



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2024 30 stp

Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Kan takvann gjenbrukes som vannkilde i akvaponi?

Can collected water from rooftop runoff be reused as water source in aquaponics?

Åsa Lagerstedt
Miljøkjemi

Forord

Jeg vil rette et stort takk til mine veiledere Sondre Meland ved NIVA og Gunnhild Riise ved NMBU, for deres innspill og konstruktive tilbakemeldinger gjennom hele oppgaven. Deres kunnskap og erfaring har vært en betydningsfull ressurs.

Videre vil jeg takke de medarbeidere ved NIVA som har bidratt med sitt faglige perspektiv og ekspertise. Deres engasjement har vært et viktig bidrag.

Til slutt vil jeg takke Hanna, Linnèa, Tom og Maja for deres støtte og oppmuntring gjennom denne utfordrende, men også svært lærerike prosess.

Son, Februar 2024

Åsa Lagerstedt

Sammendrag

Med en økende befolkningsvekst og urbanisering vokser behovet for bærekraftige løsninger innen matproduksjon og ressursutnyttelse. Klimaendringer forsterker utfordringene, spesielt knyttet til vannforsyning i tørre områder og problemer med overvann i urbane områder ved intense nedbørsepisoder. Akvaponi som kombinerer fiskoppdrett og jordløs plantedyrking, anses være en lovende teknologi for å møte noen av disse utfordringene. Gjenbruk av overvann, inkludert takvann, samt implimentering av grønne tak, ses som viktige tiltak for klimatilpassning. Disse tiltakene kan bidra til å minske pressen på eksisterende vannforsyninger og redusere utfordringer med regnflom i urbane områder, samtidig som grønne tak bidrar til økt biologisk mangfold.

I denne masteroppgave utforskes mulighetene for å bruke takvann i akvaponisystemer med hensikt å redusere behovet for rent springvann. I tillegg undersøkes regelverket på dette område både i EU og Norge. I en feltundersøkelse ble vannprøver fra drivhustak, to grønne tak, et referansetak og fisketanken i en akvaponipilot analysert og sammenlignet med hensyn til vannkvalitet. Prøvene ble analysert for næringsstoffer, metaller, patogener, PAH16, totalt organisk karbon (TOC), biokjemisk oksygenforbruk (BOF 5d), total tørrstoff (TTS), alkalitet og pH. Analyseresultatene ble også vurdert opp imot forskjellige grenseverdier og anbefalinger, selv om disse ikke spesifikt gjelder for takvann eller akvaponi. Videre undersøktes hypotesen om infiltrasjon av regnvann gjennom grønne tak forbedrer vannkvaliteten og dermed gjør vannet mere egnet til bruk i akvaponi enn takvann.

Innenfor EU og i Norge har akvaponi idag ingen fastsatt juridisk status eller spesifikk regulering. Det eksisterene regelverket består av en kompleks blanding av lokale, nasjonale og EU-lover som håndterer drift av fiskeoppdrett og hydroponidyrking separat. I tillegg er det få konkrete retningslinjer for vannkvalitetsparametere i akvaponisystemer. For innhøstet regnvann finnes det per i dag ikke noen spesifikke lovmessige krav til vannkvaliteten tilknyttet formålet med bruken.

Resultatene av feltundersøkelsen viste at vannet fra de grønne takene generelt hadde høyere konsentrasjoner av ulike stoffer i prøveperioden enn vannet fra drivhus- og referansetakene. Dermed ser det ikke ut å til å være mer egnet til bruk i akvaponier. Vannet fra referansetaket hadde stoffkonsentrasjoner innenfor anbefalinger og vannforskriftens grenseverdier (MAC-EQS og AA-EQS) for henholdsvis akutte og kroniske effekter på fremst fisken i akvaponiet. Noen måleverdier av kobber (Cu) og sink (Zn) i vannet fra drivhustaket overskred disse grenseverdier. De grønne takene hadde høyere konsentrasjoner enn grenseverdier og anbefalinger for flere stoffer i hele eller deler av prøveperioden, blant annet Cu, Zn, aluminium (Al) og kadmium (Cd). En utvaskningseffekt ved den første nedbøren, etterfulgt av en fortyningseffekt med økt nebb over tid, kan forklare en generelt høyere konsentrasjon av de fleste stoffene i første delen av prøveperioden og lavere mot slutten.

En relativt høy konsentrasjon total tørrstoff (TTS) i vannet fra de grønne takene og drivhustaket, indikerer at mengden suspenderede stoffer (TSS) kan være høy og bør undersøkes nærmere. Det er også behov for nærmere undersøkelser av stoffer i potensielt giftige mengder, samt en vurdering av vannkvaliteten med hensyn til dens påvirkning på akvaponisystemet. Det kan være nødvendig å justere pH og alkalitet i takvannet, og det bør også vurderes å inkludere et enkelt rensetrinn før vannet anvendes i akvaponisystemet.

Abstract

As the population grows and urbanization continues, the need for sustainable solutions in food production and resource utilization increases. Climate change amplifies these challenges, particularly regarding water supply in arid regions and stormwater handling in urban areas during heavy rainfall. Aquaponics, integrating fish farming with soilless plant cultivation, is considered a promising technology to address some of these challenges. Reusing stormwater, including roof runoff, and implementing green roofs are recognized as vital measures for climate adaptation. These measures can help alleviate pressure on existing water supplies and mitigate urban flooding, while green roofs also contribute to increased biodiversity.

This master's thesis explores the potential of utilizing roof runoff as a water source in aquaponic systems, aiming to reduce reliance on clean tap water. It also examines the regulatory frameworks related to this topic in both the EU and Norway. As part of a field study, water samples from various sources including a greenhouse roof, two green roofs, a reference roof, and the fish tank in an aquaponic pilot were subjected to analysis for nutrients, metals, pathogens, PAH16, Total Organic Carbon (TOC), Biochemical oxygen demand (BOF 5d), Total solids (TSS), alkalinity, and pH. The results were compared in terms of water quality and evaluated against various water-quality criteria and recommended limits for selected properties and constituents. Moreover, the hypothesis that rainwater filtering through green roofs enhances water quality compared to rooftop runoff, making it more suitable for use in aquaponics was examined.

In both the EU and Norway, aquaponics currently lacks a defined legal status or specific regulation. Existing regulations consist of a complex mix of local, national, and EU laws that handle the operation of fish farming and hydroponic cultivation separately. Additionally, there are few concrete guidelines for water quality parameters in aquaponic systems. Regarding the quality of harvested rainwater, there are currently no specific legislative requirements, tailored to its intended use.

The field study found that the water from the green roofs generally showed higher concentrations of various substances during the sampling period relative to water from the greenhouse and reference roofs. Therefore, it does not appear to be more suitable for use in aquaponics systems. Water from the reference roof met recommended limits and the water regulations' threshold values (MAC-EQS and AA-EQS) for acute and chronic effects. Some measurements of copper (Cu) and Zinc (Zn) in the water from the greenhouse roof exceeded these thresholds. The concentrations of various substances in water from the green roofs intermittently exceeded thresholds and recommended limits throughout the sampling period, including Cu, Zn, aluminum (Al), and cadmium (Cd). The higher initial concentration of substances may be attributed to a washout effect during the first rainfall, followed by dilution as rainfall increased over time, with concentrations gradually decreasing towards the end.

The relatively high total solids (TSS) content observed in water from both the green roofs and greenhouse roof suggests a potentially elevated presence of suspended solids (TSS), indicating the need for further investigation. There is also a need for further examination of substances in potentially toxic concentrations, as well as an assessment of water quality considering its impact on the aquaponic system. Adjusting the pH and alkalinity of the roof water may be necessary, and a simple purification step prior to using the water in the aquaponic system should be considered.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
1. Innledning.....	1
1.1 Formål med oppgaven	2
1.2 Akvaponi	3
1.3 Takvann	5
1.4 Grønne tak	6
2. Material og metode.....	8
2.1 Deloppgave 1	8
2.2 Deloppgave 2.....	8
2.2.1 Områdesbeskrivelse	8
2.2.1.1 Akvaponi	10
2.2.1.2 Grønt tak- eng.....	12
2.2.1.3 Grønt tak- sedum	13
2.2.1.4 Referansetak	13
2.2.1.5 Drivhustak	14
2.2.2 Feltarbeid.....	14
2.2.3 Definisjoner og fortydligende	15
2.2.3.1 Plantenæringsstoffer	15
2.2.3.2 Andre vannkvalitetsparametere	15
2.2.4 Databehandling og analyse.....	16
2.2.4.1 Statistikk.....	16
3. Resultat og diskusjon	17
3.1 Regelverk og retningslinjer i EU og Norge.....	17
3.1.1 Akvakultur.....	17
3.1.2 Hydroponi.....	19
3.1.3 Vannforskriften	21
3.1.4 Akvaponi og gjenbruk av takvann	22
3.2 Vannkvalitet i takvann og fisketank.....	23
3.2.1 Nedbør	23
3.2.2 Plantenæringsstoffer	24
3.2.2.1 Makronæringsstoffer	24

3.2.2.2 Mikronæringsstoffer	25
3.2.3 Andre metaller- aluminium, arsen, kadmium, bly, krom	28
3.2.4 Patogener	30
3.2.5 PAH16	31
3.2.6 Andre vannkvalitetsparametere	31
3.2.6.1 TOC- Totalt organisk karbon	31
3.2.6.2 BOF 5d- Biokjemisk oksygenforbruk	31
3.2.6.3 TTS- Total tørrstoff	32
3.2.6.4 Alkalitet	33
3.2.6.5 pH	33
3.3 Grønne tak vs. drivhus- og referansetak	34
3.4 Anbefaling og videre studier	37
3.5 Konklusjon	39
Referanser	40
Vedlegg	49
Vedlegg 1- Informasjon om engkassetter	49
Vedlegg 2- Informasjon om sedumkassetter	51
Vedlegg 3- Deskriptiv statistikk	52
Vedlegg 4- Rådata prøveresultater	56
Vedlegg 5- Analysemetoder, LOQ og analyserende laboratorium	65
Vedlegg 6- Høringsnotat Mattilsynet	66

1. Innledning

I en tid med raskt økende befolkningsvekst og begrensede ressurser globalt, øker behovet ikke bare for bærekraftige løsninger og effektiv matproduksjon, men også for optimal utnyttelse av begrensede ressurser som landarealer, vann og næringsstoffer (FAO, 2021).

Samtidig påvirker klimaendringer miljøet på forskjellige måter og bidrar til økte utfordringer. Dette inkluderer en økning i frekvensen og intensiteten av fenomener som hetebølger, tørke og flom (European Environment Agency, u.å.-a). Disse endringene i klimamønstrene kan ha alvorlige konsekvenser for økosystemer, landbruket, vannforsyningen og samfunn generelt. I Europa vil endringer i nedbør variere betydelig, med kraftig regn i nord, flere ekstremer i Sentral-Europa og i sør vil mindre nedbør, kombinert med hyppigere hetebølger, gi større risiko for tørke (European Environment Agency, u.å.-a; European Environment Agency, u.å.-b). I Europa er vannmangel og tørke stadig mer vanlig og utbredt, selv om de fleste områdene foreløpig har tilstrekkelige vannressurser. En ytterligere forverring av tilgang på vannressurser forventes dersom temperaturene fortsetter å stige som følge av klimaendringer. (European Commission, u.å.-f)

En stor del av befolkningsøkningen skjer i urbane regioner og innen 2050 forventes mer enn to tredjedeler av verdens befolkning bo i byer og tettsteder (UN, 2018). I Europa er antallet estimert til over 80 prosent (European Commission, u.å.-e). I tillegg til utfordringer med infrastruktur og store mengder mattransporter gir dette også flere tette flater som øker utfordringene med overvann i byer, spesielt i områder med hyppige nedbørsepisoder (Matuschke & Kohler, 2014; Meland et al., 2021).

Disse utfordringene understreker behovet for å finne innovative tilnærminger for å møte matbehovene til en stadig voksende befolkning, samtidig som man ivaretar miljøet og sikrer langsiktig bærekraft. Det er også behov for flere avanserte og tilpasningsdyktige måter for håndtering, oppsamling og gjenbruk av regnvann (Emil et al., 2023; Water Europe, 2020). I EU er det store satsninger på dette gjennom ulike prosjekter innenfor «The European green deal» med strategier som blant annet innefatter «The farm to fork strategy», «The EU Green infrastructure policy», «EU Climate adaption strategy» og «Circular economy action plan» (European Commission, u.å.-a; European Commission, u.å.-b; European Commission, u.å.-c; European Commission, u.å.-d).

Akvaponi er en metode for matproduksjon hvor akvakultur og hydroponi kombineres, og er en lovende teknologi med potensial til å møte noen av utfordringene knyttet til matproduksjon og miljøvern (Goddek et al., 2019). FNs Organisasjon for ernæring og landbruk (FAO) har identifisert akvaponi som en bærekraftig fremtidig praksis for matproduksjon, på grunn av fordelene den gir innen miljø og matsikkerhet (Somerville et al., 2014). Moderne akvaponi er basert på resirkulerende akvakultursystemer (RAS), noe som bidrar til redusert vannforbruk (Goddek et al., 2019; Ungfors et al., 2015). Dette gjør også at den kan plasseres på steder som ikke er egnet for annen matproduksjon, inkludert urbane områder, og gjør den egnet til lokal matproduksjon (Goddek et al., 2019; Reinhardt et al., 2019; Ungfors et al., 2015). Lokal matproduksjon i urbane områder kan minske avhengigheten av ekstern forsyning og minimere antallet transportert (Joyce et al., 2019). Selv med full resirkulering av vann vil plantenes forbruk, fiskesprut og fordamping i systemet innebære at det er behov for å jevnlig tilføre mere vann (Yep & Zheng, 2019). For å styrke bærekraften ytterligere, kan det være hensiktsmessig å vurdere alternative vannkilder til springvann, innsjøer og elver.

Det er i økende grad et ønske om å gjenbruke overvann, inkludert takvann, som en ressurs (Emil et al., 2023; Water Europe, 2020). Studier tyder på at oppsamling av regnvann kan utgjøre et godt supplement til eksisterende vannforsyninger og samtidig bidra til en effektiv håndtering av overvann (Lye, 2009). Deksissa et al. (2021) konkluderer i sin litteraturstudie av urbant landbruk og overvannshåndtering at vannet med fordel kan gjenbrukes til matproduksjon i urbant landbruk. Dette er også i tråd med den europeiske grønne given (The European green deal) og kan bidra til å bevare ferskvannsressurser samt styrke evnen til å håndtere det økende presset på vannressursene ved å redusere uttaket av vann fra elver, innsjøer og grunnvann (Water Europe, 2020; Wise Freshwater, u.å.).

Samtidig er det en økende interesse for å benytte grønne tak som en del av klimatilpasningen (Scandinavian Green Roof Institute, u.å.). I Oslo kommune er det for eksempel utarbeidet en strategi for grønne tak og fasader som skal tilrettelegge for å etablere flere og bedre grønne tak og fasader og som vil gi et positivt tilskudd til byen over tid. I tillegg er det et uttalt mål at de skal være flerfunksjonelle med funksjoner som bidrag til blågrønne løsninger, energiproduksjon og fremme av folkehelsen (Oslo Kommune, 2022). En av hovedfunksjonene med grønne tak er å redusere utfordringer med regnflom i urbane områder ved å dempe avrenningen fra tak etter styrtregn (Hanslin & Johannessen, 2018). De kan også ha andre formål, som isolasjon av bygninger, økning av det biologiske mangfoldet i området, reduksjon av lufttemperaturen, bidrag til et grønnere bymiljø, og til og med matproduksjon. (Scandinavian Green Roof Institute, u.å.; Özyavuz et al., 2015).

Denne oppgaven utforsker muligheten for å kombinere gjenbruk av takvann og akvaponi. Vann fra et drivhustak, to grønne tak samt et referansetak er blitt analysert for å indentifisere potensielle forurensinger og plantenæringsstoffer. Hvorvidt det er mulig å bruke takvann som vannkilde i akvaponi vil avhenge faktorer som kvaliteten på innløpsvannet, sammensetningen i de grønne takene (materialvalg, type vegetasjon etc.) og mulighet til eventuell rensing av vannet hvis det viser seg nødvendig. Denne studie vil gi innsikt i bærekraftige metoder for vannhåndtering og matproduksjon gjennom integrering av takvannsgjenbruk og akvaponisystemer.

1.1 Formål med oppgaven

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har installert en akvaponi-pilot som en del av prosjektet «Urban Stormwater Aquaponics Garden Environment (USAGE)» (<https://www.niva.no/prosjekter/usage>) ved Natur Videregående Skole (Natur VGS) i Oslo. Prosjektet omfatter også to grønne tak og ett referansetak som er installert i området. I tillegg finnes et drivhus i umiddelbar nærhet. Gjennom dette oppsettet blir det utført omfattende undersøkelser for å vurdere potensialet og bærekraften til akvaponi i kombinasjon med grønne tak og takvannsbruk. Dette gir verdifull innsikt i hvordan slike systemer kan integreres for å optimalisere ressursbruk og fremme bærekraftig matproduksjon i urbane områder.

Dette prosjektet er en del av den nevnte studien med hovedmålet å undersøke bruk av takvann som en passende vannressurs i akvaponisystemer, med sikte på å redusere avhengigheten av ferskvann for å erstatte tapt vann i systemet.

