



VUDP PROJEKTRAPPORT

Rensning, biodiversitet og rekreative værdier i våde regnvandsbassiner med flydeøer



RENSNING, BIODIVERSITET OG REKREATIVE VÆRDIER I VÅDE REGNVANDBASSINER MED FLYDEØER

DATO: september 2023

Projekt ID: 2022.32

Udgiver:

VUDP-foreningen

Udarbejdet af:

Annette Brink-Kjær, VandCenter Syd
Lærke Kit Sangill, VandCenter Syd
Nana Sofia Benthien, VandCenter Syd

Berit Nørgaard, ECO Island

Mona C. Bjørn, Københavns Universitet
Morten Ingerslev, Københavns Universitet

Sara Egemose, Syddansk Universitet

Finansiering:

VUDP-foreningen, Vandsektorens forening til forbedring af vandsektorens effektivitet og kvalitet

Samarbejdspartnere:

VandCenter Syd A/S (hovedansøger)
Københavns Universitet
Syddansk Universitet
ECO Island

Kategori:

Spildevand, Klimatilpasning



Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	3
English summary	5
Introduktion	6
Projektets betydning for vandbranchen	8
Marked og/eller anvendelsesmuligheder	8
Næste skridt	10
Formidlingsplan	10
Projektet	11
Formål	11
Output	11
Projektresultater	11
Konklusion	14
Litteraturliste	15

Sammenfatning

Projektet er et pilotprojekt, hvor formålet har været at undersøge om der er en renseseffekt på udvalgte stofgrupper ved tilføjelse af flydeøer til regnvandsbassiner. De udvalgte stofgrupper er næringsstofferne fosfor, kalium, magnesium, jern og mangan og svovl. Derudover der undersøgt for tungmetallerne kobber, zink, nikkel, cadmium og krom. Projektet bestod af indledende undersøgelser af hvordan flydeøer performer under kontrollerede forhold, for at se om der kunne være potentiale til at forsætte et omfattende måleprogram i fuldskala. Resultaterne er lovende, og viderebringes direkte i et fuldsalamåleprogram støttet af MUDP.

Våde regnvandsbassiner er en af de mest anvendte metoder til forsinkelse og rensning af afstrømmende regnvand og er anerkendt som BAT i Danmark. Våde regnvandsbassiner anvendes i hele landet af forsyninger til at rense overfladevand og forsinke inden udledning til en nærliggende recipient. Gennem tiden er der kommet større fokus på recipienten, som skal modtage vandet, og derfor er dimensioneringskravene til regnvandsbassiner ændret væsentligt de senere år. De tidlige bassiner var tørre i perioder uden regn, og fyldtes kun med vand, når der var behov for forsinkelse for at undgå at beskadige recipienten hydraulisk. Senere hen er der kommet fokus på rensning af regnvand. Derfor blev et vådt volumen på mellem 200 og 300 m³ pr reduceret hektar dimensioneret ind i regnvandsbassinerne. Det våde volumen kan bidrage til rensningen ved at sedimentere partikler, og er effektive til det. Dog er det også kendt at rensningen af de opløste stoffer er ringe i våde regnvandsbassiner. I dette projekt er der opstartet tests på at øge renssevnen i våde regnvandsbassiner ved fjernelse af udvalgte opløste næringsstoffer og tungmetaller med flydeøer.

Projektet er udført i et kontrolleret miljø i et udendørs vådlaboratorium på Syddansk Universitet i perioden august 2022 til november 2022. Fire palletanke blev opstillet og simulerede ægte regnvandsbassiner i lille skala. I løbet af projektperioden, blev de små regnvandsbassiner udsat for forskellige regnhændelser, for at afspejle virkeligheden. Det regnvand, der blev anvendt, blev hentet i et nærliggende regnvandsbassin ved Syddansk Universitet. Hver palletank udgjorde et scenarie for et regnvandsbassin. I projektansøgningen, blev forsøgsopstillingen beskrevet med tre tanke, men ved planlægningen af forsøgsopstillingen opstod et behov for en ekstra tank. Det skyldes at vi i projektet ønskede at se effekten af de forskellige komponenter i flydeøen. I ansøgningen var flydeøen beskrevet som en enkelt komponent, men ved detaljeret planlægning af forsøget, blev det klart at flydeøen består af flere dele som kan have en effekt i regnvandsbassiner. Derfor blev det besluttet i projektet at indføre en ekstra tank, for at belyse effekten af de forskellige komponenter i flydeøerne og ikke kun flydeøer som helhed.

I projektet er der set tendenser i flydeøerne og biomassen på, at flydeøerne kan have en positiv effekt i de våde regnvandsbassiner i forhold til renssevne. Specielt for dette projekt er, at der blev samlet data fra både vandfasen og biomassen i samme forsøg. Forventningen var at kunne se et fald i koncentrationen af de undersøgte stoffer i vandfasen mellem indløb og udløb, samt en akkumulering af de samme stoffer i biomassen. Tendenserne var overraskende, for kigges alene på vandmassebalancen, var der ikke indikationer på at flydeøerne havde en effekt på stofkoncentrationerne. Men tendenserne fra flydeøerne og biomassen viser indikationer på at flydeøerne er i stand til at ophobe udvalgte stoffer. De udvalgte stoffer kan ses i tabel 1.

