37,75 og 36,76 m. Den lille forskel på koterne ved indløb til bassin A og B, betyder at bassin A ved stigende vandtilstrømning modtager vand før bassin B, således at N-reduktionskapaciteten gradvist kobles ind. I figur 36 er vist brønde og koter ved bassiners udløb. Det ses at der er vist en brønd ved udløb af hvert bassin umiddelbart før brønden med geniltningstrappe. Disse brønde er med monteret med induktiv magnetisk flowmåler og skal medtages i lignende anlæg, der etableres i praksis. Koterne for vandets udløb i geniltningsbrønden er for bassin A: 36,20 m, B: 36,15 m og C: 36,12 m, svarende til hydrauliske gradienter ($\Delta H/L \times 100$) på 2,6%, 2,9% og 1,0%.



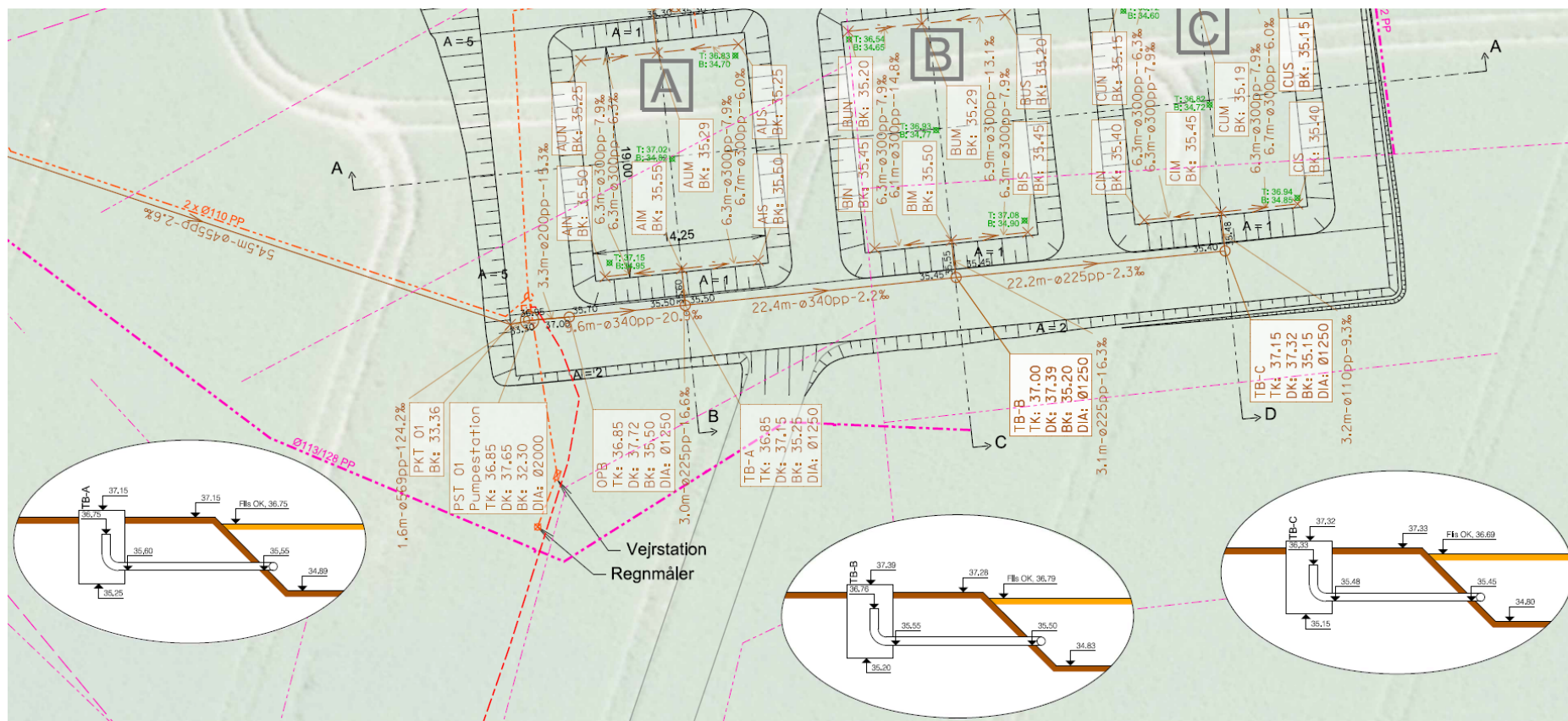
Signaturforklaring:

- Proprietær lokal ledning
- Proprietær hovedledning
- Ekisterende markering
- Proprietær markering
- Afgrænsning på eksisterende markering
- Kabelbetongering (original) med kabelbeton
- Elkabel
- Elkabel (trædning)
- Teknisk hylse
- Plastrer

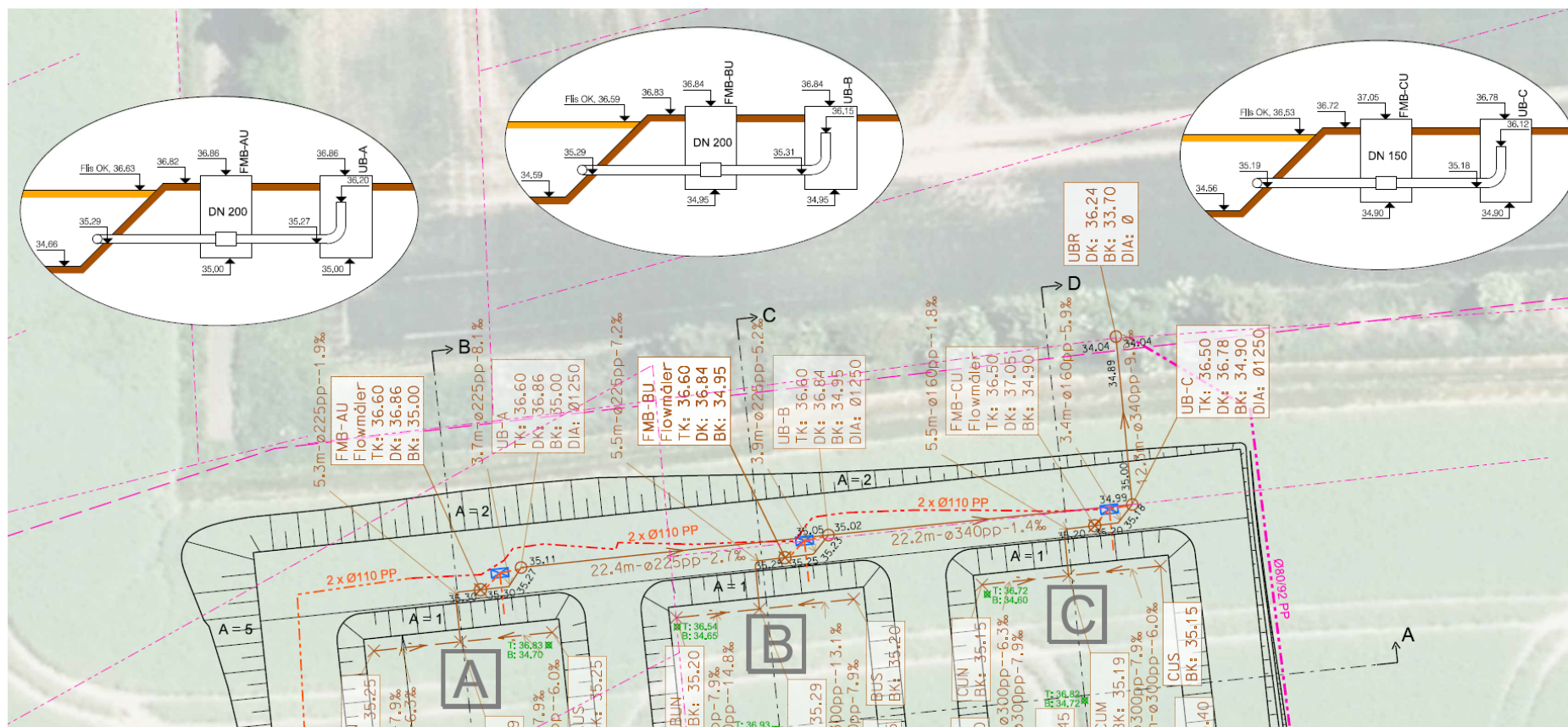
Note: Flomfilterbranda leveres som bygherreleverance.
 Tilslutningskabler til eksisterende dræn er skærrede,
 og skal verificeres ved udførelse.
 Ubenævnte brand- og ledningsdimensioner er i mm.