Denne oppgaven er en del av det nevnte prosjektet med hovedmålet å undersøke muligheten for bruk av takvann som en egnet vannkilde i akvaponisystemer, med sikte på å redusere

behovet for rent springvann for å erstatte tapt vann i systemet. Dette kan potensielt bidra til en mer bærekraftig utnyttelse av takvann samtidig som det adresserer utfordringene knyttet til overvann i urbane områder, spesielt under intense nedbørsepisoder. For å svare på hovedmålet har to delmål blitt definert:

1. I deloppgave (1) belyses gjeldene regelverk for gjenbruk av takvann til produksjon av fisk og planter i akvaponi. Videre identifiseres muligheter og barrierer nasjonalt og internasjonalt (EU).
2. I deloppgave (2) undersøkes forurensingsgraden i takvann fra et drivhustak, to grønne tak samt et referansetak. I tillegg testes hypotesen: infiltrasjon av regnvann gjennom grønne tak gjør vannet mer egnet enn takvann, uten infiltrasjon gjennom vegetasjon, til produksjon av fisk og planter i akvaponi.

1.2 Akvaponi

Akvaponi er en relativt ny og fremvoksende teknologi for matproduksjon som kombinerer akvakultur (fiskeoppdrett) med hydroponi (vannbasert dyrking av planter) i et integrert økosystem (Þórarinsdóttir et al., 2015). Akvaponi betraktes som lovende når det gjelder å fremme en mer sirkulær og bærekraftig matproduksjon i ulike miljøer, inkludert urbane områder (Reinhardt et al., 2019; Somerville et al., 2014). Noen av fordelene med akvaponi er samlokalisering for produksjon av to produkter (fisk og planter), den effektive bruken av vann gjennom resirkulering, og begrensede utslipp til omgivelsene ved at de naturlige avfallsproduktene fra fisken brukes som ernæring til plantene (Goddek et al., 2019; Þórarinsdóttir et al., 2015). Dette bidrar også til å redusere behovet for å tilføre kunstgjødsel til plantene (Joyce et al., 2019).

Vannet fra fiskeproduksjonen blir naturlig næringsrikt på grunn av fôrrester og næringsstoffer som blir skilt ut av fisken gjennom gjellene, urin og avføring. (Dorick et al., 2021; Þórarinsdóttir et al., 2015). Dette næringsrike vannet blir transportert til hydroponidelen gjennom partikkel- og biofiltre, der partikler fjernes og mikrober bryter ned organiske forbindelser, slik at de blir tilgjengelige for opptak av plantene (Love et al., 2015; Yep & Zheng, 2019). Et sentralt trinn med hensyn til næringsstoffer er omdanning av ammoniakk (NH_3) til nitrat (NO_3^-) via nitritt (NO_2^-), som er mindre giftig for fisken og samtidig tilgjengelig for plantene (Havforskningsinstituttet, 2021; Yep & Zheng, 2019). Dette skjer ved hjelp av nitrifiserende bakterier. Ammoniakk skilles ut over gjellene og frigjøres også som et resultat av nedbryting av proteinholdige fôrrester (Rusten, 1987). I hydroponisystemet tar plantene opp næringsstoffer og vannet resirkuleres deretter tilbake til fisketankene, renses for akkumulerte næringsstoffer (Þórarinsdóttir et al., 2015). Moderne akvaponi bygger på prinsippene til resirkulerende akvakultursystemer (RAS), og ved å resirkulere 100 prosent av vannet oppnås et lukket system (Goddek et al., 2019; Junge et al., 2017). Figur 1 viser prinsippet for et lukket akvaponisystem med fisk, bakterier og planter.



Figur 1:HydroMagic Farms (u.å.) Prinsipp for et lukket akvaponisystem med fisk, bakterier og planter. Tilgjengelig fra <https://hydromagicfarms.no/v%C3%A5r-l%C3%B8sning> (lest 20.01.2024)

For å oppnå en optimal produksjon og skape et stabilt økosystem er det viktig å finne en vellykket kombinasjon og balanse, både mellom ulike arter og mengde fisk, planter og bakterier (Baganz et al., 2022; Goddek et al., 2019; Þórarinsdóttir et al., 2015). En forstyrrelse av balansen kan påvirke vannkvaliteten og for eksempel føre til høye nivåer av NH_3 eller NO_2^- som kan være skadelig for fisken (Goddek et al., 2019). Slike forstyrrelser kan oppstå blant annet på grunn av plutselige endringer i plante- eller fiskebiomasse, en reduksjon i filterkapasiteten, eller en plutselig endring i pH (Mullins et al., 2016; Yavuzcan Yildiz et al., 2017).

I akvaponisystemer er vannkvalitet av stor betydning og det er viktig å ha kontroll på flere vannkvalitetsparametere til en hver tid (Þórarinsdóttir et al., 2015). Disse parametere omfatter både de som er nødvendige for overlevelse, som næringsstoffer, oksygen, nitrogenforbindelser og karbondioksid, men også skadelige stoffer og faktorer som setter grenser for overlevelse, som pH og temperatur (Þórarinsdóttir et al., 2015; Yavuzcan Yildiz et al., 2017). Mange av disse parameterne samhandler med og påvirker hverandre på komplekse måter (Yavuzcan Yildiz et al., 2017). Ugunstig vannkvalitet kan påvirke både planter og fiskehelsen negativt. For eksempel kan akkumulering av NH_3 etterhvert være toksisk for fisken, men hvis NH_3 omdannes til NO_3^- kan det tas opp av plantene (Havforskningsinstituttet, 2021; Yep & Zheng, 2019). Videre er pH-verdien en sentral parameter som påvirker optimaliseringen av akvaponiproduksjonen med hensyn til fiskevelferd/helse, bakteriene i biofilteret og plantenes behov (Yavuzcan Yildiz et al., 2017).

Fisk, bakterier og planter har ulike optimum for flere vannparametere (Baganz et al., 2022; Goddek et al., 2019). I tillegg har forskjellige arter av fisk og planter ulike preferenser og tålegrenser for vannparametere og stoffer (Goddek et al., 2019). Optimale verdier eller toleransegrenser varierer også med fiskens utviklingsstadium (Yavuzcan Yildiz et al., 2017). Det som kan være giftig og forårsake dødelighet i én situasjon, kan være harmløst i en annen (Joseph et al., 1993). Det er viktig å finne et godt kompromiss når det gjelder vannparametere

for å sikre en god vannkvalitet (Þórarinsdóttir et al., 2015). Parameterne må tilpasses det spesifikke systemet og kombinasjonen av arter, og det finnes derfor ikke en fasit på hva som er riktig (Love et al., 2015).

Selv om akvaponi potensielt kan bidra til en mer sirkulær og bærekraftig matproduksjon er det fortsatt en relativt ny teknologi som kan forbedres ytterligere. Energieffektivisering, bruk av fornybare energikilder og resirkulert vann eller regnvann er noen eksempler på dette (Goddek et al., 2019; Junge et al., 2017). I lukkede akvaponisystemer med full resirkulering vil vannforbruket bestå av vannet som må tilføres på grunn av fiskesprut, fordampning i systemet og plantetranspirasjon (Mullins et al., 2016; Yep & Zheng, 2019). Vann av god kvalitet bør brukes til å erstatte tapt vann. Kilder kan være kommunalt vann, grunnvann eller regnvann, men bør testes for egnethet (Mullins et al., 2016).

1.3 Takvann

Tak utgjør ofte nesten halvparten av de tette overflatene i byer og bidrar dermed til den viktigste avrenningen av overflatevann i byområder (De Buyck et al., 2021; Farreny et al., 2011). Regnvann betraktes generelt som en relativt ren vannkilde, og oppsamling av regnvann, blant annet fra tak, anses å ha stort potensial for å håndtere ekstreme værhendelser med vekslende mellom vannmangel og overskudd. Disse hendelsene forventes bli mer intense på grunn av klimaendringer (Emil et al., 2023; European Environment Agency, u.å.-a; Meera & Mansoor Ahammed, 2018).

Studier referert i Meera og Mansoor Ahammed (2018), Gwenzi et al. (2015) og andre steder har påviset forekomst av kjemiske og mikrobiologiske forurensninger i takvann. Disse forurensninger kan forekomme i konsentrasjoner som overstiger anbefalt kvalitet og lovverk for overflatevann og/eller drikkevannsstandarder fra ulike deler i verden, inkludert USA, Kina, EU og WHO (De Buyck et al., 2021; Ferrand, 2014). I en omfattende gjennomgang av litteratur, hvor over 100 forurensningstoffer i takvann og mer enn 400 forbindelser relatert til atmosfærisk avsetning oppsummeres, konkluderte De Buyck et al. (2021) at takavrenning er en stor bidragsyter til forurensning i overvann. De fant at vanlige forurensninger i takvann inkluderer tungmetaller, pesticider, ftalater (mykgjøringsstoffer i plastprodukter), næringsstoffer, organiske miljøgifter som PAH, PCB og en rekke andre kjemikalier som brukes i ulike produkter, som for eksempel alkylfenoler og alkylfenoletoksylater. De senere brukes blant annet i industrivaskemidler og vannbaserte malinger (Levy, u.å.). Andre studier og rapporter, som for eksempel Emil et al. (2023), Berndtsson (2010), Lindholm og Haraldsen (2013) og Norsk Vann Rapport (Åstebøl et al., 2021), refererer til partikler, pesticider, metaller, næringsstoffer, PAH og PCB som potensielle forurensninger i overvann i urbane områder, med mulige konsentrasjoner som overskrider miljøkvalitetsstandarder og vannmiljømål. Også patogene mikroorganismer kan utgjøre en potensiell risiko for forurensning (Berndtsson, 2010; Gwenzi et al., 2015; Meland et al., 2021)

Konsentrasjonene av stoffer i takvann varierer betydelig, både innenfor en enkelt avrenningsepisode, mellom episoder og mellom steder (Meera & Mansoor Ahammed, 2018). Noen av årsakene til variasjonene beror på klima- og værmessige forhold som nedbørsintensitet, men også hvilke forurensningskilder som er til stede (Meera & Mansoor Ahammed, 2018; Meland et al., 2021). I landlige områder hvor luftforurensning er ubetydelig, påvirkes vannkvaliteten av takmaterialet og oppsamlingstankene (Mourad & Berndtsson,

2011). I urbane områder kan flere type forurensinger forekomme fra kilder som blant annet trafikk, industri og fyring (Åstebøl et al., 2021). De to viktigste mekanismene for forurensning av takvann er utlekking av stoffer fra takmaterialet og atmosfærisk avsetning fra både naturlige og antropogene kilder transportert over kortere eller lengre avstander (De Buyck et al., 2021).

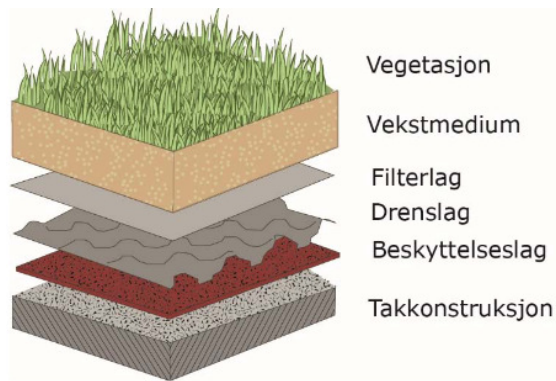
De Buyck et al. (2021) presenterer funn fra ulike studier vedrørende forurensing fra spesifikke takmaterialer. Studien viser at sigevannet fra tak laget av betong og naturskifer, konstruert av mineralske materialer og sammensatt av forskjellige metallholdige oskider, inneholder relativt høye konsentrasjoner av silisium (Si), kalsium (Ca), kalium (K), aluminium (Al), magnesium (Mg), natrium (Na) og/eller jern (Fe). Innholdet kan spores tilbake til mineralsammensetningen og metalloksidene i materialene. Studien viser også at avrenningen fra metalltak har forhøyede konsentrasjoner av spormetaller, hvor de mest vanlige metallene er stål, kobber (Cu), sink (Zn) og Al. Videre beskrives også at ulike type belegg brukes for å forhindre korrosjon av metalltak, og dermed forlenge levetiden. For eksempel er sinkbasert galvanisering eller Zn-Al basert belegg vanlig, men noen ganger tilsettes også krom (Cr), Fe, titan (Ti) og nikkel (Ni). Dette reduserer konsentrasjonene av metaller fra takmaterialet, men samtidig øker konsentrasjoner av stoffer som Zn, Al, Cr, Fe, Ti og Ni fra belegget. Også andre type tak påføres ofte ulike belegg for beskyttelse og forlengelse av levetiden, noe som kan bidra til forurensing av takvann gjennom utlekking av additiver (De Buyck et al., 2021).

1.4 Grønne tak

I tillegg til fordeler som økning av det biologiske mangfoldet, isolasjon av bygningen og bidrag til et grønnere bymiljø, blir grønne tak i økende grad brukt i urbane områder på grunn av deres evne til å bremse og redusere overvann (Hanslin & Johannessen, 2018; Özyavuz et al., 2015). Samtidig er påvirkningen av grønne tak med hensyn til vannkvalitet et debattert spørsmål blant forskere (Gnecco et al., 2013).

De grønne takene kan deles inn i tre hovedtyper; ekstensive, intensive og semiintensive. (Braskerud, 2016). Ekstensive grønne tak har et tynt lag av vekstmedium, typisk mindre enn 15cm, og krever generelt lite vedlikehold (Hachoumi et al., 2021). De har lavt voksende planter og er ofte dominert av sedumarter som tåler mye tørke og næringsfattig jord/vekstmedium (Braskerud, 2016; Natural Water Retention Measures, u.å.). Intensive tak har et tykkere lag av vekstmedium, typisk mer enn 15 cm, og krever mere vedlikehold (Hachoumi et al., 2021). De kan inneholde stort sett de fleste arter inkludert busker og mindre trær som kan utformes som en takhage (Natural Water Retention Measures, u.å.). Semi-intensive tak er et slags mellomting der vekstmediet ofte er 10-20 cm og artsmangfoldet er større enn på ekstensive tak (Braskerud, 2016).

Oppbyggingen av grønne tak inkluderer flere lag som vegetasjon, vekstmedium (substrat), filterlag og dreneringslag. Materialene støttes av et vanntett membran, et tetningssjikt, med et ekstra lag isolasjon mellom dette og selve taket på bygningen (Hachoumi et al., 2021; Natural Water Retention Measures, u.å.). Figur 2 viser en skisse med generell oppbygging av grønne tak.



Figur 2: COWI (2013) *Prinsippskisse oppbygging av grønt tak*. Tilgjengelig fra https://img6.custompublish.com/getfile.php/2469936.896.qrvxesags/COWI_Veileder_overvann_overvannsh%C3%A5ndtering_J%C3%A6ren_2013_MDL9A1.pdf?return=www.kommunalteknikk.no (lest 20.02.2024)

Grønne tak har potensial til å redusere forurensende stoffer i innløpsvannet ved å absorbere og filtrere dem, men de kan også være kilder til forurensing fra jord, planter og eventuell gjødseltilsetning (Berndtsson et al., 2006; Hachoumi et al., 2021).

I en litteraturgjennomgang av grønne tak og deres funksjon med hensyn til kvalitet og kvantitet av overvann påpeker Berndtsson (2010) at det er observert betydelige variasjoner i avrenningskvaliteten fra grønne tak i ulike studier og at dette i stor grad skyldes forskjeller i konstruksjonen og vedlikeholdet av slike tak. Faktorer som substratets sammensetning og tykkelse, type vegetasjon og drenering, takets alder og vedlikehold (inkludert bruk av gjødsel eller ikke) påvirker resultatene (Berndtsson et al., 2006). Videre mener Berndtsson (2010) at sesongsvariasjoner kan være store og kan innvirke på resultatene i publiserte studier, som ofte rapporterer målinger fra noen få nedbørsepisoder. Også lokale forurensingsnivåer har betydning for vannkvaliteten (Berndtsson et al., 2006). I tillegg har stoffenes fysiske-kjemiske egenskaper mye å si for i hvilken utstrekning de vil bli holdt tilbake i det grønne taket. Stoffer som er lettløst i vann slippes i høyere grad ut ved en nedbørsepisode, men stoffer som er bundet til partikler kan også vaskes ut ved intense episoder (Hachoumi et al., 2021).

I følge Hachoumi et al. (2021) identifiseres hovedsaklig tre grupper av stoffer som forurensinger fra grønne tak i forskningen. Det er metaller som frigjøres fra byggkonstruksjoner, additiver brukt til ulike formål i det grønne taket (biocider, herbicider, flammehemmere, plast, mykgjørere m.fl.) samt næringsstoffer, fremst tilført gjennom gjødsel til plantene. Junge et al. (2017) og Berndtsson (2010) argumenterer for at de mest studerte forurensingene i avrenning fra grønne tak er næringsstoffer som fosfor (P) og nitrogen (N) samt tungmetaller. Marín et al. (2023b) spesifiserer at de tungmetaller som det oftest refereres til er bly (Pb), kadmium (Cd), Zn, Fe, Cu og Cr, noe som også blir støttet av Hachoumi et al. (2021). Videre fastslår Junge et al. (2017) en klar enighet i litteraturen om at grønne tak kan redusere skader forårsaket av sur nedbør ved å øke pH, vanligvis til rundt 8. Spørsmålet om hvorvidt grønne tak fungerer som en sluk eller kilde til nevnte forurensinger forblir imidlertid et kontroversielt tema, påvirket av flere faktorer (Marín et al., 2023b).

2. Material og metode

I denne oppgaven er flere metoder kombinert for å besvare de to deloppgavene.