Tabel 1 Undersøgte stoffer i projektet

Biomasse (planter/måtter)	Vand
Totalt kvælstof	Totalt kvælstof
Total fosfor	Total fosfor
Karbon	Karbon



Zink	Zink
Kobber	Kobber
Bly	Bly
Arsen	Jern
Mangan	Calcium
Jern	Aluminium
Magnesium	Suspenderet stof
Calcium	DOC (farve)
Kalium	Kvælstofilter (NOx)
Nikkel	Cadmium
Aluminium	Natrium
	Klorid

Arbejdet med at dokumentere flydeøers potentiale i våde regnvandsbassiner har givet anledning til mere forskning og forsætter derfor inden for de næste år i et MUDP-projekt med samme projektgruppe. Det er derfor på nuværende tidspunkt ikke muligt at komme med validerede data på flydeøerne effekt i våde regnvandsbassiner ud fra dette projekt, af samme årsag heller ikke et datablad. Men erfaringer og data tages med videre i MUDP-projektet 'Rensning, biodiversitet og rekreative værdier i våde regnvandsbassiner med flydeøer' som er startet i februar 2023.

English summary

One of the most regular methods to delay and clean runoff rainwater is wet rainwater ponds. Wet rainwater ponds are recognized as BAT (Best Available Technology) in Denmark. The wet rainwater ponds are used nationally in Denmark.

Both function and requirements for the for separate rainwater outlets has changed a lot the past few years. The first rainwater ponds where dry and only filled with water when a need for delay volume of rainwater to avoid a negative hydraulic pressure at the recipient. In the last few years, the focus has changed to water quality and not only quantity. Rainwater from urban surfaces can have a negative impact on the recipients, and therefore must be cleaned properly. To clean the runoff rainwater, the rainwater pond needs a wet volume between 200 and 300 m³ pr reduced hectare. The wet volume will contribute to retention of substances from rainwater by sedimentation of particles. But it is also known that the retention of soluble substances is quite low. In this project preliminary tests have been started to see if it possible to increase the retention effect of wet rainwater ponds of selected nutrients and heavy metals connected to urban rainwater runoff.

This project took place in a controlled environment in an outdoor wet laboratory at the University of Southern Denmark. Four plastic tanks on 1 m³ were used. Each tank with its own inlets and outlets simulated four small wet rainwater ponds, in small scale. Through the project the tanks were exposed for rain events to reflect reality. The rain events were simulated with water from a real rainwater pond near University of Southern Denmark. All four tanks had a permanent wet volume and a different scenario. Tank 1 had a floating island with vegetation and coconut mat (which purpose is vegetation layer). Tank 2 had a floating island with vegetation and no coconut mat, whereas tank 3 had the floating island with coconut mat and no vegetation. The fourth tank was control tank, with nothing but water, to simulate a normal wet rainwater pond with no floating island.

Data is collected from both the water and the biomass in the same trials, which is unique for the research. The hypothesis was to see that the concentrations of the selected nutrients and heavy metals was decreased between the inlet and outlet. As well as an accumulation of the same soluble in the biomass. The project succeeded with a lot of new knowledge. But because of the very short trial period it wasn't possible to achieve statistic representative data which can be interpreted as results. The experience and tendencies seen in this project will benefit our next project, which will continue the trials in real wet rainwater ponds in Odense.

Some of the biggest challenges in this project, were that the project was started in the end of the growing season for the vegetation as well as the very short trial period. The vegetation needed time to acclimatize to the new environment in the tanks in the end of their growing season. But at the same time the data collection needed to start. Another uncertainty on the tendencies of the data, was there no replicates. To convert the tendencies of the data to results, more projects with replicates must take place.

In this project we saw tendencies that could indicate floating islands might have a positive effect on the retention effect of wet rainwater ponds. The future work with documenting the effect will continue in the next years in a MUDP supported project with the same project group. At this moment it is not possible to deliver validated results on the effect of floating island in wet rainwater ponds from this project. But all experiences and data will be transferred to our next project with MUDP.

Introduktion

Våde regnvandsbassiner er en af de mest anvendte metoder til forsinkelse og rensning af afstrømmende regnvand og er anerkendt som BAT i Danmark. Udfordringen, for de våde regnvandsbassiner, er at fjerne opløste stoffer i regnvandet. Det kan være for eksempel næringsstoffer, metaller og organiske forbindelser. Projektet tog udgangspunkt i at undersøge om flydeøer kan optimere renssevnen i våde regnvandsbassiner ved at fjerne udvalgte opløste næringsstoffer og metaller. I projektet har vi testet flydeøers renssevne under kontrollerede forhold i et udendørs vådlaboratorium på Syddansk Universitet.

ECO Island er udvikler og producent af flydeøerne, og leverede flydeøer til projektet. Syddansk Universitet lagde udendørs vådlaboratorium til og stod for den daglige drift af projektopstillingen samt prøvetagning i vandfasen. Københavns Universitet stod for undersøgelser af planternes vækst herunder overjordisk og underjordisk biomasse for reference planter + test øer ved forsøgets afslutning, derudover har vi målt flydeøernes optag af div. stoffer for ref. planter, flydeøernes bestanddele og test øerne.