SALEDES UDFØRT

4	Skæres udført.	BRSE	PNE	03.05.2018
5	Kabler på eksisterende Teknisk hylse mm.	BRSE	PNE	08.02.2017
6	Løse PEH-PEH, afgrænsning og kabelbeton.	BRSE	PNE	01.11.2017
7	Plastrer monteret.	BRSE	PNE	17.02.2017
Aarhus Universitet - MMM anlæg				
Gyldenholm matricianlæg				
Plan og snit				
23.05.2017				
01				
01				



Figur 35. Forstørret udsnit af konstruktionstegning (Figur 34) for AU's filtermatrice anlæg ved Gyldenholm. I dette forstørrede udsnit er der fokuseret på koter for indløbsrør i indløbsbrønde ved de tre bassiner A-C.



Figur 36. Forstørret udsnit af konstruktionstegning (Figur 34) for AU's filtermatrice anlæg ved Gyldenholm. I dette forstørrede udsnit er der fokuseret på koter for udløbsrør i geniltningsbrønde ved de tre bassiner A-C. Det ses at der er vist en brønd ved udløb af hvert bassin umiddelbart før brønden med geniltnings-trappe. Disse brønde er med monteret med induktiv magnetisk flowmåler og skal medtages i lignende anlæg, der etableres i praksis.

Referencer

Carstensen, M.V. Larsen, S.E., Kjærsgaard, C., & Hoffmann, C.C. 2019. Reducing adverse side effects by seasonally lowering nitrate removal in subsurface flow constructed wetlands. *Journal of Environmental Management*, 240, 190-197. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.081>

Hoffmann, C. C. Larsen, S. E. and Kjaergaard, C. 2019. Nitrogen removal in woodchip-based biofilter of variable design treating agricultural drainage discharge. *Journal of Environmental Quality* 48, 1881-1889. doi:10.2134/jeq2018.12.0442

Landbrugsstyrelsen, 2020a. [Vejledning til minivådområder 2020 - december 2020 \(lbst.dk\)](#)

Landbrugsstyrelsen, 2020b. [Minivådområder 2020 - Landbrugsstyrelsen \(lbst.dk\)](#)

Plauborg, F., Skjødt, M. H., Audet, J., Hoffmann, C. C., Zak, D., Jacobsen, B. H. 2021. Synthesis report project MMM on woodchip bioreactors. Submitted to the Ministry of Environment and the Ministry of Food, Agriculture and Fisheries.

Om DCA

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevareforskningen ved Aarhus Universitet.

Centret omfatter institutter og forskningsmiljøer, der har aktiviteter på jordbrugs- og fødevareområdet. Det er primært Institut for Agroøkologi, Institut for Husdyrvidenskab, Institut for Fødevarer, Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning samt dele af Institut for Ingeniørvidenskab.

Aktiviteterne i DCA understøttes af en centerenhed, der varetager og koordinerer opgaver omkring myndighedsbetjening, erhvervs- og sektorsamarbejde, internationalt samarbejde og kommunikation.

Forskningsresultater fra DCA

Resultater fra forskningen publiceres i internationale, videnskabelige tidsskrifter. Publikationerne kan findes via universitets publikationsdatabase (pure.au.dk).

DCA rapporter

DCAs rapportserie formidler hovedsageligt myndighedsrådgivning fra DCA til Miljø- og Fødevareministeriet. Der kan også udgives rapporter, som formidler viden fra forskningsaktiviteter. Rapporterne kan frit hentes på centrets hjemmeside: dca.au.dk.

Nyhedsbreve

DCA udsender et nyhedsbrev, der løbende orienterer om jordbrugs- og fødevareforskningen og herunder om nye forskningsresultater, rådgivning, uddannelse, arrangementer og andre aktiviteter. Det er gratis at tilmelde sig nyhedsbrevet, og det kan ske på dca.au.dk.

RESUME

Denne rapport beskriver designkriterier for minivådområder med træflis filtermatrice (bioreaktor med træflis) på baggrund af resultater fra projektet "Minivådområder med matrice".

Projektet er gennemført i perioden 2017-2020 og omfattede en forskningsdel, der tilvejebragte detaljeret viden om kort- og langtidseffekter i nye og eksisterende bioreaktorer, og en praktisk del, der bl.a. omfattede identifikation af relevante placeringer for de seks nye bioreaktorfaciliteter, design og konstruktion af bioreaktorerne samt drift og optimering af faciliteterne.

Rapporten beskriver specifikke nye anlægs- og designkriterier, og supplerer dermed den eksisterende vejledning for minivådområder med filtermatrice.