Deloppgave 1 ble gjennomført som en litteraturstudie. Dette ga en oversikt over fagfeltet og gjeldene regelverk for gjenbruk av takvann. I tillegg ble retningslinjer og anbefalinger for forskjellige vannparametere i akvaponi undersøkt, med spesielt fokus på koi og krispissalat.

Deloppgave 2 ble gjennomført som en feltundersøkelse og et eksperimentelt forsøk. Dette ble gjort ved prøvetaking og undersøkelse av vannet fra de ulike takene og fisketanken i akvaponiet.

2.1 Deloppgave 1

Deloppgave 1 ble gjennomført som en litteraturstudie. Søk på litteratur og informasjon ble utført fremst i Google, Google Scholar, Oria og ScienceDirect og til viss del også i Web of Science, Researchgate og Academia. Relevante søkeord og kombinasjoner av disse ble brukt løpende under skriveprosessen, og søk ble utført både på engelsk og norsk. Noen av søkeordene (inkludert tilsvarende på engelsk) som ble benyttet inkluderer: akvaponi, akvakultur, hydroponi, urbant landbruk, overvann, takvann, grønne tak, vannkvalitet, forurensing, regelverk, retningslinjer, gjenbruk av vann. I tillegg ble litteratur tilgjengelig gjennom USAGE-prosjektet og tilsendt av veileder og andre ansatte på NIVA. Litteraturlister i artikler har også ledet videre til flere relevante artikler og rapporter.

2.2 Deloppgave 2

Deloppgave 2 ble gjennomført som en feltundersøkelse og et eksperimentelt forsøk med prøvetaking og undersøkelse av vannet fra de ulike takene og fisketanken i akvaponiet.

2.2.1 Områdesbeskrivelse

Ved Natur VGS i Oslo er det installert en akvaponi-pilot og to grønne tak samt et referansetak. I tillegg finnes et drivhus i umiddelbar nærhet. Figur 3 viser hvor Natur VGS er lokalisert og figur 4 og 5 viser en oversikt av området og oppsettet på akvaponiet og takene.



Figur 3: Kartutsnitt over Oslo der lokasjonen til Natur VGS er markert. Bildet er hentet fra norgeskart.no (26.01.2024)



Figur 4: Flyfoto over området ved Natur VGS i Oslo. Punkter for vannprøvetaking er markert. 1: Akvaponipilot, 2: Drivhus, 3-5: Grønne tak og referansetak. Bildet er hentet fra norgeskart.no (26.01.2024)



Figur 5: A) Kontainere med akvaponipiloten, akvakultur i bunn og hydroponi på toppen. B) Drivhus. C) Grønne tak og referansetak. Foto: Åsa Lagerstedt

2.2.1.1 Akvaponi

Pilotanlegget er plassert inne i to isolerte konteinere utstyrt med klimaanlegg for temperaturkontroll, se figur 6 og 7. Det er et lukket system for produksjon av fisk og planter hvor alt vann resirkuleres og nytt vann kun tilføres for å erstatte fordamping og opptak i plantene (Hess-Erga, 2022).



Figur 6: A) Fiskesystem med fisketanker til høyre og RAS-enhet nede til venstre i bilde. B) Plantesystem med forskjellige planter. Den nederste rekken består av deep water culture (DWC), mens de øvre hyllene består av nutrient film technique (NFT) Foto: Åsa Lagerstedt



Figur 7: A) Salat og andre planter- NIVA. B) Diverse planter- Natur VGS. C) Koi. D) fisketank. Foto: Åsa Lagerstedt

Akvakulturdelen består av 3 stykker fiskekar (à 1000 l) som er tilkoblet en vannbehandlingsenhet (RAS-enhet) hvor avløpsvannet blir renses for partikler. Det skjer også en mikrobiell omdanning av nitrogenforbindelser (nitrifikasjon) samt desinfisering ved hjelp

av UV-lampe. I tillegg fjernes løst karbondioksid (CO_2) fra vannet som kan brukes som karbonkilde i planteproduksjonen. Oksygen (O_2) tilføres i flere punkter og pH justeres manuelt gjennom å tilføre syre/base/buffer i sump/balansetank (Hess-Erga, 2022). I starten av prøveperioden var kun en fisketank tatt i bruk og tilsatt koi (*Cyprinus rubrofuscus*), men ettersom fisken vokset og krevde større plass ble ytterligere en tank tatt i bruk i midten august.

Hydroponidelen består av både deep water culture (DWC) og nutrient film technique (NFT) (Hess-Erga, 2022), se figur 6 og 8. DWC er et stasjonært system der planter er plassert i flåter over beholdere fylt med næringsrikt vann (Gillani et al., 2023). NFT består av vekstkanaler der en tynn film av næringsrikt vann pumpes gjennom. Plantene er plassert i små beholdere på toppen og røttene absorberer næringen fra vannet (Abbasi et al., 2021). I prøveperioden var kun en del av NFT- delen tatt i bruk og det var sparsomt med planter av ulike arter. Krispissalat hadde blitt testet på forhånd som en passende plante, og flere forsøk med salat er planlagt etter at prøveperioden for denne oppgaven var slutt.

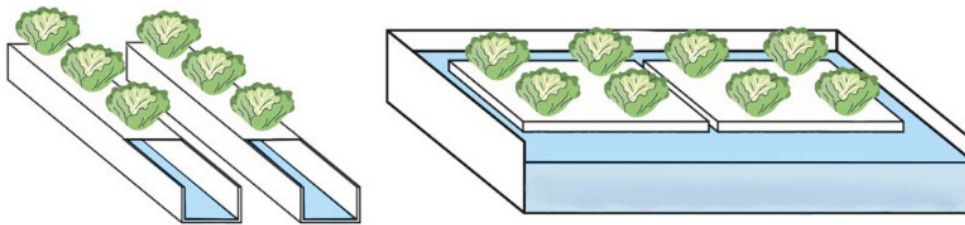


Figure 1. Schematic view of (a) NFT and (b) DWC hydroponic system

Figur 8: Gillani et.al. (2023) *Skjematisk bilde av et NFT og et DWC hydroponisk system.* Tilgjengelig fra <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705092202275X?via%3Dihub> (lest 10.11.2023)

2.2.1.2 Grønt tak- eng

Grønt tak- eng består av to Hydropakk Engkassetter plassert inntill hverandre i en plastramme med et totalt areal på ca $0,5\text{m}^2$. Vannet samles opp i en IBC- container laget i HDPE. Kassettene har et etablert plantedekke som inneholder tørkebestandige stauder. Artssammensetningen varierer en del fra modul til modul, men også over tid, se figur 9. Brettet har innebygd drenering og et vannreservoar som er fylt med lecakuler. Plantebedet består av en lettvektsjord (substrat) som er optimalisert for de forhold som råder på tak (Veg Tech, 2021). For mere informasjon, se vedlegg 1.



Figur 9: Grønt tak- eng. Bildene er tatt A) 28e juni, B) 9e august, C) 20e september. Foto: Åsa Lagerstedt

2.2.1.3 Grønt tak- sedum

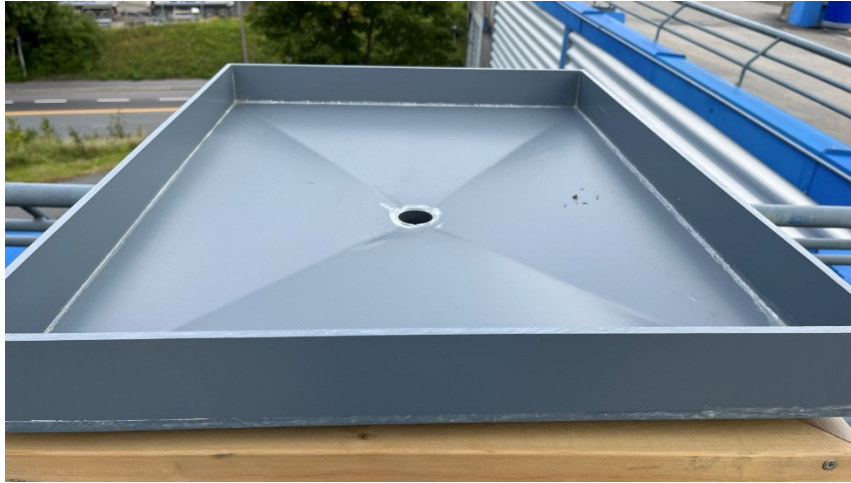
Grønt tak- sedum består av to Oslomix Sedumkassetter plassert inntill hverandre i en plastramme med et totalt areal på ca 0,5m². Vannet samles opp i en IBC- container laget i HDPE. Artenes blomstring og utseende varierer basert på ytre påvirkning som klima, vind og nedbør, se figur 10. Kassetten inneholder drenering og vannreservoar, et spesielt lettvektsjordsubstrat og ett ferdig dekke med sedumplanter (Blomstertak AS, 2021). For mere informasjon, se vedlegg 2.



Figur 10: Grønt tak- sedum. Bildene er tatt A) 28e juni, B) 9e august, C) 20e september. Foto: Åsa Lagerstedt

2.2.1.4 Referansetak

Referansetaket, med et totalt areal på ca 0,5m², er lagd i plast (se figur 11) og vannet samles opp i en IBC- container laget i HDPE. Dette vil i stor grad representere regnvannets naturlige kjemi.



Figur 11: *Referansetak*. Foto: Åsa Lagerstedt

2.2.1.5 *Drivhustak*

Drivhustaket er lagd i ukjent materiale, trolig polykarbonat (en transparent termoplast). Det har en oppsamlingsrenne av metall, trolig galvanisert stål, hvor vannet leds ned i en regntønne av plast, lokalisert inne i drivhuset, se figur 12. Takarealet for oppsamling av vann er anslått til ca 14m².



Figur 12: *Drivhustak og regntønne*. Foto: Åsa Lagerstedt

2.2.2 *Feltarbeid*

Feltarbeidet ble utført i perioden 28e juni til 20e september 2023. Vannprøver ble tatt fra alle oppsamlingsbeholdene for takvann og direkte fra fisketanken i akvaponiet annenhver uke. Totalt ble det gjennomført 7 prøverunder. Ved første prøvetilfellet var det så lite vann i oppsamlingsbeholdene til de grønne takene at det kun var mulig å gjennomføre analyse av metaller. I prøverunde 2 var det helt tørt i grønt tak- sedum og derfor ble ingen analyser fra dette prøvepunktet utført. Grunnet feil prøveflasker, ble PAH 16 ikke analysert i første prøverunde. Grunnet manglende prøveflasker ble ikke legionella analysert i første

prøverunden og grunnet en feil hos analyserende laboratorium heller ikke i prøverunde 6. En oversikt over analyseresultatene gis i tabell V2 og V3 i vedlegg 4.

Hensikten med vannanalysene var å få informasjon om vannets kvalitet og egnethet for bruk i akvaponisystemer. Dette inkluderer eventuelle forurensinger i takvannet, toksiske grenseverdier for fisken, samt mengden av plantenæringsstoffer.

Vannprøver til metallanalyse ble tatt i nalgeneflasker (60ml), BOF 5d i HDPE-flasker (100ml), PAH16 i brune glassflasker (100ml), E.coli i sterile PET-flasker (500ml) og Legionella i sterile PET-flasker (1000ml). For vann til øvrige analyser ble det brukt HDPE-flasker (1000ml). Alle flasker, bortsett fra de sterile, ble kondisjonerte ved å skylle dem med vann fra respektive prøvepunkt. De sterile flaskene var tilsatt thiosulfat som nøytraliserer klor slik at bakterier holds i live til analysen utføres. Prøveflaskene for metallanalyser var fylt med svak salpetersyre (HNO_3) for å unngå at metaller absorberer til flasken. Syren ble helt ut før kondisjonering. Alle flasker ble så fylt helt opp med prøvevann for å unngå luft i flaskene. For å unngå kontaminering av prøvene ble ikke kork eller flaske berørt innvendig. Mot slutten av feltarbeidet ble det kjent at prøveflaskene til bakterieanalyser skulle fylles til 80%. I følge analyserende laboratorium hos Eurofins (e-post 28.08.2023) vil effekten på resultatene ikke være særlig stor. Prøveflaskene ble derfor fylt helt opp også i gjenstående prøverunder for å få sammenlignbare resultater. Etter prøvetaking ble alle vannprøver fraktet i kjølebager til NIVA-lab i Oslo. Derifra ble de videresendt til Eurofins som utførte alle analyser etter gjeldende prosedyrer. For detaljer, se tabell V4 i vedlegg 5.

2.2.3 Definisjoner og fortydligende

Her følger en kort forklaring til noen ulike begrep som brukes i forbindelse med presentasjonen av analysedata.

2.2.3.1 *Plantenæringsstoffer*

I hydroponidelen er innholdet av plantenæringsstoffer viktig for plantenes vekst og utvikling. De er oppdelt i makro- og mikronæringsstoffer basert på hvor mye av hvert stoff planten behøver. Makronæringsstoffene N, P, svovel (S), K, Ca og Mg trenger plantene mest av (UiO, 2011a). Mikronæringsstoffene Fe, klorid (Cl^-), bor (B), mangan (Mn), Zn, Cu, molybden (Mo) og Ni trenger plantene mindre av (UiO, 2011b).

Na og Si er inkludert fordi de anses som essensielle for enkelte planter (Ma & Yamaji, 2008; Maathuis, 2014). Da disse stoffer ble påvist i konsentrasjoner som best overensstemmer med makronæringsstoffer blir de presentert sammen med dem i kapittel 3.2.2.1.

2.2.3.2 *Andre vannkvalitetsparametere*

I tillegg til enkelte stoffer er det også analysert noen vannkvalitetsparametere som kan ha innvirkning på vannkjemien og dermed spesiering og biotilgjengelighet av de ulike stoffene i vannet. Resultatene presenteres i kapittel 3.2.6 for å gi en beskrivelse av den generelle vannkvaliteten på de ulike prøvestedene. Hensikten med denne oppgaven er ikke å gå inn i dybden på vannkjemien, da det vil bli altfor omfattende og komplekst. De aktuelle

parameterne er Totalt Organisk karbon (TOC), Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) 5d, Total tørrstoff (TTS), alkalitet og pH.

TTS er mengden av totalt suspendert stoff (TSS) + total mengde oppløst stoff (TDS) i vannet (Omer, 2019). TSS består av både organisk materiale som feks alger og bakterier, og uorganisk materiale som leir- og sandpartikler (Campbell, 2021; Langland et al., 2003). TDS består i de fleste tilfeller hovedsakelig av ioner, fremst uorganiske salter, men også en liten mengde organisk materiale (Safe Drinking Water Foundation, u.å. ; Sigler & Bauder, u.å.).

2.2.4 Databehandling og analyse

Dataene ble behandlet i Microsoft Excel 2013 (versjon 19045). Statistiske analyser og fremstilling av figurer ble utført i JMP Pro (Versjon 16.1.0)

Verdier under kvantifiseringsgrensen (limit of quantification, LOQ), også kalt «censored data», er satt til LOQ og er oppgitt i tabell V4, vedlegg 5 og i rapportteksten hvor det er relevant for resultatene.

Ved behandling av rådata ble verdien for tot-N i fisketanken i prøverunde 2 ekskludert. Grunnen til dette er at resultatet var åpenbart feil.

I prøverunde 5 og 7 er det målt noe høyere verdier av fosfat enn tot-P i grønt tak- eng. Dette er innenfor usikkerheten til målemetodene, og resultatene er derfor gjengitt som i analyserapporten.

2.2.4.1 Statistikk

For å teste signifikante forskjeller i vannkvalitet mellom minst to av prøvestedene ble den ikke-parametriske metoden Wilcoxon Rank Sums brukt, med et signifikansnivå på 0,05. Til forskjell fra parametriske tester som t-test og ANOVA hvor gjennomsnittet av dataene sammenlignes, baserer seg ikke-parametriske tester på rangordning av verdiene og undersøker om verdiene i den ene gruppen er høyere enn i den andre (Løvås, 2018).

Fordelen med dette er at det ikke er noen forutsetninger om normalfordeling (eller annen parametriske fordeling) og testen er derfor ikke påvirket av at miljødata ofte kan være skjevfordelt (Løvås, 2018; Skovlund, 2017; Zhang & Zhang, 1996). I tillegg er de mindre sensitive for ekstreme verdier (uteliggere) i datamaterialet (Skovlund, 2017).

Bruk av ikke-parametriske tester kan også være en fordel når dataene inneholder verdier under kvantifiseringsgrensen, da resultatet ikke blir påvirket i noen større utstrekning av hvordan data under grensen håndteres (Donghui et al., 2008; Giskeødegård & Lydersen, 2022). Disse data er naturlig nok lavest rangert, og absolutte verdier for å beregne gjennomsnitt og standardavvik er ikke nødvendig.

Som post-hoc test, for å identifisere hvilke prøvesteder som viste signifikante forskjeller i vannkvalitet, ble Steel Dwass All Pairs brukt. Denne metoden er sammenlignbar med den parametriske testen Tukey's (Carn et al., 2015).

3. Resultat og diskusjon

3.1 Regelverk og retningslinjer i EU og Norge

Akvaponi har i dag ingen klar juridisk status eller spesifikk regulering i EU og den eksisterende lovgivningen styrer drift av fiskeoppdrett og hydroponidyrking separat (Joly et al., 2015; Tilman et al., 2019). Detsamme gjelder for Norge. En av grunnene kan være at akvaponi faller i skjæringspunktet mellom ulike større felt som blant annet akvakultur og hydroponi, resirkulering av avløpsvann og urban akvakultur (Tilman et al., 2019). Det er et komplekst sett med lover å regle på EU-, nasjonalt- og lokalt nivå, noe som gjenspeiler kompleksiteten til akvaponisystemer (Tilman et al., 2019).