VandCenter Syd var ansvarlig for projektledelse, administration og havde rollen som bruger af flydeøer.

Projektet bestod af 5 arbejdsopgaver:

- **AP1:** Karakterisering af forsøgsdesign med måleprogram.
Der fastsættes et forsøgsdesign inklusive måleprogram på baggrund af eksisterende litteratur omkring flydeøer, viden om næringsstofoptag, fyto Remediering i planter og krav til renseseffektivitet i våde regnvandsbassiner. Der er fokus på øernes evne til at rense regnvandet samt på optaget i plantebiomassen.
- **AP2:** Forberedelse af forsøgssopstilling.
Til forsøget anvendes afstrømmende regnvand fra veje og P-pladser omkring SDU som om nødvendigt spises, så vandet indeholder gennemsnitsværdier for afstrømmende regnvand i Danmark. Som forsøgssopstilling anvendes 1 m³ tanke, hvor vi kan styre gennemstrømningen af vand. Der installeres sensorer til løbende måling af flow og vandkvalitetsparametre.
Måtter og planter leveres af Eco Island.
- **AP3:** Kontrolleret tankforsøg med dataindsamling og analyse.
Arbejdsopgaven er gennemført med en ekstra tank, frem for de 3 tanke der er beskrevet i ansøgningen.
Tankforsøget gennemføres i 4 tanke over 3 måneder med en volumenbelastning svarende til 3 måneders nedbør. Ind- og udløbskoncentrationer samt flow monitoreres således der kan beregnes en massebalance per tank. Der analyseres for de stoffer som er nævnt i tabel 1.
- **AP4:** Vidensdeling med vejledning til vandselskaber og oplæg til efterfølgende MUDP finansieret projekt. På baggrund af projektets resultater udarbejdes en afsluttende projektrapport. De resultater vi har opnået i projektet, har givet anledning til yderligere forskning og forsættes i et MUDP-støttet projekt. Derfor vil al data og erfaring, opnået i dette projekt indgå direkte i et større fuldskalaprojekt, som kan bane vejen til et datablad med en tilhørende vejledning til forsyninger om anvendelsen af flydeøer i våde regnvandsbassiner.
- **AP5:** Projektledelse (administration, økonomi, afrapportering, formidling).
Projektledelsen varetages af VCS i samarbejde med de deltagende projektpartnere. SDU og KU er ansvarlige for at udarbejde den endelige rapport, ligesom de også er ansvarlige for projektets kommunikation.

I AP3 i ansøgningen er forsøgsopstillingen beskrevet med 3 tanke, men ved forsøgets opstart opstod et behov for en ekstra tank. Det skyldes flydeøens organiske vækstlag, som også kan have en effekt i regnvandsbassinerne. I projektet har der derfor været 4 tanke med hver deres fokusområde, som beskrives i afsnittet projektresultater. Fordi projektet er tænkt som et pilotprojekt og som en mulighed for at teste og få grundlæggende praktiske erfaringer med flydeøerne, har fokus været en forholdsvis kort projektperiode, med formål på at opnå tendenser frem for en lang og ressourcekrævende projektperiode, det ville kræve hvis der skulle opnås valide data.

Projektets betydning for vandbranchen

Projektets formål er at undersøge flydeøers potentielle multifunktionelle anvendelse i våde regnvandsbassiner. Udfordringen er todelt:

- 1) Der vil være fokus på at fjerne de opløste stoffer i regnvandet, som gælder både næringsstoffer, metaller og organiske forbindelser.
- 2) Desuden vil der være fokus på at undersøge planternes vækst herunder overjordisk og underjordisk biomasse

Særligt første punkt rammer et behov i vandbranchen. Hvis renseevnen i regnvandsbassinerne kan optimeres, kan der i fremtiden måske kigges på dimensioneringskravene til nye bassiner og driftsbehovet i eksisterende bassiner.

Marked og/eller anvendelsesmuligheder

Markedspotentialet for planteøernes anvendelse i våde regnvandsbassiner centrerer sig primært omkring effektmålingerne og tilvejebringelsen af data, da det har vist sig at være helt afgørende at levere lokal (geografisk nærhed) dokumentation for renseseffekten af planteøerne for at få adgang til det danske (og europæiske) marked.

På den baggrund forventes VUDP-projektet at understøtte adgang til et marked, som på nuværende tidspunkt ikke er tilgængeligt, grundet manglende dokumentation. Særligt i behandlingen for dispensationen fra §3 hos kommunerne, er det efter mange henvendelser fundet nødvendigt at sikre effekten af ændringen i vandspejlet, da enhver ændring eller brydning af vandspejlet i ferskvandsområder over 100m² skal dispenseres fra kommunen.

I takt med krav til overvågning, oprensning og forbedring af vandkvalitet i naturen stiger, efterspørges i stigende grad løsninger til rensning af forurenende stoffer opløst i vandfasen, heriblandt tungmetaller, og næringsstoffer.

Det estimeres, at der på nuværende tidspunkt findes ca. 2.500 regnvandsbassiner i Danmark, og der anlægges hele tiden nye bassiner som en del af fremtidens klimatilpasning. Med en gennemsnitspris på 150.000 - 300.000 kr. per bassin, er det totale markedspotentiale i Danmark alene for løsningen med planteøer på mellem 375 mio. DKK og 750 mio. DKK under forudsætning af, at der anlægges planteøer i alle bassiner.