I EU faller akvakultur og hydroponi under EUs felles fiskeripolitikk (engelsk: Common Fisheries Policy, CFP) og landbrukspolitik (engelsk: Common Agricultural Policy, CAP) (Cammies et al., 2021). Andre relevante områder innen EU for akvakultur og hydroponi inkluderer mattrygghet, dyrehelse og velferd, plantehelse og miljøpolitikk (avfall og vann) (Cammies et al., 2021; Tilman et al., 2019). I Norge er akvakulturloven, matloven, akvakulturdriftsforskriften og dyrevelferdsloven sentrale regler for etablering og drift av akvakultur (Nærings- og fiskeridepartementet, 2021). Matloven omfatter også plantedyrking til konsumsjon. I tillegg gjelder regler som for eksempel forskrift om planter og tiltak mot planteskadegjørere, for å sikre produksjon og omsetning av planter med best mulig helse og tilfredsstillende kvalitet, og næringsmiddelhygieneforskriften, for å verne folkehelsen ved omsetning av mat (Departementene, 2021; Lovdata, 2000; Lovdata, 2005; Mattilsynet, 2023).

3.1.1 Akvakultur

I EUs strategi for dyrevelferd for perioden 2012–2015 er velferd for fiskeoppdrett omtalt, men den er begrenset i omfang og det er ingen spesifikke regler på plass (Cammies et al., 2021; Tilman et al., 2019). Heller ikke EUs «Animal Health Law» (2016/429) som trådte i kraft 2021 eller Direktiv 98/58/EC, som inneholder minimum standarder for beskyttelse av dyr avlet eller holdt for oppdrettsformål, ser ut til å inneholde noen spesifikke regler eller retningslinjer vedrørende vannkvalitet for fiskeoppdrett.

I 2005 vedtok Europarådet også en anbefaling om velferd for oppdrettsfisk (recommendation on the welfare of farmed fish) (efsa, u.å.). I denne behandler artikkel 12 vannkvalitet og noen parametere i forhold til fiskens velferd. Der er det fastsatt at vannkvalitetsparametere til en hver tid skal ligge innenfor et akseptabelt område som opprettholder normal aktivitet og fysiologi for en gitt art. Her nevnes oksygen, ammonium, karbondioksid, pH, temperatur, salinitet og vannstrømning som viktige parametere. I tillegg skal det tas hensyn til at kravene til enkelte arter kan variere mellom ulike livsstadier og fysiologisk status. Verdt å notere er kravet om at pH skal holdes stabilt der det er mulig, da alle endringer i pH initierer komplekse vannkvalitetsendringer som kan skade fisken. Videre henvises det til et vedlegg med artspesifikke vannkvalitetsparametere, men per dags dato er dette vedlegget fortsatt ikke publisert (Council of Europe, u.å.).

I “Guidelines on water quality and handling for the welfare of farmed vertebrate fish” (EU Platform on Animal Welfare Own Initiative Group on Fish, u.å.) er også toksisiteten hos

metaller som Fe, Al, Cu og Zn og potensiell innvirkning på fiskens velferd, nevnt i generelle ordalag. Det anmodes om å vurdere sannsynligheten for eksponering for toksiske nivåer, med samspillet mellom temperatur, pH, oksygenkonsentrasjon, saltholdighet, alkalitet og hardhet i vannet i tankene. Vannkvaliteten nevnes også i generelle termer og blant annet står det at; Alle parter som driver, overvåker og har ansvar for fiskehold bør sørge for at det tas hensyn til vannkvalitetens potensielle påvirkning på fiskevelferden.

I Norge finnes det heller ingen absolutte krav til vannkvalitet og i akvakulturdriftforskriften §22 står det: «Vannkvaliteten og vekselvirkningene mellom ulike vannparametere skal overvåkes basert på risikoen for dårlig fiskevelferd. Oksygenmetning, temperatur og andre vannparametere som kan ha vesentlig betydning for fiskens velferd, skal måles systematisk.» (Lovdata, 2008). Dette viser på en tilnærming basert på lokal risikovurdering der mye av ansvaret er lagt på næringen.

I Norge håndhever Mattilsynet matloven og dyrevelferdsloven, mens Fiskeridirektoratet håndhever akvakulturloven (Nærings- og fiskeridepartementet, 2021). Mattilsynet skriver i sin bestilling av risikovurdering fra Vitenskapskomiteén for mattrygghet (VKM) vedrørende ferskvannsoppdrett at «Det har ikke vært hensiktsmessig å fastsette absolutte grenseverdier for enkelte vannkvalitetsparametere i forskriften, siden enkelte avvik kan vurderes som akseptabelt.» (Mattilsynet, 2013). De foreslår følgende vannparametere som er ment å være veiledende for landbaserte settefiskanlegg med laksefisk (tabell 1):

Tabell 1: (Mattilsynet, 2013) *Veiledende vannkvalitetsparametere for landbaserte settefiskanlegg med laksefisk* Tilgjengelig fra

<https://vkm.no/download/18.2994e95b15cc54507161e75e/1498221198050/33453b1937.pdf>

(lest 07.02.2024)

Parameter	Verdier
pH innløp	6,2 – 7,8
Oksygenmetning i kar	Ikke over 100 prosent ¹⁾
Oksygen (avløp)	Over 80 prosent
Totalgassmetning i karvann	Ikke over 100 prosent
Karbondioksid	Under 15 milligram/liter (laks) Under 10 milligram/liter (regnbueørret)
Aluminium (labilt)	Under 5 mikrogram/liter
Aluminium (gjeller)	Ikke over 15 mikrogram /gram gjelle tørrvekt før utsett i sjø
Nitritt (ferskvann)	Under 0,1 milligram/liter
Nitritt (sjøvann)	Under 0,5 milligram/liter
Total Ammonium Nitrogen	Under 2 milligram/liter
Ammoniakk	Under 2 mikrogram/liter

¹⁾ Det forutsettes at innløst oksygen på innløpsrør fordeles på en slik måte i karene at fisk ikke utsettes for soner med hyperoksi.

I følge forskrift om internkontroll for å oppfylle akvakulturlovgivningen (IK-Akvakultur) §4 skal også «Den som er ansvarlig for virksomheten, (skal) sørge for at det innføres og utøves internkontroll i virksomheten.» (Lovdata, 2004). I internkontrollen for pilotanlegget ved Natur VGS er en veiledende tabell (tabell 2) med vannkvalitetsparametere for koi utarbeidet. Denne har utgangspunkt i Mattilsynets veiledende tabell for laksefisk (tabell 1). Internkontrollen inneholder også en tabell med anbefalte konsentrasjoner av næringsstoffer for salat (tabell 3).

Tabell 2: *Anbefalte vannkvalitetsparametere for koi.* Tabellen er hentet fra Hess-Erga, O-K. (2022). *Internkontrollsystem Akvaponi Natur VGS.* Upublisert manuskript.

Parameter	Verdi	Kommentarer
Temperatur (°C)	15 - 20	Lever bra ved lavere og høyere temperatur, men bør tilpasses planteart.
pH	6,8 – 7,5	Justeres med K ₂ CO ₃ eller CaCO ₃ som også tilfører viktige makronæringsstoff til plantene.
Konduktivitet (mS/cm)	1,5 – 2,5	
Alkalitet (mg CaCO ₃ /l)	50 - 100	Justeres med K ₂ CO ₃ eller CaCO ₃ som også tilfører viktige makronæringsstoff til plantene.
Oksygen (%)	70 - 100	Tilsetning av luft.
CO ₂ (mg/l)	<15	Luftes ut, tas opp av plantene eller omdannes til CO ₃ .
TAN (µg N/l)	<500	Omdannes i biofilteret eller tas opp av plantene.
NH ₃ (µg N/l)	<10	Andelen er veldig avhengig av pH.
NO ₂ (µg N/l)	<250	Omdannes i biofilteret eller tas opp av plantene.
NO ₃ (mg N/l)	20 - 60	Tas opp av planten eller fortynnes med nytt vann.

Tabell 3: *Anbefalt konsentrasjon av plantenæringsstoffer (mg/l) for salat, se midtre raden.* Tabellen er hentet fra Hess-Erga, O-K. (2022). *Internkontrollsystem Akvaponi Natur VGS.* Upublisert manuskript.

	Næringsstoff																
	LT	pH	Tot-N	NO ₃	NH ₄	Tot-P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Cl
Avløpsvann	2,0	7,5	30	25	0,2	3	15	-	2	2	0	0	0	0	0	0	10
Anbefalt for salat	2,0	6	200	-	-	40	200	64	150	35	3,0	1,0	0,3	0,1	0,3	0,1	<75
Anbefalt innhold i salat *			1,5			0,2	1,0	0,1	0,5	0,2	100	20	20	6	20	0,1	100

LT = Ledetall=Konduktivitet (mS/cm)

* % N, P, K, S, Ca, Mg og µg/g Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl tørrstoff (TS)

3.1.2 Hydroponi

Hydroponisk produksjon er underlagt relativt få reguleringer (Tilman et al., 2019). Vanngjennbruksforordningen ((EU) nr. 2020/741) som er gjeldende fra 26. juni 2023, setter enhetlige minimumskrav til vannkvalitet ved gjenbruk av rensert urbant avløpsvann til vanning av landbruksarealer (European Commission, 2022; Regjeringen.no, 2021). Med urbant avløpsvann menes spillvann fra husholdninger eller en blanding av spillvann fra husholdninger og spillvann fra industri. Overvann er også inkludert i definisjonen, og inkluderer takvann (Regjeringen.no, 2021). Forordningen fastsetter vannklasser og vannkvalitetskrav til gjenvunnet vann for de ulike klassene (se tabell 4) i forhold til om produktene skal spises rå eller bearbeides, og hvilken vanningsmetode som er benyttet (se tabell 5) (Lovdata Europalov, u.å.). Det er ikke helt entydig hvilken klasse vanningsystemet i akvaponipiloten går inn under, men det er trolig at det er klasse C da krispissalat konsumeres rå og den spiselige delen ikke er i direkt kontakt med vannet.

Tabell 4: (EUR-Lex, 2020) *Klasser for gjenbrukt vann, tillatt bruk og vanningsmetoder*
Tilgjengelig fra [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022XC0805\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022XC0805(01)&from=EN) (lest 08.11.2023)

Minimum reclaimed water quality class	Crop category (*)	Irrigation method
A	All food crops consumed raw where the edible part is in direct contact with reclaimed water and root crops consumed raw	All irrigation methods
B	Food crops consumed raw where the edible part is produced above ground and is not in direct contact with reclaimed water, processed food crops and non-food crops including crops used to feed milk- or meat-producing animals	All irrigation methods
C	Food crops consumed raw where the edible part is produced above ground and is not in direct contact with reclaimed water, processed food crops and non-food crops including crops used to feed milk- or meat-producing animals	Drip irrigation (**) or other irrigation method that avoids direct contact with the edible part of the crop
D	Industrial, energy and seeded crops	All irrigation methods (***)

(*) If the same type of irrigated crop falls under multiple categories of Table 1, the requirements of the most stringent category shall apply.

(**) Drip irrigation (also called trickle irrigation) is a micro-irrigation system capable of delivering water drops or tiny streams to the plants and involves dripping water onto the soil or directly under its surface at very low rates (2–20 litres/hour) from a system of small-diameter plastic pipes fitted with outlets called emitters or drippers.

(***) In the case of irrigation methods which imitate rain, special attention should be paid to the protection of the health of workers or bystanders. For this purpose, appropriate preventive measures shall be applied.

Tabell 5: (EUR-Lex, 2020) *Krav til gjenvunnet vannkvalitet for landbruksvanning.*
Tilgjengelig fra [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022XC0805\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022XC0805(01)&from=EN) (lest 08.11.2023)

Reclaimed water quality class	Indicative technology target	Quality requirements				Other
		E. coli (number/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	TSS (mg/l)	Turbidity (NTU)	
A	Secondary treatment, filtration, and disinfection	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 cfu/l where there is a risk of aerosolisation Intestinal nematodes (helminth eggs): ≤ 1 egg/l for irrigation of pastures or forage
B	Secondary treatment, and disinfection	≤ 100	In accordance with Directive 91/271/EEC (Annex I, Table 1)	In accordance with Directive 91/271/EEC (Annex I, Table 1)	-	
C	Secondary treatment, and disinfection	≤ 1 000			-	
D	Secondary treatment, and disinfection	≤ 10 000	-			

For BOD 5 og TSS henvises til en tabell i direktiv 91/271/ECC, og maksverdier der er henholdsvis 25mg/l og 35mg/l (EUR-Lex, u.å.). Forordningen og direktivet gjelder for gjenvunnet avløpsvann fra renseanlegg der takvann også er inkludert, men ikke spesifikt for takvann. Dette gjør at grenseverdiene ikke helt passer i denne oppgaven, men kan gi en pekepinn på egnetheten til takvannet.

I Norge er det generelt god tilgang på kranvann i byene og det er derfor ikke forventet at forordningen i den nærmeste fremtid vil få reell påvirkning her i landet (Lovdata Europalov, u.å.; Regjeringen.no, 2021). I områder av Europa som er utsatt for vannmangel vil det imidlertid være en hjelp til lokale produsenter (Regjeringen.no, 2021). Selv om årsnedbøren generelt ventes øke i Norge, kan noen områder få mer tørke grunnet varmere klima og lengre perioder med lav vannføring om sommeren (Klima- og miljødepartementet, 2023; Norsk klimaservicesenter, u.å.; Skaland et al., 2019). Det er allerede innført vannrestriksjoner i ulike deler av landet i tørre perioder (Larsen, 2023; Reisjå & Brock, 2023). Dette indikerer at selv om tilgangen på kranvann i Norge generelt anses god, er det ikke alltid like gjeldende.

I en høring som nylig blitt gjennomført foreslår Mattilsynet forbud mot å bruke avløpsvann til vanning i landbruket i Norge siden tilrettelegging for en slik ordning vil kreve betydelige ressurser og fordelene ved å åpne for slik bruk er få slik situasjonen er i dag (se vedlegg 6) . Et av argumentene for dette er at det er svært god vanntilgang i de fleste områder i Norge og at tørre steder der det ofte er behov for vanning allerede har utbygd vannsystem fra lokale overflatevannkilder. De mener det kun er i enkelte tilfeller kranvann benyttes og der restriksjoner vil gå ut over vanning til landbruket.

Det er idag en stor interesse for å bruke takvann og overflatevann i urbant landbruk, men det gjenstår et arbeid med utredning av alternative vannkilder. Dette inkluderer vurderinger av kostnader og fordeler samt behovet for økt kompetanse, spesielt med fokus på mattrygghet (Lovdata Europalov, u.å.). Mattilsynet skriver i høringen som nevnts ovenfor (se også vedlegg 6), at NIBIO og Norsk Vann vurderer at det generelt er god tilgang på kranvann i byene, som antas være den viktigste vannkilden til urbant landbruk i Norge, også i de nærmeste årene.

3.1.3 Vannforskriften

EUs vanndirektiv (2000/60/EC) setter rammer for å sikre miljøtilstanden i vannforekomster og sørge for at forvaltningen av vannforekomstene skjer etter samme prinsipper over hele Europa (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018; Vannportalen, u.å.). I norsk regelverk er vanndirektivet implementert i form av vannforskriften (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018).

I vannforskriften er det fastsatt et klassifiseringssystem med klassegrenser for økologisk tilstand med 5 tilstandsklasser: bakgrunn, god, moderat, dårlig og svært dårlig tilstand (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018). Klassegrensene er satt etter en forventet økende grad av skade på organismsamfunnet i vannsøylen (Miljødirektoratet, 2020). Det er også presentert grenseverdier for prioriterte stoffer som utgjør vesentlig risiko for vannmiljøet og som omfatter metaller og organiske miljøgifter (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018; Miljødirektoratet, 2020).

For å klassifisere tilstand med hensyn på miljøgifter brukes EQS (environmental quality standard), som er en grenseverdi mellom god og dårlig tilstand. Grenseverdiene i vann er oppgitt som to verdier; årlig gjennomsnitt (AA-EQS) og maksimal verdi (MAC-EQS) (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018). Øvre grense for klasse II (god tilstand) tilsvarer AA-EQS og er grenseverdien for kroniske effekter ved langtidseksposering. Øvre grense for klasse III (moderat tilstand) tilsvarer MAC-EQS, som er grenseverdien for akutt toksiske effekter ved korttidseksposering (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018).

Selv om grenseverdiene ikke er spesifikt utviklet for akvaponiske forhold er de benyttet for å vurdere resultatene fra feltundersøkelsen. Dette ble gjort for å bedømme om konsentrasjonene potensielt kan være skadelige og gi en pekepinn på mulige risikostoffer. Videre er grenseverdiene for Cd, Pb og Ni basert på vannprøver som er filtrerte gjennom et 0,45 µm filter, det vil si konsentrasjonen i den løste fasen, eller den biotilgjengelige konsentrasjonen hvor dette er oppgitt (Lovdata, 2006). I denne oppgaven er den totale konsentrasjonen av metaller målt og resultatene vurdert opp imot grenseverdiene. Det innebærer at risikoen kan være noe overestimert, avhengig av hvor stor andel av metallen som er i løst respektive bunden form i vannprøvene. I tabell 6 er grenseverdier for aktuelle stoffer sammenstilt.

Tabell 6: Direktorsgruppen vanndirektivet (2018) og Miljødirektoratet (2020). Grenseverdier for relevante stoffer i oppgaven. Innholdet i tabellen er hentet fra <https://www.vannportalen.no/veiledere/klassifiseringsveileder/> og <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M608/M608.pdf>

Stoff	AA_EQS (µg/l)	MAC_EQS (µg/l)
PAH16		
Acenaftylen	1,28	33
Acenaften	3,8	3,8
Antracen	0,1	0,1
Benzo(a)antracen	0,012	0,018
Benzo(a)pyren	0,00017	0,27
Benzo(b)fluoranten	0,017	0,017
Benzo(g,h,i)perylene	0,0082	0,0082
Benzo(k)fluoranten	0,017	0,017
Dibenso(ah)antracen	0,0006	0,014
Fenantren	0,5	6,7
Fluoren	1,5	34
Fluroanten	0,0063	0,12
Indeno(1,2,3-cd) pyren	0,0027	0,0027
Naftalen	2	130
Krysen	0,07	0,07
Pyren	0,023	0,023

Stoff	AA_EQS (µg/l)	MAC_EQS (µg/l)
Arsen	0,5	8,5
Bly og blyforbindelser	1,2*	14
Kadmium og kadmiumforbindelser	0,08	≤ 0,45
Kobber	7,8	7,8
Krom	3,4	3,4
Nikkel- og nikkelforbindelser	4*	34
Sink	11	11

*gjelder den biotilgjengelige konsentrasjonen av stoffet

3.1.4 Akvaponi og gjenbruk av takvann

Regelverket som er relevant for akvaponi utgjør et komplekst system av lokale, nasjonale og EU-lover, men ingen av disse gir spesifikke retningslinjer for akvaponi (Tilman et al., 2019). For nærværende er det svært få kommersielle akvaponier i Norge og EU, noe som innebærer at behovet for egne regelverk og grenseverdier er tilsynelatende lite (Gregg et al., 2019; Tilman et al., 2019). Samtidig kan mangel på klare regler og forordninger være en medvirkende årsak til dette (Gregg et al., 2019; Tilman et al., 2019). Også til tider motstridende regler utgjør en barriere mot utvikling og oppskalering for akvaponi (Gregg et al., 2019). En annen årsak kan være mangelen på definisjon av hvilke systemer som utgjør akvaponi (Gregg et al., 2019). På tross for at flere har forsøkt seg på en enhetlig definisjon om hva akvaponi egentlig innefatter brukes begrepet for å beskrive et bredt spekter av forskjellige teknologier og metoder (Junge et al., 2017; Lennard & Goddek, 2019).

Få konkrete retningslinjer i forhold til vannkvalitetsparametere i akvaponi kan tenkes bero på flere ulike faktorer. Som nevnt i innledningen (kapittel 1.2) har vannkvaliteten en sentral betydning i akvaponi og fisk planter og bakterier har ulike optimum for flere vannparametere (Baganz et al., 2022; Goddek et al., 2019). I tillegg har forskjellige arter av fisk og planter ulike preferenser og tålegrenser for vannparametere og stoffer og vannkvaliteten må derfor tilpasses det spesifikke systemet og kombinasjonen av arter (Goddek et al., 2019; Love et al., 2015). Dette gjør det vanskelig å fastsette universelle standarder for vannkvalitet som passer for alle systemer.

Som nevnt i innledningen (kapittel 1) er det et økende behov og interesse å gjenbruke overvann, inklusive takvann, for å bidra til å bevare ferskvannsressurser (Emil et al., 2023; Water Europe, 2020). Det er imidlertid ennå ikke utarbeidet noen spesifikke lovmessige krav til vannkvaliteten for innhøstet regnvann, tilknyttet formålet med bruken (Tsanov et al.,

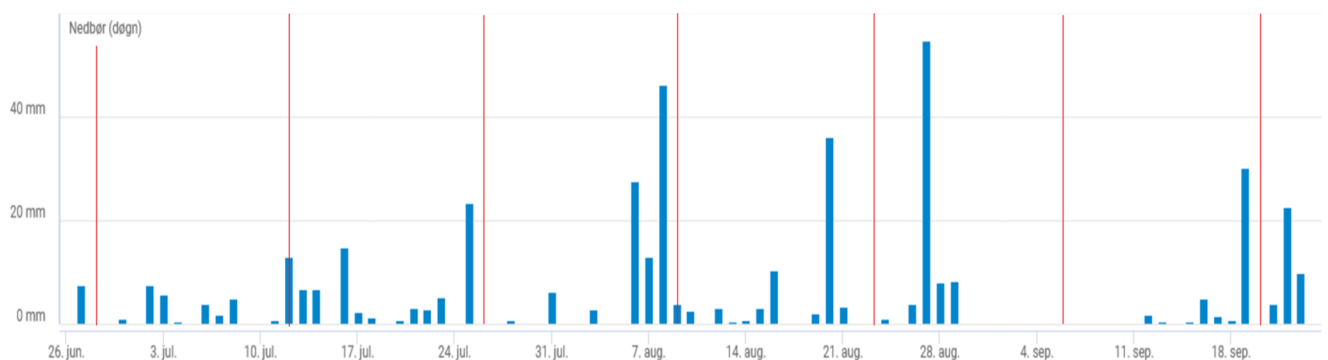
2023). Innføring av vanngjennbruksforordningen ((EU) nr. 2020/741), som introduserer felles kvalitetskrav i EU for gjenbruk av rensert urbant avløpsvann, inkludert takvann, og som skal bidra til å redusere vannmangelen som finnes flere steder i Europa, viser at arbeidet med gjenbruk av vann er kommet en bit på vei (Regjeringen.no, 2021).

Som nevnt i kapittel 3.1.2 er det også et økende interesse for å bruke takvann og overflatevann i urbant landbruk, men det gjenstår en arbeid med utredning av alternative vannkilder, spesielt med fokus på mattrygghet (Lovdata Europalov, u.å.). Takvann vil for eksempel kunne ha ulik kjemisk sammensetning, avhengig av hvilke stoffer som forekommer i vannet grunnet utlekking fra takmaterialet samt atmosfærisk avsetning, og dermed ulik påvirkning på planter og fisk i et akvaponi (De Buyck et al., 2021).

3.2 Vannkvalitet i takvann og fisketank

3.2.1 Nedbør

Som vist i figur 13 var det veldig lite nedbør i starten av prøveperioden. I de to første prøverundene var det så tørt at det ikke var nok vann fra de grønne takene for å gjennomføre alle analyser. Deretter kom mere nedbør, først mindre episoder men mere frekvent, og deretter også episoder med mere nedbør. Mengden nedbør påvirket konsentrasjonen av nærings- og andre stoffer i takvannet i prøveperioden. Resultatene fra analysene av vannet fra de grønne takene viste høyere konsentrasjon av de fleste stoffene i første delen av prøveperioden og lavere mot slutten (se kapittel 3.3).



Figur 13: *Nedbør (døgn) i prøveperioden for område Furuset, som er nærmeste målestasjon til Natur VGS. Prøvetilfeller er markert med røde streker. Bildet er hentet fra <https://seklima.met.no/observations/> (lest 26.01.2024)*

En viktig faktor å ta hensyn til ved bruk av takvann i akvaponi er at mengden nedbør kan variere mye fra år til år, men også fra område til område. Som nevnt innledningsvis (kapittel 1) vil klimaendringer ha stor innvirkning på mengden nedbør i Europa, hvor noen områder får mye og intense nedbørsepisoder, mens andre områder opplever lenger perioder av tørke (European Environment Agency, u.å.-a; European Environment Agency, u.å.-b). Også i Norge, hvor årsnedbøren generelt ventes øke, kan en del områder få mere tørke grunnet varmere klima og lengre perioder med lav vannføring om sommeren (Klima- og

miljødepartementet, 2023; Norsk klimaservicesenter, u.å.; Skaland et al., 2019). Dette vil naturlig nok ha innvirkning på hvor egnet takvann er for bruk i akvaponi.

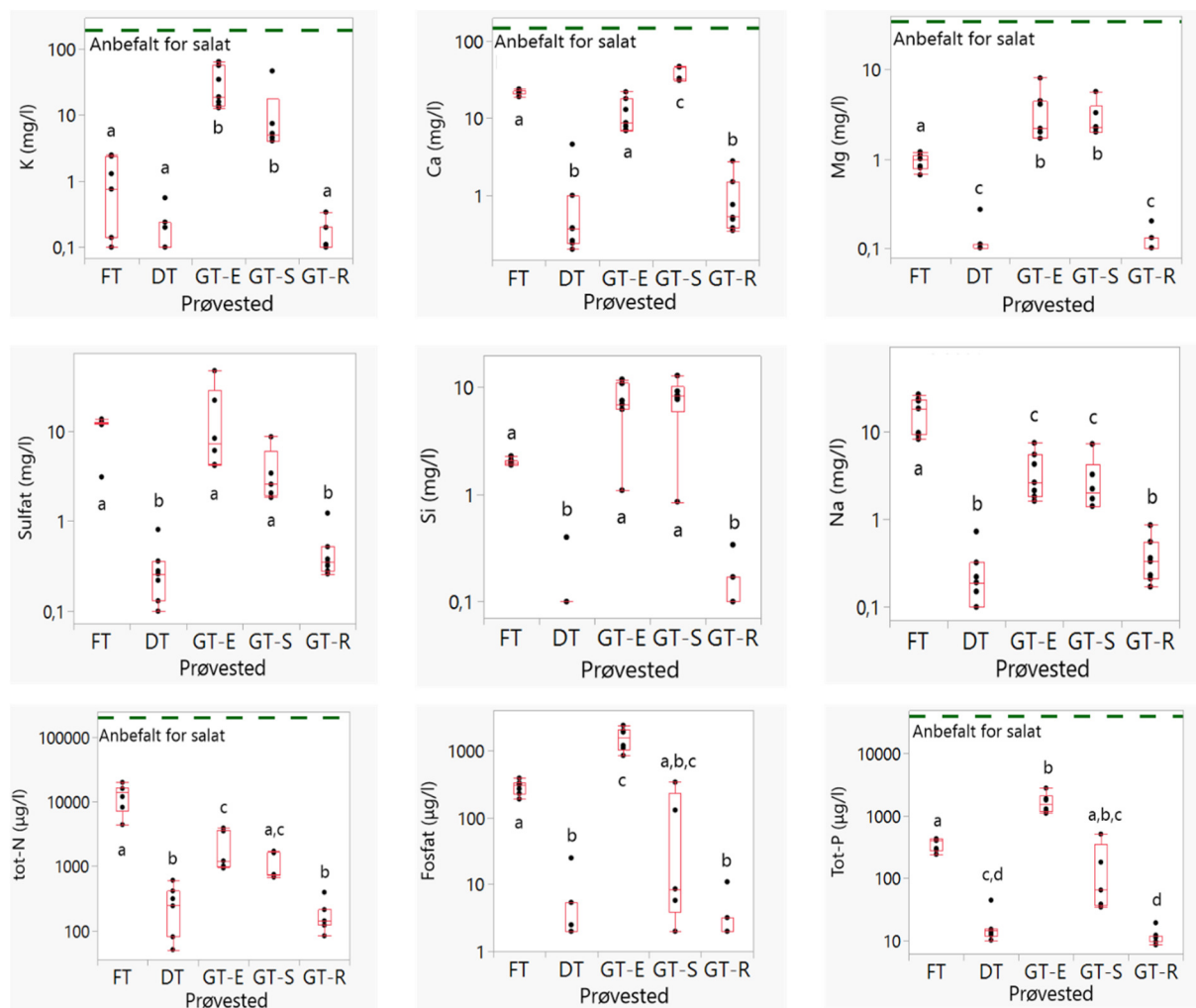
3.2.2 Plantenæringsstoffer

3.2.2.1 Makronæringsstoffer

I figur 14 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4 er konsentrasjonen av makronæringsstoffer (N, P, S, K, Ca, Mg, Na og Si) i vannet fra de ulike takene og akvaponiet presentert. En oversikt av gjennomsnitt, medianer og annen deskriptiv statistikk er presentert i tabell V1, vedlegg 3. Konsentrasjonsdataene er sammenlignet med anbefalte verdier for salat for de stoffer hvor dette er relevant (se også tabell 3 ovenfor). Disse verdier er lagt inn som en grønn stiplet linje i figur 14.

Alle målte konsentrasjoner av makronæringsstoffer, uavhengig av taktype, var lavere enn det som anbefales for salat. Dette inkluderer også fisketanken. Resultatene viser betydelige forskjeller mellom de ulike takene og generelt var konsentrasjonen av makronæringsstoffer lavere i vannet fra drivhus- og referansetak sammenlignet med vannet fra de grønne takene. I de fleste fall var forskjellene statistisk signifikante. Spesielt lave verdier av Si ble målt i vannet fra referanse- og drivhusetaket, hvor flere verdier var under LOQ på 0,1mg/l.

Ved bruk av vannet fra de grønne takene i akvaponiet vil det i dette tilfelle kunne tilføre noe mere makronæringsstoffer til plantene, eller i det minste ikke spede ut konsentrasjonen, da nivåene i fisketanken også var lave. En trolig grunn til det er at kapasiteten i systemet med avseende på mengden fisk (biomasse) og planter vært veldig begrenset i prøveperioden. En høyere produksjonsintensitet ville naturlig nok medført høyere nivåer av næringsstoffer i fisketanken og tilsetning av takvann fra de grønne takene ville da teoretisk kunne minske den totale konsentrasjonen næringsstoffer noe, liksom bruk av vann fra de andre takene.



Figur 14: Boksplott som viser konsentrasjon av makronæringsstoffene K, Ca, Mg, SO_4^{2-} (sulfat), Si, Na, tot-N, PO_4^{3-} (fosfat) og tot-P fra fisketanken (FT) og de forskjellige takene (DT = Drivhus, GT-E = Grønt tak eng, GT-S = Grønt tak sedum, GT-R = Grønt tak referanse). Konsentrasjonene er vist på logaritmisk skala. Enkeltverdier er vist som svarte prikker. Grønn stiplet linje angir anbefalte konsentrasjoner av stoffene for krispissalat. Alle verdier er også tilgjengelig i tabell V2 og V3 i vedlegg 4. Statistiske signifikante forskjeller er anvist med små bokstaver (ulike bokstaver viser statistisk forskjell).

3.2.2.2 Mikronæringsstoffer

I figur 15 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4 er konsentrasjonen av mikronæringsstoffer (Fe, Cl, B, Mn, Zn, Cu, Mo og Ni) i vannet fra de ulike takene og akvaponiet presentert. En oversikt av gjennomsnitt, medianer og annen deskriptiv statistikk er presentert i tabell V1, vedlegg 3. Konsentrasjonsdataene er sammenlignet med anbefalte verdier for salat for de stoffer hvor dette er relevant (se også tabell 3 ovenfor). Disse verdier er lagt inn som en grønn stiplet linje i figur 15.

Alle målte konsentrasjoner av mikronæringsstoffer, uavhengig av taktype, var lavere enn det som anbefales for salat. Dette inkluderer også fisketanken, bortsett fra mengden Cu som var høyere enn anbefalt mengde for salat. Resultatene viser betydelige forskjeller mellom de ulike takene og generelt var konsentrasjonen av mikronæringsstoffer lavere i vannet fra drivhus- og

referansetaket sammenlignet med vannet fra de grønne takene, selv om det ikke er påvist statistisk signifikante forskjeller i alle tilfeller.

Resultatene er også sammenlignet med grenseverdiene MAC-EQS og AA-EQS, som angir henholdsvis maksimal nivå og årlig gjennomsnitt (se kapittel 3.1.3), hentet fra vannforskriften (se også tabell 6 ovenfor). Disse verdiene er lagt inn som en rød linje respektive en orange stiplet linje i figuren. Konsentrasjonene av mikronæringsstoffer med oppgitte grenseverdier (Cu, Zn og Ni) var høyere enn MAC-EQS ved et eller flere tilfeller i vannet fra flere av prøvestedene. Generelt er det målt høyere verdier for disse stoffene i de grønne takene enn i drivhus- og referansetaket, selv om det ikke er påvist statistisk signifikante forskjeller i alle tilfeller.

For Cu i fisketanken varierer målte verdier fra 100 til 200 µg/l med en median på 170 µg/l, mens anbefalte verdier for salat er 100 µg/l. MAC-EQS for Cu i ferskvann er ifølge vannforskriften 7,8 µg/l. Vannet i fisketanken hadde altså mye høyere konsentrasjoner enn dette i hele perioden. Også vannet fra grønt tak- eng hadde høyere konsentrasjoner enn MAC-EQS i hele prøveperioden med en median på 15 µg/l, mens grønt tak- sedum hadde høyere konsentrasjoner t.o.m. prøverunde 5 (23/8), se tabell V2 og V3, vedlegg 4. I vannet fra både referanse- og drivhustaket er det målt lavere konsentrasjoner selv om MAC-EQS overskrides ved et tilfelle i vannet fra drivhustaket (8,1 µg/l er målt den 28/6, se tabell V2 og V3 i vedlegg 4).