Herudover vurderes det, at projektet kan være med til at bane vej for applicering af planteøer i regnvandsbassiner i EU generelt, særligt Tyskland og Holland, da begge lande anvender regnvandsbassiner som en del af deres klimatilpasning.

Flydende planteøer som koncept er desuden allerede kendt i Holland, og det er Eco Islands erfaring, at det er langt lettere at få tilladelse til at installere flydende planteøer i Holland end her i Danmark. Tyskland fremhæves dels fordi det er vores største nærmarked (den tredjestørste økonomi i OECD) Desuden har Tyskland gennem en årrække udviklet ambitiøse miljøpolitikker både nationalt og internationalt og har skabt en lovmæssig ramme med fokus på miljøbeskyttelse og bæredygtig udvikling (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2023). Eco Island har tidligere været i dialog med repræsentanter for Udenrigsministeriet (Trade council) der mente, at flydeøer kunne få stor udbredelse, men det kræver dokumentation for rensningseffekt – ganske som i Danmark.

I EU's seneste satsning indenfor bæredygtighed og klimatilpasning lægger EU særlig vægt på det multifunktionelle i løsningerne. Det betyder i praksis, at løsninger som regnvandsbassiner vinder

frem, da de både skaber en rekreativ værdi, og er til gavn for biodiversiteten, samtidig med at de kan dimensioneres til at tage fremtidens vejrhændelser.

På samme måde er planteøerne multifunktionelle naturbaserede løsninger, og det vil fremadrettet være afgørende at dokumentere både gavnlige reensegenskaber, øernes effekt som et rekreativt element samt deres egenskaber ift. forbedring af biodiversiteten, med henblik på at kunne sælge løsningen til EU i fremtiden.

Ved at dokumentere planteøernes positive effekt, vil der kunne skabes en konkurrencemæssig fordel for de flydende planteøer, som supplement til fremtidige og nuværende regnvandsbassiner.

Det primære marked i regnvandsbassiner med fokus på håndtering og rensning af regnvand er allerede en del af fremtidens klimatilpasning, og dette marked er i kraftig vækst i både Danmark og Europa men også lande som USA og Australien har fokus på regnvandshåndtering.

Eksempelvis har EU i perioden 2014 - 2020 afsat 220.8 mia. Euro til indsatser mod klimaforandringer i medlemslandene. Dette beløb svarede til 20 % af EU's budget for perioden, fra 2021 afsættes 30% af EU's budget til klimainsatser (European Commission, 2023).

Udover det marked, der direkte adresseres i dette VUDP-projekt forventes den effektdokumentation, der tilvejebringes her at understøtte adgangen til andre applikationsområder, hvor det mest lovende handler om de såkaldte Waste Stabilization Ponds (WSP):

WSP-anlæggene er i grove træk opbygget på samme måde som de danske våde regnvandsbassiner. Det er den mest udbredte teknologi til spildevandshåndtering i hovedparten af udviklingslandene og bruges desuden som supplement til vandrensning i de fleste andre lande. Eksempelvis findes der mere end 2500 WSP-systemer i Frankrig, 3000 i Tyskland og over 7000 WSP-anlæg i USA.

Da opbygning og funktion af disse anlæg er sammenlignelig med de danske regnvandsbassiner, anses områder, der anvender WSP teknologien som et oplagt marked for de flydende planteøer. WSP-anlæggene er typisk betydelig større end regnvandsbassinerne, så vi estimerer, at de planteøer, der skal anlægges, er mellem 3-5 gange større dvs. gennemsnitsprisen for disse bliver min. 450.000 DKK - 1.5 mio. DKK per WSP-anlæg. Det totale markedspotentiale for løsningen bliver alene i USA, Tyskland og Frankrig på 3,75 mia. kr. Herudover kommer potentialet i udviklingslandene samt de lande, der ikke har opgjort antallet af WSP-anlæg.

Et tredje marked udgøres af byerne, og her vil markeds- og kommercialiseringspotentialet for planteøerne øges betragteligt grundet en kombination af effektdokumentation på vandrensningen og en kortlægning af værdien af rekreative arealer med fokus på forbedring af den lokale biodiversitet. Dette kan blandt andet gøres ved at inddrage byernes blå infrastruktur (f.eks. anlagte og naturlige åer, søer, kanaler) i byernes klimatilpasning, og da sådanne urbane områder meget ofte lider af dårlig vandkvalitet og dårlig økologisk kvalitet herunder eutrofiering, anses fordelene ved anlæg af planteøer at være betydelige og modsvarer en del af byernes efterspørgsel efter Naturbaserede løsninger til brug ifm. klimatilpasning, der er i kraftig vækst.

Også i naturlige søer og åer forventes der at være et betydeligt markedspotentiale for planteøerne som et middel mod eutrofiering og ift. genopretning af ødelagte økosystemer om end dette potentiale i mindre grad er bundet op på nærværende projekts resultater.