Grunnen til de høye nivåene av Cu i fisketanken er at kranvannet transporteres i gamle kobberrør inne i bygget til Natur VGS. For å nøytralisere kobberet (og klorid) ble AquaSafe tilsatt både ved fylling av tankene i forbindelse med oppstart av anlegget, og i vannet som blir brukt til etterfylling (Ribeiro, 2023). AquaSafe nøytraliserer også klor, kloramin, sink og bly (Tetra, u.å.). I følge Meland (2024) er det ikke påvist noen negative effekter på fisken vare seg i prøveperioden eller på senere tidspunkt. Tilsetning av AquaSafe kan imidlertid tenkes å ha en negativ innvirkning på salatproduksjonen hvis den hindrer opptak av næringsstoffene Cu, Cl⁻ og Zn, men dette er ikke undersøkt. Det fremgår ikke hva som er beskyttelsesmekanismen hos AquaSafe, men trolig fungerer den som en kompleksbinder som gjør metallene mindre biotilgjengelige. Ved fortsatt bruk av produktet er dette noe som bør undersøkes nærmere.

Høye Cu-nivåer er ikke nødvendigvis giftige for fisk. Det skyldes at biotilgjengeligheten av kobber kan reduseres av vannkjemiske faktorer. Eksempelvis kan fisk tåle høyere Cu-nivåer med økende Ca- nivå i vannet (Hjeltnes et al., 2012). Konsentrasjonen av TOC er en nøkkelfaktor for å redusere kobbertoksisitet og toksisiteten vil også avta med økende pH (Erikson et al., 2014).

Generelt kan det ikke anbefales å bruke urensset takvann med påviste høye konsentrasjoner av Cu, som fra de grønne takene, i akvaponisystemet. Dette skyldes at toksisiteten avhenger av flere vannkjemiske faktorer som kan endre toksisiteten ved en gitt Cu konsentrasjon. Det kan likevel være interessant å undersøke virkningen av de høye Cu- verdiene nærmere, siden den anbefalte mengden for salat er betydelig høyere enn grenseverdien. I tilfelle med akvaponipiloten er det tilsatt AquaSafe, men det er ikke nødvendigvis en ideell løsning for takvann.

For Zn er MAC-EQS i ferskvann 11 µg/l ifølge vannforskriften. Vannet i fisketanken hadde mye høyere konsentrasjoner enn dette hele perioden med en median på 54 µg/l. En årsak til de høye nivåene kan være korrosion av vannrør og røranslutninger (Timmons & Ebeling, 2007). Som nevnt vil den tilsatte AquaSafe nøytralisere også Zn.

Vannet fra referansetaket hadde konsentrasjoner av Zn fra 4,6 til 8,1 µg/l med en median på 6,8 µg/l, noe som tyder på at nedbøren inneholder en del Zn. Det kan også være tørravsetninger og eventuelle additiver i takmaterial og oppsamlingstank som lekker ut. Vannet fra drivhustaket hadde en noe høyere median i målte konsentrasjoner med 10 µg/l, selv om ingen statistisk signifikant forskjell er påvist for de to takene. Flere høye enkeltverdier, hvor 3 av 7 måleverdier er høyere enn MAC-EQS (se tabell V2 og V3 i vedlegg 4), kan skyldes at vannet fra drivhuset trolig ledes via en galvanisert takrenne inn i oppsamlingstanken. Galvanisert stål inneholder blant annet Zn som kan lekker ut.

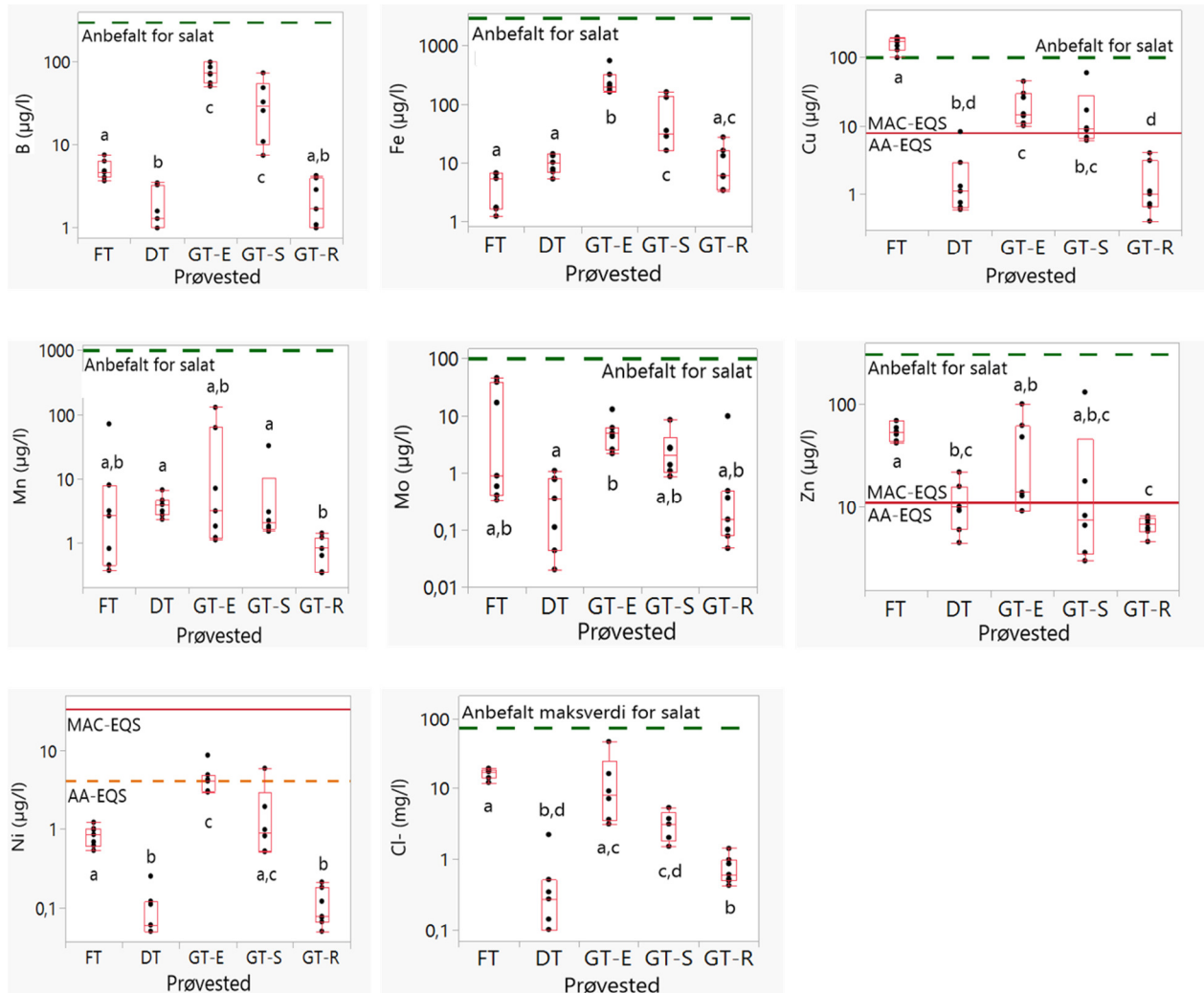
I vannet fra begge de grønne takene er det målt veldig høye verdier av Zn i starten med 100 µg/l for grønt tak- eng og 130 µg/l for grønt tak- sedum i første prøverunden (se figur 18 i kapittel 3.3 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4). Deretter synker konsentrasjonen raskt og etter hvert også under MAC-EQS. Dette kan skyldes tørre forhold i starten av prøveperioden med utvasking av stoffer i en liten mengde vann og at det med mere nedbør utover i perioden oppstod en fortynningseffekt i oppsamlingsbeholdene. Som for Cu er toksisiteten av Zn sterkt avhengig av vannkjemien (Grande, 1967) og takvann med nivåer over MAC-EQS for ferskvann bør undersøkes nærmere i henhold til biotilgjengelighet før det brukes i akvaponiet.

Ni har en MAC-EQS i vannforskriften på 34 µg/l og 4 µg/l i AA-EQS for den biotilgjengelige konsentrasjonen for stoffet. Gjennomsnittet for vannet fra grønt tak- eng i prøveperioden er litt over AA-EQS med 4,49 µg/l. I forsøket er den totale mengden Ni målt, og det er derfor ikke mulig å vurdere Ni- konsentrasjonen opp imot det årlige tillatte gjennomsnittet. Konsentrasjonen ser imidlertid ut å være avtagende med tiden (se figur 18 i kapittel 3.3 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4), noe som indikerer at mengden Ni i takvannet ikke vil utgjøre et problem. Alle andre prøvesteder har konsentrasjoner under MAC-EQS og AA-EQS.

Selv om det ikke er satt grenseverdier for Fe i forhold til vannkvalitet, kan det være skadelig for fisk. VKM skriver i sin risikovurdering av fiskehelse og velferd i ferskvannsproduksjon systemer for regnbueørret, brun ørret og røye (Erikson et al., 2014) at jernkonsentrasjonen bør holdes lavere enn 0,15 mg/l (dvs. 150 µg/l). Igjen er tilstandsformen avgjørende for toksisiteten som henger sammen med avsetning og akkumulering på gjellene. Teien et al. (2008) skriver at at Fe(II) anses som mest toksisk grunnet sin biotilgjengelighet og evne til å generer frie radikaler. Men de viser også gjennom egne forsøk at når Fe(III) ioner tilsetts ferskvann med nøytral eller noe lavere pH (circumneutral på engelsk) så er akkumuleringen av jern på gjellene signifikant høyere enn ved eksponering for Fe(II) grunnet en økning av molekylmassen som følge av hydrolyse og polymerisasjon.

Høyest verdier av Fe ble målt i vannet fra de grønne takene. Konsentrasjonen i vannet fra grønt tak- eng er over VKM sin anbefaling for laksefisk i hele prøveperioden, mens vannet fra grønt tak- sedum såvidt er høyere helt i starten med 160 µg/l i prøverunde 1 og avtar kraftig med tiden og måler 16 µg/l i prøverunde 7 (se tabell V2 og V3 i vedlegg 4). I godt oksygenert vann foreligger jern i hovedsak som svært uløslige Fe(III) hydroksider og vil ikke utgjøre en risiko for fisken (Teien et al., 2008). Akvaponipiloten er utstyrt med pumper for lufting av vannet hvor O₂ tilføres. I de tilfeller da bruk av vann med mye Fe vurderes brukt til akvaponi,

spesielt i dette tilfelle fra grønt tak-eng, anbefales en viss forsiktighet samt å sørge for stabile forhold da tilstandsformen er avhengig av flere faktorer, deriblant pH. I akvaponipiloten er konsentrasjonen i fisketanken veldig lav slik at påfylling med takvannet fra de grønne takene allikevel ikke vil innebære noen større økning av den totale konsentrasjonen av Fe. Hensyn må imidlertid tas til mengde takvann og påfyllshastighet.



Figur 15: Bokplott som viser konsentrasjon av mikronæringsstoffene B, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, Ni og Cl⁻ fra fisketanken (FT) og de forskjellige takene (DT = Drivhustak, GT-E = Grønt tak eng, GT-S = Grønt tak sedum, GT-R = Grønt tak referanse). Konsentrasjonene er vist på logaritmisk skala. Enkeltverdier er vist som svarte prikker. Grønn stipledd linje angir anbefalte konsentrasjoner av stoffene for kripsalat. Rød linje viser MAC-EQS, oransje stipledd linje viser AA-EQS. Alle verdier er også tilgjengelig i tabell V2 og V3, vedlegg 4. Statistiske signifikante forskjeller er anvist med små bokstaver (ulike bokstaver viser statistisk forskjell).

3.2.3 Andre metaller- aluminium, arsen, kadmium, bly, krom

I tillegg til de metaller som er næringsstoffer for plantene og derfor presenterets her ovenfor er det også blitt analysert for Al, arsen (As), Cd, Pb og Cr i vannet fra de ulike takene og akvaponiet. Resultatene vises i figur 16 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4 og sammenlignes med grenseverdiene MAC-EQS og AA-EQS, hentet fra vannforskriften (se også tabell 6 ovenfor).

Disse verdiene er lagt inn som en rød linje respektive en orange stiplet linje i figur 16. En oversikt av gjennomsnitt, medianer og annen deskriptiv statistikk er presentert i tabell V1, vedlegg 3.

Med unntak for konsentrasjonen Pb som er høy i fisketanken er det generelt målt høyere konsentrasjoner av metallene i de grønne takene, selv om det ikke alltid er påvist statistisk signifikante forskjeller, sammenlignet med de andre prøvepunktene. Alle måleverdier er under de maksimale grenseverdiene, MAC-EQS, med enkelte unntak for Cd og eventuelt Al. Årlig tillatt gjennomsnitt, AA-EQS, overstiges imidlertid for flere stoffer i flere prøvepunkter.

Grenseverdiene for kadmium og kadmiumforbindelser er avhengig av vannets hardhet i ferskvann. Oslo har mykt vann med en hardhetsverdi på rundt 2,5 °dH, noe som tilsvarer 15-35 mg Ca/l (Folkehelseinstituttet, u.å.; Oslo Kommune, u.å.). Det gjenspeiles også i fisketanken som er fylt opp med kranvann, og der konsentrasjonen av Ca er mellom 20-25 mg/l. MAC-EQS for Cd for disse betingelsene er $\leq 0,45 \mu\text{g/l}$ og AA-EQ $\leq 0,08 \mu\text{g/l}$. I vannet fra begge de grønne takene overstiger gjennomsnittet av konsentrasjonene AA-EQS for Cd. Gjennomsnittet for grønt tak- eng er $0,27 \mu\text{g/l}$ og for grønt tak-sedum $0,88 \mu\text{g/l}$ i prøveperioden. Dette skyldes høye verdier i prøverunde 1 som trekker opp gjennomsnittet over grenseverdien (se tabell V2 og V3 i vedlegg 4).

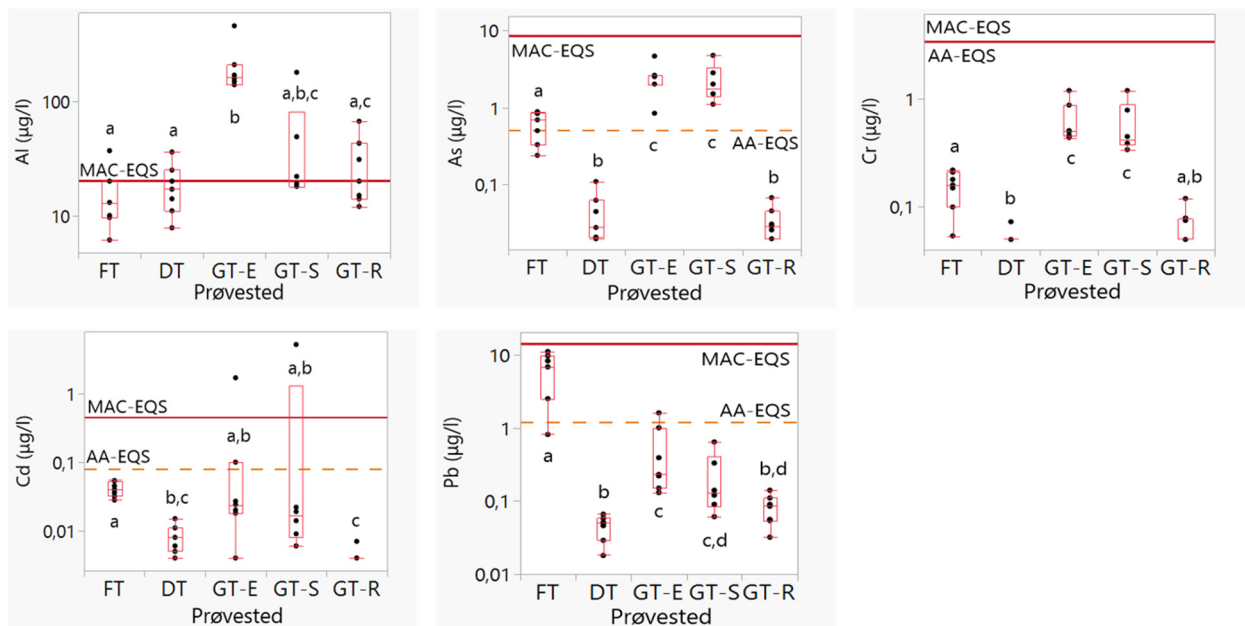
Også AA-EQS for As på $0,5 \mu\text{g/l}$, overstiges i vannet fra de grønne takene der gjennomsnittet er $2,36 \mu\text{g/l}$ for grønt tak- eng og $2,27 \mu\text{g/l}$ for grønt tak- sedum. Også i fisketanken er gjennomsnittet noe høyere enn tillatt med $0,62 \mu\text{g/l}$. Konsentrasjonen av As i vannet fra de grønne takene avtar etter en topp i prøverunde 3 (se figur 18 i kapittel 3.3 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4), noe som indikerer at gjennomsnittet kan synke under grenseverdien på sikt. Prøvene er tatt over en forholdsvis kort tid av året for å gi et klart bilde av årgjennomsnittet. Målinger over en lenger periode kan gi et annet resultat.

I følge figur 16 og tabell V1 i vedlegg 3 er gjennomsnittskonsentrasjonen for Pb på $6,53 \mu\text{g/l}$ i fisketanken tilsynelatende over AA-EQS på $1,2 \mu\text{g/l}$. Grenseverdien gjelder imidlertid for den biotilgjengelige delen av Pb og i forsøket er den totale konsentrasjonen av Pb målt. Grunnen til høye verdier av bly i fisketanken er ikke undersøkt videre, men som tidligere nevnt vil AquaSafe, som er tilsatt for å nøytralisere kobber, i tillegg også nøytralisere bly. I vannet fra de andre prøvestedene er konsentrasjonen Pb mye lavere enn i fisketanken og vel under grenseverdiene i vannforskriften.

For Al er det målt lignende konsentrasjoner i vannet fra drivhustaket og referansetaket med en median på 17 respektive 20 $\mu\text{g/l}$. Vannet fra grønt tak- sedum har også en median i samme størrelsesorden, 20,5 $\mu\text{g/l}$, mens vannet fra grønt tak- eng har betydelig høyere konsentrasjoner og en median på 160 $\mu\text{g/l}$. Giftigheten av aluminium knyttes til de gjellereaktive formene, dvs kationiske eller labile (Diserud et al., 2012). Mengdefordelingen mellom ulike tilstandsformer av Al i ferskvann kan i hovedsak knyttes til vannets organiske innhold (TOC) samt pH (Diserud et al., 2012). Men også forekomst av andre kompleksbildende ligander som Si og konsentrasjonen av Ca har betydelse for toksisiteten (Hess-Erga, 2022; Teien et al., 2006).

I vannforskriften er det angitt klassegrenser for ulike type innsjøer der grenseverdiene gjelder for potensielt giftig aluminium (angitt som Lal, UM-Al). Da type innsjø ikke er direkte overførbart til akvaponi er den laveste grenseverdien (MAC-EQS) på 20 $\mu\text{g/l}$ (fra tabell 7.6

Direktoratsgruppen vanndirektivet (2018)) lagt in i figur 16 som illustrasjon. I forsøket ble den totale mengden Al målt og det er derfor ikke mulig å vurdere disse verdiene opp imot vannforskriften eller Mattilsynet sin anbefaling på < 5 µg/l labilt Al for laksefisk (tabell 1 ovenfor). Det anbefales å se nærmere på innholdet av de reaktive formene for Al før takvannet brukes i akvaponiet, spesielt ved så høye verdier av total mengde Al som ble målt i grønt tak- eng. Resultatet bør videre vurderes opp imot vannkjemien i fisketanken.



Figur 16: Boksplott som viser konsentrasjon av metallene Al, As, Cr, Cd og Pb fra fisketanken (FT) og de forskjellige takene (DT = Drivhustak, GT-E = Grønt tak eng, GT-S = Grønt tak sedum, GT-R = Grønt tak referanse). Konsentrasjonene er vist på logaritmisk skala. Enkeltverdier er vist som svarte prikker. Rød linje viser MAC-EQS, oransje stiplet linje viser AA-EQS. Alle verdier er også tilgjengelig i tabell V2 og V3, vedlegg 4. Statistiske signifikante forskjeller er anvist med små bokstaver (ulike bokstaver viser statistisk forskjell).

3.2.4 Patogener

Det er ikke påvist Legionella ved noen av prøvestedene. E.coli er påvist ved en eller flere prøvetilfeller i både drivhustak og de grønne takene, se tabell V2 og V3 i vedlegg 4. Samtlige resultater er langt under grenseverdien på ≤ 1000 number/100ml (klasse C) for E.coli i gjenvunnet vann til landbruksvanning (se tabell 5 ovenfor). For fisk finnes det ikke noen grenseverdier for E.coli, men målte verdier er også langt under WHO sine retningslinjer med 10^4 (geometrisk gjennomsnitt) per 100ml (WHO, 2006).

Avføring fra blant annet fugler, som kan inneholde patogener, blir vasket ut av takene under en nedbørsepisode. I forsøket er de grønne takene og referansetakene veldig små (ca 0,5m²) og oppsamlingarealet til drivhustaket er også reelt lite (ca 14m²). Dette kan innvirke på resultatet og med større tak og/eller annen plassering er det mulig at resultatet blir et annet.

3.2.5 PAH16

For PAH, som er nevnt innledningsvis som en typisk forurensing i takvann, er det kun 5 av de 16 målte PAH-stoffene som blitt påvist i prøveperioden. Samtlige måleverdier er lavere enn maksimal tillatt verdi for ferskvann og flere målinger er også under LOQ (se tabell V2 og V3 i vedlegg 4, tabell V4 i vedlegg 5 samt tabell 6 ovenfor).

3.2.6 Andre vannkvalitetsparametere

3.2.6.1 TOC- Totalt organisk karbon

I figur 17 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4 er konsentrasjonen TOC i vannet fra de ulike takene og akvaponiet presentert. En oversikt av gjennomsnitt, medianer og annen deskriptiv statistikk er presentert i tabell V1, vedlegg 3. Vannet fra de grønne takene og i fisketanken hadde, naturlig nok, høyere konsentrasjoner enn referanse- og drivhustaket. Selv om det ikke er vist noen statistisk signifikant forskjell mellom de grønne takene var medianen en del høyere i grønt tak- eng med 48,5 mg/l sammenlignet med grønt tak- sedum med en median på 25 mg/l.

I den nåværende definisjonen av innsjøtyper i Norge klassifiseres vann med TOC >15 mg/l som svært humøse (i kombinasjon med fargetall > 90 mg Pt/l) (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018). Dette gir en indikasjon på at det er realt høye nivåer av TOC i vannet fra de grønne takene, men også i fisketanken selv om nivåene der er lavere.

Organisk materiale kan danne komplekser med toksiske metaller og bidra til å redusere toksisiteten for fisk. Organisk materiale fra takvann kan også potensielt føre med seg metaller inn i akvaponiet og disse kan frigjøres igjen dersom faktorer som pH endres. Det organiske materialet vil dermed utgjøre et uønsket toksisk potensiale for fisken, og næring for mikrobiell vekst (Hess-Erga et al., 2013).

3.2.6.2 BOF 5d- Biokjemisk oksygenforbruk

I figur 17 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4 er BOF 5 i vannet fra de ulike takene og akvaponiet presentert. Grenseverdien for gjenbrukt avløpsvann på 25 mg/l (se tabell 5) er også lagt inn som en rød linje i figuren. En oversikt av gjennomsnitt, medianer og annen deskriptiv statistikk er presentert i tabell V1, vedlegg 3.

I vannet fra referanse- og drivhustaket er alle verdier under LOQ på 3 mg/l. I vannet fra grønt tak- eng er en verdi under LOQ og i vannet fra grønt tak- sedum og fisketanken er det kun en verdi over LOQ på hvert sted. Medianen for vannet fra grønt tak- eng er 4 mg/l og den eneste måleverdien over LOQ for vannet fra grønt tak- sedum og fisketanken er 4 mg/l respektive 3 mg/l.

I følge Mc Neely et.al. (1979, referert i Rajan, 2015) anses vann med BOD < 4 mg/l rent og vann med BOD > 10 mg/l som forurenset på grunn av store mengder nedbrytbart organisk materiale. I prøveperioden er alle målte verdier under grenseverdien for gjenbrukt avløpsvann på 25mg/l. Forordningen og direktivet gjelder for gjenvunnet avløpsvann fra renselanlegg der takvann også er inkludert, men ikke spesifikt for takvann. Dette gjør at grenseverdiene ikke er helt tilpasset denne oppgaven, men kan i beste fall gi en pekepinn på hvorvidt vannkvaliteten i takvannet er egnet for akvaponi. Resultatene indikerer at det er en lav belastning av organisk

forurensing i vannet på alle prøvepunkter, selv om vannet fra grønt tak- eng har enkelte måleverdier som er høyere enn de 4mg/l som er nevnt som grensen til hva som anses være rent vann.

3.2.6.3 TTS- Total tørrstoff

I figur 17 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4 er mengden TTS i vannet fra de ulike takene og akvaponiet presentert. Grenseverdien for TSS (totalt suspendert stoff) for gjenbrukt avløpsvann på 35mg/l (se tabell 5) er også lagt inn som en rød stiplet linje i figuren. En oversikt av gjennomsnitt, medianer og annen deskriptiv statistikk er presentert i tabell V1, vedlegg 3.

I de grønne takene og fisketanken er det målt statistisk signifikant høyere verdier av TTS enn i drivhus- og referansetakene. Både drivhus- og referansetak har også 2 verdier hver som er under LOQ på 0,02 g/l. Medianen for grønt tak- eng er 0,17 g/l, grønt tak- sedum 0,23 g/l og fisketanken 0,2 g/l. Medianen for drivhustak og referansetak er 0,05 g/l respektive 0,02 g/l. Som nevnt ovenfor er grenseverdien for TSS for gjenbrukt avløpsvann er 35 mg/l (0,035g/l), se tabell 5. Resultatene viser at mange av de målte verdiene er over grenseverdien, men samtidig gjelder den ikke spesifikt for takvann. Kravene er også for TSS, mens TTS er målt i denne oppgaven.

Fjellheim et al. (2016) skriver at fjerning av partikler fra vannet som skal benyttes i resirkuleringsanlegg er viktig. Þórarinsdóttir et al. (2015) anslår at utilstrekkelig fjerning av fast avfall er grunnen til mer enn 85 % av mislykkede akvaponikksystemer.

Partikler kan bl.a. forårsake stress og gjelleproblemer hos fisken, og føre til dårlig rothelse hos plantene (Fjellheim et al., 2016; Rakocy et al., 2006). Suspenderte stoffer kan også gi økt forekomst av heterotrofe bakterier (arter som bryter ned og metaboliserer organisk karbon) som potensielt kan utkonkurrere andre nødvendige arter, for eksempel nitrifikasjonsbakterier (Hess-Erga, 2022; Lennard & Goddek, 2019). I tillegg vil den bakterielle nedbrytningen av partiklene øke oksygenkonsumet og CO₂ - og ammoniakkproduksjonen i systemet. (Fjellheim et al., 2016).

I følge Timmons og Ebeling (2007) bør TSS konsentrasjoner i RAS- systemer være i intervallet 0,01 til 0,03 g/l. Toleransen for suspenderte stoffer er imidlertid artsavhengig og det er svært lite informasjon tilgjengelig om effektene av høye konsentrasjoner på fiskehelsen over lenger perioder. Også kunnskap om andre arter enn laksefisk er svært begrenset (Yavuzcan Yildiz et al., 2017).

I forsøket er det TTS som er målt og det er derfor ikke mulig å vurdere verdiene opp imot de anbefalte verdiene for TSS. Det er kun referansetaket som har en median under anbefalte verdier og spesielt fisketanken og de grønne takene har høye konsentrasjoner i forhold til dette. Akvaponipiloten er imidlertid utstyrt med posefilter for partikkelfjerning for å unngå negative effekter (Hess-Erga, 2022). Grunnet det høye innholdet av TTS i vannet fra de grønne takene anbefales det å se nærmere på innholdet av TSS i vannet før dette brukes i akvaponiet, men også innvirkning på koi vil være interessant for videre studier.

3.2.6.4 Alkalitet

I litteraturen angis alkalitet ofte i enhet mg/l, men da måleverdiene i dette forsøket er angitt i mmol/l har alle anbefalinger fra litteraturen for enkelhets skyld blitt gjort om til mmol/l ved hjelp av molmassen for kalsiumkarbonat- CaCO_3 (100,09 g/mol).

VKM nevner i sin risikovurdering av fiskehelse og velferd i ferskvannsproduksjon systemer for regnbueørret, brun ørret og røye (Erikson et al., 2014) to forskjellige intervaller på anbefalte nivåer av alkalitet; 0,2 mmol/l til 1-1,5 mmol/l og 0,5-3 mmol/l for laksefisk. Þórarinsdóttir et al. (2015) mener at alkalitet i akvaponisystemer bør være > 1 mmol/l. Joseph et al. (1993) angir et intervall 0,2- 3 mmol/l. I tillegg finnes det en rad andre anbefalinger i litteraturen.

I figur 17 og tabell V2 og V3 i vedlegg 4 er alkaliteten i vannet fra de ulike takene og akvaponiet presentert. En oversikt av gjennomsnitt, medianer og annen deskriptiv statistikk er presentert i tabell V1, vedlegg 3. I dette forsøket hadde både vannet fra drivhus- og referansetaket flere verdier under LOQ på 0,03 mmol/l. Med medianer på 0,03 mmol/l på begge steder er alkaliteten her lav i forhold til anbefalingene, selv om det er noe spredning på verdiene i vannet fra drivhustaket. Vannet fra grønt tak- eng og fisketanken har medianer i samme størrelseområde (0,52 respektive 0,43 mmol/l), mens nivået er signifikant høyere i vannet fra grønt tak- sedum, som har en median på 1,8 mmol/l. Alle tre prøvestedene er dermed stort sett innenfor de nevnte anbefalingene. Da alkaliteten har en avgjørende effekt for å holde pH i akvaponiet stabilt anbefales det å være obs på nivåene i takvannen før det brukes i akvaponiet, spesielt i de tilfeller der alkaliteten avviker stort i forhold til fisketanken. Det kan trenges justeringer ved tilsetning av noen form for bufferløsning.

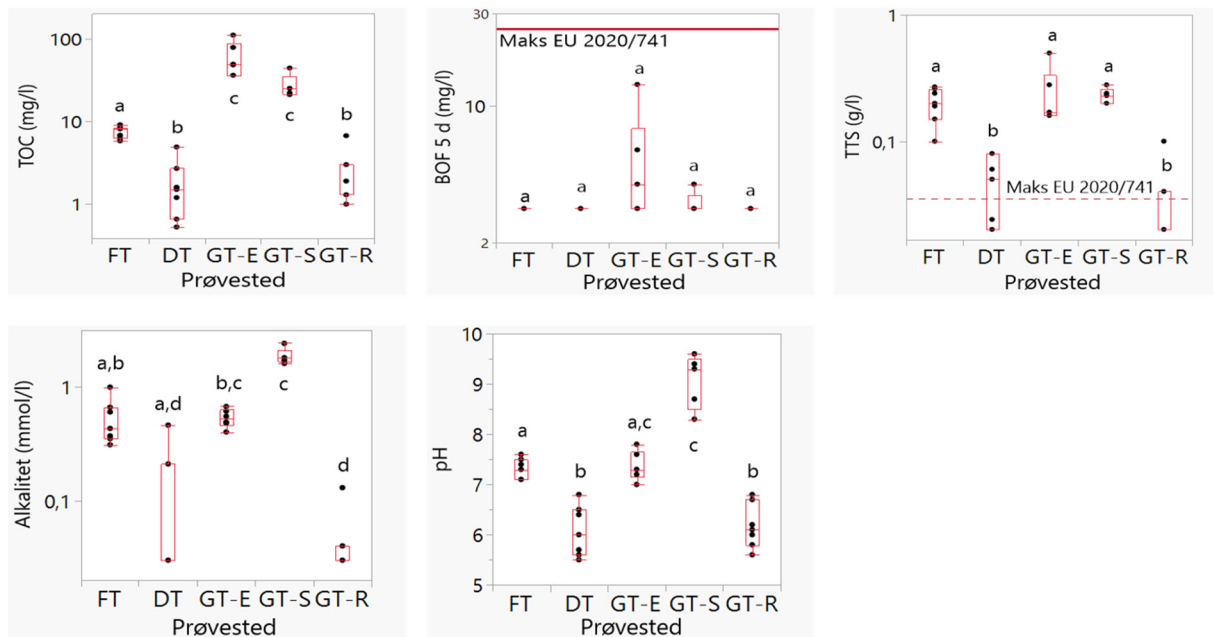
3.2.6.5 pH

I figur 17 og vedlegg 4 er pH i vannet fra de ulike takene og akvaponiet presentert. En oversikt av medianer og annen deskriptiv statistikk er presentert i tabell V1, vedlegg 3. Veiledende verdier som gjelder pH for koi er 6,8-7,5 (se tabell 2 ovenfor). For løsningssevnen og opptak av næringsstoffene i salatproduksjonen er pH 6 gunstigst (se tabell 3 ovenfor).

I fisketanken er pH-verdiene relativt stabile mellom 7,1 og 7,6 og med en median på 7,3. Både i vannet fra drivhustaket og fra referansetaket er pH signifikant lavere med en medianverdi på 6 respektive 6,1. Vannet fra drivhustak og referansetak vil naturlig være litt lavere enn i fisketanken da pH i regnvann som ikke er forurenset er ca 5,6 (FHI, 2021). I vannet fra grønt tak- eng er pH mere lik verdiene i fisketanken med en median på 7,3, mens pH er signifikant høyere i vannet fra grønt tak- sedum med en median på 9,3. Som nevnt i kapittel 1.4 er det en klar enighet i litteraturen om at pH ofte øker i vann som filtreres gjennom grønne tak (Junge et al., 2017). En slik økning kan også ses i resultatene fra denne oppgaven. Forskjellen mellom de begge grønne takene kan trolig tilskrives at de er oppbygde på forskjellige måter.

Tilsetning av takvann med pH som avviker fra det i fisketanken kan medføre utfordringer i forhold til vannkjemien i akvaponiet. Høyt pH som i vannet fra grønt tak-sedum kan for eksempel forskøve likevekten av ammonium (NH_4^+) og NH_3 slik at mengden NH_3 øker og kan skade fisken (Þórarinsdóttir et al., 2015). Det kan derfor være gunstig å justere pH før

tilsetning av takvann i akvaponiet for å holde pH stabilt i systemet. Her vil også faktorer som mengde vann og hastighet for påfyll være avgjørende for om en justering er nødvendig.