Men for at sætte ovennævnte potentiale i perspektiv, så er der i EU's strategi afsat 20 mia. euro/år til indsatser, der øger biodiversiteten, mens de globale udgifter til biodiversitetsfremmende aktiviteter fra 2015-2017 var på 73-85 mia. euro/år og forventes at stige betragteligt i de kommende år grundet det markant øgede fokus på biodiversitet (European Commission, 2023). Ovennævnte markeder er alle i kraftig vækst.

Næste skridt

I projektet har vi testet flydeøers potentiale under kontrollerede forhold i et udendørs vådlaboratorium på Syddansk Universitet. Resultaterne har været interessante og vi kan derfor se en stor værdi i at forsætte forskningen af flydeøernes effekt i regnvandsbassinerne. Næste skridt bliver at anlægge et fuldskalaanlæg i et af VandCenter Syds eksisterende regnvandsbassiner.

Projektgruppen har med det formål ansøgt MUDP om midler til netop etablering og dokumentation i fuldskala, og dette projekt er blevet bevilget med opstart i februar 2023. MUDP-projektet startes op med baseline målinger for et udvalgt regnvandsbassin og følges op med anlæggelse af planteøer og målinger af vand og øer hen over 2 sæsoner.

Som en del af VUDP-projektets gennemførelse har der været nedsat en følgegruppe primært bestående af forsyningsselskaber og kommuner, og det har blandt andet været følgegruppens anbefaling, at VUDP-projektets resultater og målinger blev yderligere undersøgt i et fuldskala set up. Der er derudover igangsat en række tiltag med henblik på at øge kendskabet til VUDP-projektet og resultaterne herfra, for derigennem at styrke interessen for at implementere flydeøerne som værktøj i klimatilpasningen.

Formidlingsplan

Projektet er blevet præsenteret på DANVAS Vandforum 2023 i april. Præsentationen kan ses i bilag A.

Projektgruppen har ligeledes afleveret et synspunkt til Ingeniørens digitale sektion WaterTech. Synspunktet er bragt den 20. juni 2023, og kan læses her: [Er det muligt at forbedre rensning i våde regnvandsbassiner ved at tilføje flydeøer? | WaterTech \(PRO\)](#).

Projektets resultater vil videreføres til et MUDP-støttet projekt, kaldet 'Rensning, biodiversitet og rekreative værdier i våde regnvandsbassiner'. Resultater og læring fra projektet giver en stor værdi for MUDP-projektet, da vi kan tage erfaringerne med i det næste projekt. I MUDP-projektet vil der være en følgegruppe med interessenter, som løbende gennem projektperioden, vil inddrages i projektet og få kendskab til de erfaringer og tendenser vi ser. Både fra VUDP-projektet og dem vi vil opnå gennem MUDP-projektet. Derfor vil resultaterne fra dette projekt, videreføres og anvendes hen over de næste 3 år i MUDP-projektet. MUDP-projektet vil ligeledes bane vejen for udarbejdelse af et datablad eller en vejledning til anvendelse af flydeøer i regnvandsbassiner.

Projektet

Formål

Formålet er at undersøge flydeøers potentielle multifunktionelle anvendelse i våde regnvandsbassiner. Der findes i Danmark mindst 2550 bassiner (DANVA's statistik) og flere er undervejs. Udfordringen er at fjerne de opløste stoffer i regnvandet: næringsstoffer, metaller og organiske forbindelser. Vi vil derfor teste flydeøers renseevne under kontrollerede forhold i et udendørs vådlaboratorium på SDU. Viser resultaterne sig lovende, vil vi afprøve teknologien i et regnvandsbassin i et MUDP støttet projekt, vi søger med opstart i 2023.

Output

Forsøgsresultaterne tolkes og afleveres i en rapport, se bilag C. Rapporten er indsendt til MUDP og skal danne rammesætningen for MUDP-projektet. Erfaringerne, der blev opnået i projektet, er beskrevet i rapporten, og tages med i planlægningen af næste fase, som udføres i MUDP-projektet.

Metoden, som er beskrevet i afsnittet projektræsultater, har givet en masse læring, som skal anvendes direkte i vores MUDP-støttede projekt, hvor flydeøerne skal testes i regnvandsbassiner.

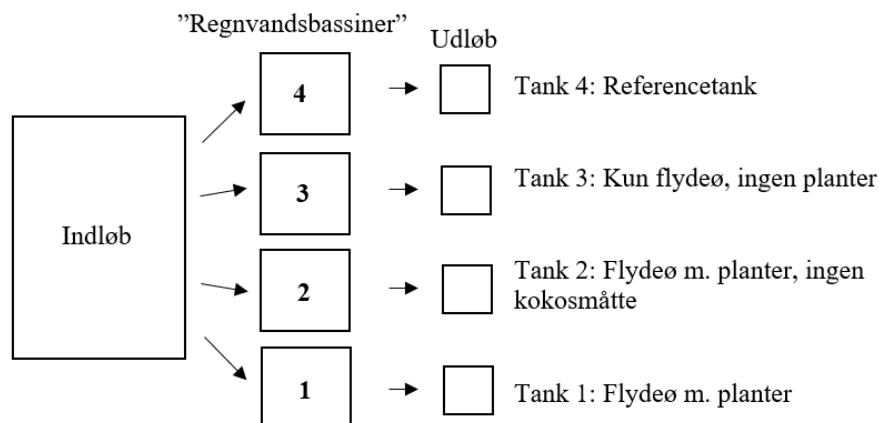
Projektræsultater

Afsnittet projektræsultater er inddelt i fire mindre afsnit, hvor først projektopstillingen og fremgangsmetoden er beskrevet. Herefter først et afsnit om de tendenser der er gjort for biomassen, og så et afsnit om tendenserne for vandfasen. Til sidst et afsnit om de erfaringer der er gjort i projektet, og som skal anvendes til næste projekt.

Fremgangsmetode

Forsøgsopsætningen består af 3 indløbstanke (1 m³), 4 forsøgstanke (1 m³) og 4 udløbstanke (0,4 m³). Som nævnt tidligere, er der kommet en ekstra tank med i forsøget i forhold til beskrevet i ansøgningen. Det skyldes at alle komponenterne i flydeøerne kan have forskellig betydning for flydeøernes effekt i regnvandsbassinerne. I flydeøerne er der både planter og et organisk vækstmedie bestående af en kokosmåtte. For at få en indikation om kokosmattens effekt, var det nødvendigt at få en ekstra tank, kun bestående af en flydeø med kokosmåtte men uden planter.

Indløbstankene blev løbende fyldt med vand fra nærliggende regnvandsbassin. Indløbsvandet blev spiket med fosfat, zink og kobber, for at opnå de ønskede koncentrationer på hhv. 400 ug/L P, 200 ug/L Zn, 50 ug/L Cu. Vandet blev ledt fra indløbstanke til forsøgstanke 1, 2, 3 og 4 så det simulerede varierende regnhændelser. Der blev ledt præcis samme mængde vand til alle tanke. Mængden af indløbsvand er bestemt således det afspejler virkeligheden i forhold til dimensionering af regnvandsbassiner. På samme vis er afstrømningshastigheden bestemt. Når alt vand er afstrømmet, udtages en udløbsprøve som er en samlet pulje for hele regnhændelsen. For forsøgstanke er der en permanent vandvolumen på 700 liter. Hændelserne varierer fra alt mellem 34 liter til 374 liter.



Figur 1 Skitseret forsøgsopstilling på SDU. Fra venstre til højre: indløbstank forsyner tank 1-4 (regnvandsbassiner) med spiket vand, som afstrømmer til tilhørende udløbstanke. Forsøgstankene bliver refereret som "regnvandsbassinerne", da formålet er at de skal simulere virkelige regnvandsbassiner.

I forsøget blev flydeøerne tilplantet med arterne Lysesiv, *Juncus effusus*, og Gul iris, *Iris pseudacorus*. Begge arter betragtes som værende hjemmehørende arter i Danmark og naturligt forekommende i fugtige miljøer langs søbredder grøfter og vandløb. Arterne er almindeligt anvendt på flydeøer (Schück & Greger, 2022). Lysesiv er en tueformet flerårigplante med indtil 1 meter lange, stift oprette runde skud. Den er vindbestøvet og blomstrer i juni-august. Planten er vintergrøn og kan derfor kendes det meste af året. Gul iris er en flerårig plante der spreder sig vegetativt og ved frø. Den kan blive ganske høj (60-100 cm). Den er let genkendelig på dens store gule blomster der blomstrer i juni-juli måned. Planten bestøves blandt andet af bier. Begge test arter er værts (foder) plante for en række sommerfugle, næbmundede, tovinger og biller.

Inden forsøgsstart blev de elementer, som flydeøerne består af, udtaget til kemisk analyse og opdelt i følgende bestanddele:

- Flydelag af PE
- Kokosnet
- Kokosfyld

Desuden blev der udtaget og analyseret 2 gul iris og 4 lysesiv planter. Inden analysen blev planterne opdelt i følgende fraktioner:

- Levende overjordisk biomasse
- Dødt overjordisk biomasse
- Rødder

Prøvernes samlede tørstofmængde blev bestemt inden en delmængde blev udtaget og analyseret for koncentrationen af de stoffer som er nævnt i tabel 1.

Den samme metode til prøveudtagning og -opdeling blev benyttet ved afslutningen for de tre flydeøer og planter, som indgik i pilotprojektet. På baggrund af de bestemte tørstofmængder og kemiske analysedata blev den samlede mængde af stoffer bestemt i flydeøernes og planternes bestanddele.

Resultater for flydeøer og plantedele

Data for de kemiske analyser af flydeøerne og plantedele, bør ikke regnes for endelige resultater, da der ikke er indsamlet tilstrækkeligt data til, at det har været muligt at beregne standardafvigelser. Til dataindsamlingen er der kun anvendt én flydeø, for hver palletank. På hver flydeø var 2 gul iris og 4 lysesiv planter. Ved forsøgets start, blev en flydeø med tilhørende planter

analyseret. De resterende tre flydeøer og planter, som indgik i forsøget, blev analyseret ved sluttidspunktet.

De manglende replikater i projektet øger ligeledes risikoen for, at de tendenser, som ses i dette projekt, kan ændres, når der laves gentagelser. Dette undersøges nærmere i MUDP-projektet. Helt konkret kan det for eksempel være at den flydeø, som blev analyseret ved start, ikke indeholder samme mængde af de undersøgte stoffer, som de flydeøer, der blev anvendt i palletankene. Denne risiko kunne have været minimeret, hvis der havde været flere replikat-flydeøer.

Planterne visnede meget kraftigt tilbage i løbet af projektperioden. Det var særligt den overjordiske biomasse, som blev kraftigt reduceret. Den kraftige reduktion kan forklares ved at planterne gennemgik en akklimatiseringsperiode efter plantningen, samt at forsøget blev gennemført i efteråret, hvor planter visner. Vi formoder at planterne har kompenseret for tabet af overjordisk biomasse, ved at investere ressourcer i overlevelse. Det vil sige rodvækst samt nye overjordiske skud til vækst. Midtvejs i forsøgsperioden observeredes tydelige tegn på at planterne var begyndt at sætte nye skud fra grunden. Plantematerialet (både reference planter og testplanter) var generelt meget uensartet, hvilket betyder, at resultaterne kun viser en tendens. Sammenligner vi planternes biomasse og tilvækst med referencematerialet, kan man samlet set konstatere at Lysesiv havde størst rodtilvækst samt mindst negativ effekt på overjordisk biomasse i flydeøen uden kokospude (tank 2), mens Gul iris var mindst påvirket i overjordisk og underjordisk i flydeøen med kokospude (tank 1).

Resultater for vandmasserne

Der blev løbende målt suspenderet stof (SS), opløst organisk kulstof (DOC), P, N, Na, Cl, Zn, Cu, Cd, Pb, Fe, Ca og Al både på det vand som løb ind i forsøgstankene og det vand som løb ud af forsøgstankene. For hovedparten af stofferne blev der målt både partikulære og opløste fraktioner. Da ind- og udløbsvolumen var kendt/målt kunne massetransporten af de enkelte stoffer ind og ud af tankene beregnes.

Målinger på vandet ind og ud af tankene viser, at forsøgs-set-uppet efter hensigten fungerer som små regnvandsbassiner, idet tankene via sedimentation bl.a. tilbageholder en stor del (>90%) af det partikulære materiale, som tilføres tankene. Massetransporten med vandet ind og ud af tankene, når tankene testes med og uden øer, giver indikationer på, at øerne kan medvirke til rensning. Bl.a. ses en øget tilbageholdelse af nitrat i tankene med planter, sammenlignet med tankene uden planter og der ses en øget tilbageholdelse af mange af de undersøgte metaller i tankene med planter/øer sammenlignet med referencetanken.

Udover de undersøgte parametre i vandfasen og biomassen, har vi fået en hel masse læring af projektet. En vigtig forudsætning vi har erfaret i det her projekt er at der er en akklimatiseringsperiode for vegetationen. Når flydeøerne er blevet sat ud, er der en periode på 6-8 uger, hvor planterne skal akklimatisere sig til det nye miljø de står i. Det kan blandt andet medføre at dele af planterne visner og dør, som vi erfarede i projektet.

I ansøgningen har vi beskrevet projektet som ikke årstidsfølsomt. Men vi erfarede en forholdsvis kraftig tilbagegang i planterne ved opstart af forsøget. Det mener vi, skyldes at vi igangsatte projektet i slutningen af vækstsæsonen og derved startede etableringsfasen i august/september, hvilket har gjort overlevelsen hård for vegetationen. Så selvom flydeøerne kan være i regnvandsbassinerne året rundt, kan etableringstidspunktet have en betydning for planternes trivsel hvilket er en vigtig erfaring til kommende anbefalinger for implementering af flydeøer i regnvandsbassiner.

I idéfase for projektet var fokus på stofoptaget i plantedelene. Men efter projektansøgningen blev vi opmærksomme på at det vækstmedie som planterne lever i de første par år efter etableringen ligesom planterødderne, danner en biofilm og kan have en effekt på stofkoncentrationen i regnvandsbassinerne. For at belyse effekten af det organiske vækstmedie bedst muligt, blev det

besluttet i starten af projektet at tilføje en ekstra tank til projektet, hvor vækstmediet alene testes. Tendensen for vækstmediet er den samme som i planterne, altså at der ses en akkumulering af stoffer sammenlignet med en flydeø som blev analyseret som startø. Altså er det ikke kun plantedelene i flydeøen, som kan akkumulere udvalgte næringsstoffer og tungmetaller.

En af bekymringerne ved flydeøer, var hvad der sker med de stoffer som er i plantematerialet når det visner. Hvis stoffer frigives meget hurtigt når planten går til, er der en risiko for at det udledes til vandfasen. Det vil betyde at flydeøerne kun var en fordel i vækstsæsonen, og kunne risikere at være en ulempe i vinterhalvåret. I projektets 3 måneders forløb har vi ikke set tendenser på at der sker en frigivelse af stoffer til vandet når beplantningen visner. Det er et meget positivt resultat for flydeøerne og kun en indikation vi kan se, fordi vi har lavet forsøget i et så kontrolleret miljø. Havde vi udført projektet i fuldskala anlæg, kunne der have været andre faktorer som spiller ind på stofkoncentrationerne i vandfasen.

Konklusion

Forsøgene med analyse af flydeøerne peger på at øerne og planterne kan akkumulere flere af de undersøgte stoffer i våde regnvandsbassiner. De flydeøer som indgik i forsøget indeholdt større mængder af en lang række næringsstoffer (P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, og S) og tungmetaller (Cu, Zn, Ni, As, Cd, Cr og Pb) end den flydeø, som blev analyseret på starttidspunktet. For planterne er det specielt i rødderne der observeres en forøget mængde af hovedparten af ovennævnte stoffer. Disse tendenser kan dog ikke ses i vandfasen. Tendenserne fra vandprøver viser at palletankene har fungeret på samme måde som våde regnvandsbassiner, der er set en reduktion i koncentrationen af partikler i vandfasen, men der er ikke set en tendens til at koncentrationen af opløste stoffer er faldet i udløbet sammenlignet med indløbet.

De tendenser vi har set i dette projekt, har bidraget til muligheden for at lave et videnskabeligt feltforsøg i reelle regnvandsbassiner. Det bliver samtidigt muligt at inddrage en længere forsøgsperiode med flere vækstsæsoner og statistisk baserede repræsentative prøveudtagninger og analyser. De modsigende tendenser for biomasse/flydeøer og vandmassebalance er også meget interessante og vi ønsker at undersøge nærmere på hvad forskellen i tendenserne kommer af.

Udover de tendenser vi har set for de målte stoffer i biomassen, har vi i projektet fået en masse erfaringer, som beskrevet i resultatafsnittet, der leder hen imod nye åbne spørgsmål vi ønsker at undersøge videre i et fuldskalaprojekt. Blandt andet ønsker vi at undersøge:

- Hvad sker på langt sigt med de stoffer som er blevet bundet i flydeøerne og planterne? Frigives de negromassen når forskellige plantedele dør eller ender de i bassinsedimentet?
- Kan et kraftigt skybrud og øge vandgennemstrømningen og føre til at stofferne, som er bundet i sedimentet kan mobiliseres?
- Skal planter og evt. øer høstes ofte for at fjerne de stoffer som er bundet i dem?
- Skal vi lave en større og omfattende kortlægning af de danske arters evne til at indgå i vandbehandling med flydeøer?
- Hvilken effektivitet har flydeøerne på rensning af vandet i et regnvandsbassin både under den enkelte hændelse og over tid?

Det kommende projekt vil bl.a. afdække hvad vandets opholdstid i bassinet betyder for rensningen og hvordan rensningen vil være over året. Endelig skal et kommende projekt afdække om flydeøerne har større potentiale for at rense vandet for nogle parametre frem for andre.

Litteraturliste

- Arslan, M., Shahid, M., Ali, S., Siddique, M., & Afzael, M. (17. august 2018). *Wiley Online Library*. Hentet fra Floating Wetlands: A Sustainable Tool for Wastewater Treatment: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/clen.201800120>
- Ayaz, S., & Saygin, O. (maj 1996). Hydroponic tertiary treatment. *Water Research*, s. 1295-1298.
- Borne, K. (august 2014). Floating treatment wetland influences on the fate and removal performance of phosphorus in stormwater retention ponds. *Ecological Engineering*, s. 76-82.
- European Commission. (18. august 2023). *Biodiversity financing*. Hentet fra Environment: https://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/financing_en.htm
- European Commission. (18. august 2023). *Supporting climate action through the EU budget*. Hentet fra Climate action: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/supporting-climate-action-through-eu-budget_en
- Ladislav, S. E.-M. (17. August 2012). *Potential of Aquatic Macrophytes as Bioindicators of Heavy Metal Pollution in Urban Stormwater Runoff*. Hentet fra Springer Link: <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0909-3>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (18. august 2023). *Green growth in action: Germany*. Hentet fra OECD: <https://www.oecd.org/germany/greengrowthinactiongermany.htm>
- Saeed, T., Al-Muyeed, A., Afrin, R., Rahman, H., & Sun, G. (1. april 2014). Pollutant removal from municipal wastewater employing baffled subsurface flow and integrated surface flow-floating treatment wetlands. *Journal of Environmental Sciences*, s. 726-736.
- Schück, M., & Greger, M. (27. maj 2022). *MDPI*. Hentet fra Screening the Capacity of 34 Wetland Plant Species to Remove Heavy Metals from Water: <https://doi.org/10.3390/ijerph17134623>
- Shahid, M., & al., e. (10. juli 2020). *MDPI*. Hentet fra Role of Microorganisms in the Remediation of Wastewater in Floating Treatment Wetlands: A Review: <https://doi.org/10.3390/su12145559>
- Van de Moortel, A. (2011). *Constructed floating wetlands for combined sewer overflow water treatment*. Ghent, Belgium: Ghent University, Faculty of Bioscience Engineering.
- Walker, C., Tondera, K., & Lucke, T. (20. September 2017). *Stormwater Treatment Evaluation of a Constructed Floating Wetland after Two*

Years Operation in an Urban Catchment. Hentet fra MDPI:
<https://doi.org/10.3390/su9101687>

Wang, C., Sample, D., & Bell, C. (15. November 2014). Vegetation effects on floating treatment wetland nutrient removal and harvesting strategies in urban stormwater ponds. *Elsevier*, s. 384-393.