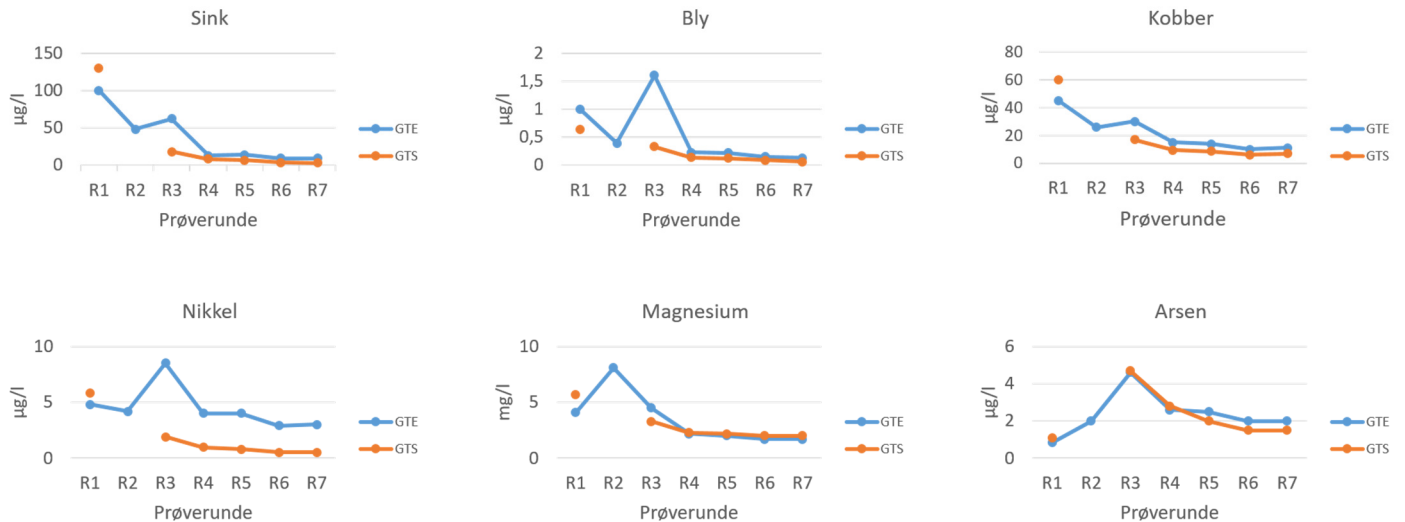
Figur 17: Boksploott som viser TOC, BOF 5, TTS, alkalitet og pH fra fisketanken (FT) og de forskjellige takene (DT = Drivhus-tak, GT-E = Grønt tak eng, GT-S = Grønt tak sedum, GT-R = Grønt tak referanse). Konsentrasjonene er vist på logaritmisk skala. Enkeltverdier er vist som svarte prikker. Rød linje viser maksverdi for gjenbrukt urbant avløpsvann angitt i vanngjennbruchsforordningen (se tabell 5). Alle verdier er også tilgjengelig i tabell V2 og V3, vedlegg 4. Statistiske signifikante forskjeller er anvist med små bokstaver (ulike bokstaver viser statistisk forskjell).

3.3 Grønne tak vs. drivhus- og referansetak

Konsentrasjoner av ulike stoffer varierer mellom takene, men det er generelt målt høyere verdier av de fleste stoffene i vannet fra de grønne takene enn i vannet fra drivhus- og referansetak. Som nevnt i kapittel 3.2.1 påvirker mengden nedbør konsentrasjonen av nærings- og andre stoffer i vannet fra grønne tak. Vannprøvene viste generelt høyere konsentrasjoner av stoffer i begynnelsen av prøveperioden, med en tendens til å avta mot slutten. Vanligvis ble de høyeste konsentrasjonene målt i løpet av de tre første prøverundene. Dette illustreres i figur 18 ved hjelp av diagrammer med måleresultatene fra noen utvalgte stoffer. Tilsvarende mønster ble ikke observert i vannet fra referansetak. Det er derfor trolig at årsaken kan skyldes at mye blir vasket ut fra de grønne takene med den første nedbøren samtidig som mengden vann i oppsamlingsbeholdene fortsatt er liten, og at det med mere nedbør utover i perioden oppstod en fortyningseffekt for mange av de undersøkte stoffene. En del kan også ha blitt tatt opp av plantene. Om dette er en riktig antakelse vil videre undersøkelser kunne vise at konsentrasjonene stabiliserer seg på et lavere nivå med tiden.

Som nevnt i innledningen (kapittel 1.4) viser studier at vannkvaliteten fra grønne tak varierer med blant annet takets alder og at avrenning fra nye tak, som i dette forsøket, generelt har høyere konsentrasjoner av næringsstoffer og forurensinger enn eldre tak. Konsentrasjonene

reduseres over tid grunnet faktorer som som utvasking med nedbør og opptak i planter (Abuseif, 2023). Mengden metaller og andre stoffer kan imidlertid øke i de grønne takene under tørre perioder og frigjøres ved et senere tidspunkt (Abuseif, 2023; Berndtsson et al., 2006; Marín et al., 2023b).



Figur 18: Utvalgte eksempler som viser konsentrasjoner av stoffer (Si, Pb, Cu, Ni, Mg og As) i avrenningen fra grønne tak gjennom prøveperioden. Figuren illustrerer generelt høyere konsentrasjoner i starten av prøveperioden, med en tendens til å avta mot slutten, og at de høyeste konsentrasjonene vanligvis ble målt i løpet av de tre første prøverundene. GTE = Grønt tak eng, GTS = Grønt tak sedum. Alle verdier er også tilgjengelig i tabell V2 og V3, vedlegg 4.

Vannet fra referansetaket var relativt uforurenset i prøveperioden med stoffkonsentrasjoner under alle oppgitte grenseverdier og anbefalinger for maksverdier. Dette er i tråd med den allmenne oppfatningen at regnvann er en relativt ren vannkilde (Meera & Mansoor Ahammed, 2018). Som nevnt i innledningen (kapittel 1.3) kan flere type forurensinger forekomme i urbane områder fra kilder som blant annet trafikk, industri og fyring (Åstebøl et al., 2021). Figur 3 viser at akvaponipiloten og testtakene er lokalisert i utkanten av Oslo relativt nære E6, noe som kan tenkes ha innvirkning på forurensingsgraden. I hvilken utstrekning er ikke mulig å si innenfor rammene for dette forsøket. Nærhet til urbane påvirkninger og vegtrafikk ser imidlertid ikke ut å ha hatt noen kritisk innvirkning på vannkvaliteten i prøveperioden med hensyn til de stoffer og parametere som er analysert for.

Vannet fra drivhustaket viste også en relativt god vannkvalitet i prøveperioden. Med unntak av en enkeltverdi for Cu over MAC-EQS og tre målinger av Zn over MAC-EQS, var også vannet herifra under alle grenseverdier og anbefalinger for maksverdier. Mengden TTS (total tørrstoff) er imidlertid noe høy i forhold til anbefalt mengde TSS (suspenderte stoffer). Måleresultatene kan imidlertid ikke sammenlignes med anbefalingene, da TTS gir et mål på både TSS og oppløst stoff (TDS). Analyser av TSS ville derfor gitt en bedre indikasjon på mengden suspendert materiale i takvannet. Da partikler i vannet kan ha flere negative effekter i akvaponiet er dette noe som bør undersøkes nærmere.

Resultatene for begge prøvestedene viser en lav belastning av organisk forurensing og referansetaket har også en lav mengde TTS i vannet. Både alkalitet og pH er imidlertid noe lave og det kan trenge justeringer og tilsetning av bufferløsning hvis dette vannet skal brukes i akvaponiet. Da pH er en viktig parameter i forhold til vannkjemi og spesiering av stoffer er det viktig å opprettholde stabile verdier i akvaponiet. Justering av både pH og alkalitet gjøres allerede idag ved behov, som en del av driftsrutinene i akvaponipiloten. (Hess-Erga, 2022)

Mange stoffer forekommer naturlig i høyere konsentrasjoner i vannet fra de grønne takene sammenlignet med vannet fra både drivhus- og referansetaket, noe som kan påvirke planter og fisk i akvaponiet. Anrikete næringsstoffer kan for eksempel utnyttes av plantene, gitt at stoffene kan tas opp. Samtidig kan høyere innhold av skadelige stoffer potensielt ha negativ innvirkning på systemet og fremfor alt fisken. Det er flere stoffer som er over gitte grenseverdier og anbefalinger i vannet fra begge takene i hele eller deler av prøveperioden. Blant annet er det målt høye konsentrasjoner av Cu, Zn, Al og Cd. Mengden Zn synker mye fra startperioden i vannet fra begge takene og havner etter hvert under grenseverdiene (MAC-EQS og AA-EQS). Selv om disse grenseverdiene ikke er spesifikke for koi eller akvaponi gir de en indikasjon på at konsentrasjonene kan være skadelige. En relativt høy konsentrasjon av total tørrstoff (TTS) kan antyde en høy mengde suspenderte stoffer (TSS) og bør undersøkes nærmere før vannet brukes i akvaponiet. pH i vannet fra grønt tak- sedum er signifikant høyere enn i fisketanken og kan trenge en justering hvis det skal brukes i akvaponiet.

De grønne takene er oppbyggede på forskjellige måter og det gjenspeiles også i resultatene. Som nevnt i innledningen (kapittel 1.4) varierer kvaliteten av avrenningen fra grønne tak stort og at dette i stor grad skyldes forskjeller i konstruksjonen og vedlikeholdet av takene (Berndtsson, 2010). Selv om det ikke alltid er påvist signifikante forskjeller mellom resultatene for de to takene er det for mange stoffer målt flere enkeltverdier med høyere konsentrasjon i vannet fra grønt tak- eng enn i vannet fra grønt tak- sedum. Zn, Ni, Al og Pb er noen eksempler på dette.

I en feltstudie av Berndtsson et al. (2006) med fire fullskalea grønne ekstensive tak av ulik alder og konstruksjon i sør- Sverige, analyseredes sigevannet for flere ulike metaller og næringsstoffer. Studien viser både likheter og ulikheter med de oppnådde resultatene i denne oppgaven. Mengden Zn fra takene i den svenske studien var for eksempel i samme størrelsesorden som i denne oppgaven, mens mengden Cu var 2-3 ganger lavere. Konsentrasjonen i vannet fra de grønne takene var imidlertid i samme størrelsesorden som nedbøren, hvilket ikke er tilfelle i denne oppgaven hvor referansetaket (som i stor grad representerer regnvann) hadde ca 10-15 ganger lavere verdier av Cu enn de grønne takene. Mengden Pb fra takene i den svenske studien var ca 15-20 ganger høyere enn resultatene i denne oppgaven. Også her var konsentrasjonen i vannet fra de grønne takene i den svenske studien i samme størrelsesorden som nedbøren, mens mengden Pb var 3-5 ganger lavere i vannet fra referansetaket enn vannet fra de grønne takene i denne oppgaven. Berndtsson et al. (2006) viser også at måleresultatene varierte mellom takene, men det var også forskjeller mellom ulike seksjoner av et av takene, noe som antas bero på ulike konstruksjon eller ulik behandling. Dette indikerer at det er flere faktorer som påvirker vannkvaliteten i avrenningen fra grønne tak, noe som også uttrykkes i litteraturen.

I en litteraturstudie av (Marín et al., 2023a), hvor grønne taks innvirkning på vannkvaliteten hos urbant overvann undersøktes, presenteres vidt forskjellige måleresultater av stoffer. Mengden Zn i ulike takvann varierte for eksempel mellom 6 µg/l og 240 mg/l. Cu varierte mellom 6 µg/l og 320 mg/l og Pb varierte mellom 50 µg/l og 61,5 mg/l (observere at det er ulike enheter). Forfatterne noterer en brist på standardisering og felles kriterier i studiene, hvor ulike konstruksjoner, alder og vedlikehold hos takene forekommer. Dette mener de gjør det vanskelig å vurdere omfanget av påvirkningen grønne tak har på vannkvaliteten i avrenningen. De påpeker også at det nåværende bildet vedrørende kilde-sluk- effekten av forurensinger fra grønne tak ikke er helt tydelig. Grunnen oppgis være bruk av forskjellige referanser og et begrenset antall studier som er publisert om kvaliteten på sigevann fra grønne tak. Dette gjør sammenligning av resultater fra ulike forsøk vanskelig og tyder på at ytterligere studier på området trengs.

Ved bruk av takvann i akvaponiet vil en vurdering av vannkjemien i fisketanken og innvirkningen av tilsatte stoffer være en viktig faktor å ta hensyn til. Selv om enkelte konsentrasjoner av stoffer i takvannet er høyere enn grenseverdiene hentet fra vannforskriften og ulike anbefalinger innebærer ikke det nødvendigvis at den totale konsentrasjonen av aktuelle stoffer i fisketanken også vil ligge over grenseverdien etter tilsetning av takvann. Faktorer som mengde tilsatt vann og tilsetningshastighet vil også spille en rolle for påvirkningen på systemet. Samtidig må hensyn tas til at metaller som f.eks. Pb og Cd, partikler og andre stoffer som ikke tas opp av salaten kan akkumuleres i systemet med tiden og etter hvert forårsake negative effekter.

Resultatene fra gjeldene forsøk indikerer at infiltrasjon av regnvann gjennom grønne tak gjør vannet noe mindre egnet til bruk i akvaponier enn takvann uten infiltrasjon gjennom vegetasjon. Vannet fra referansetakket ligger innenfor fastsatte grenseverdier, i forhold til de analyser som er utført, og kan følgelig brukes for å fylle opp vann i akvaponipiloten. Muligens trengs en justering av alkalitet og pH. Vannet fra drivhustaket har som nevnt enkelte måleverdier som ligger over grenseverdiene og det kan være hensiktsmessig å se nærmere på hvilken innvirkning det vil ha på akvaponianlegget i praksis. Vannet fra de grønne takene har høyere konsentrasjoner enn grenseverdier og anbefalinger for flere stoffer, noe som bør undersøkes nærmere i forhold til toksisitet og negativ innvirkning før bruk av vannet i akvaponiet. Da konsentrasjonene av de fleste stoffene reduseres etter hvert som mer nedbør kommer, er en mulig strategi å avvete litt før vannet samles opp og brukes. Et enkelt rensetrinn før gjenbruk av vannet i akvaponiet kan også være et alternativ å undersøke videre. Da takets konstruksjon i stor grad påvirker vannkvaliteten (Berndtsson, 2010), kan forsøk med andre type grønne tak tenkes å gi andre resultater. Prøvene er også tatt over en forholdsvis kort periode av året, og gir ikke et klart bilde av variasjoner over tid.

3.4 Anbefaling og videre studier

Resultatene fra prøvetakingen som ble utført sommeren 2023, peker tydelig mot behovet for en grundigere undersøkelse av vannkvaliteten, primært for vannet fra de grønne takene, men også til dels vannet fra drivhustaket. Målte konsentrasjoner satt opp i forhold til rådende regelverk og anbefalinger viser at mengden av flere stoffer kan ha en potensielt negativ effekt, fremst for fisken.

Blant annet bør høye konsentrasjoner av Cu, Zn, Cd og Al undersøkes nærmere i forhold til innvirkning i akvaponiet, da eventuell toksisk effekt avhenger biotilgjengelighet som vil påvirkes av vannkjemien i systemet. Vannprøvene er analysert for total mengde av de ulike stoffene, og tilstandsformer av de ulike stoffene bør undersøkes videre for å vurdere eventuell toksisiteten for fisk. Det anbefales også å være oppmerksom på risikoen for oppkonsentrering av metaller (for eksempel Pb og Cd), partikler og andre stoffer som ikke tas opp av salaten, og som med tiden kan ha negative virkninger.

Evaluerings av den totale konsentrasjonen av ulike stoffer etter tilsetning av takvann til akvaponiet, kan avgjøre behovet for å innføre et enkelt rensestrinn. En justering av pH og alkalitet i takvannet kan være nødvendig for å opprettholde stabile forhold i akvaponiet som er viktig for vannkjemien og stoffspesieringen.

Disse anbefalingene er basert på syv prøvetakingsrunder som gjenspeiler takvannets kvalitet sommeren 2023, en begrenset periode. Konsentrasjoner av ulike forurensinger kan endres med faktorer som nedbørmengde, årstid og takenes alder og oppbygging, og videre studier kan bidra til å forstå hvordan vannkvaliteten endrer seg over tid og på ulike taktyper. For eksempel ville et forsøk med takvann fra et eller flere tak i området ved Natur VGS vært interessant for å undersøke mulighetene til å benytte eksisterende bygninger til gjenbruk av takvann. Det var dessverre ikke var mulig i dette forsøket.

I denne studie ble vannet analysert for mange stoffer med hensikt å beskrive takvannets kvalitet, inkludert forurensningsgraden. Som nevnt i innledningen (kapittel 1.3) er også PCB-er, pesticider, plastmykgjørere og andre kjemikalier vanlige forurensninger i takvann, og flere av disse er også påvist i studier av grønne tak. Det kan derfor være interessant å undersøke forekomsten av disse forurensingene i takvannet og deres potensielle effekter på akvaponisystemet.

3.5 Konklusjon

Innenfor EU og i Norge har akvaponi idag ingen klar juridisk status eller spesifikk regulering. Det eksisterende regelverket er komplekst og omfatter lokale, nasjonale og EU-lover som behandler drift av fiskeoppdrett og hydroponidyrking separat. Dette skyldes delvis at akvaponi befinner seg i grensesnittet mellom ulike sektorer, noe som gjør reguleringen utfordrende. Det er også få konkrete retningslinjer for vannkvalitetsparametere i akvaponi, og mye av ansvaret ligger på næringen for å sikre god drift med hensyn til viktige aspekter som fiske- og plantehelse og mattrygghet. For innhøstet regnvann finnes det ikke noen spesifikke lovmessige krav til vannkvaliteten tilknyttet formålet med bruken.

Feltundersøkelsen viste at de grønne takene generelt hadde høyere konsentrasjoner av ulike stoffer i prøveperioden enn drivhus- og referansetakene, noe som gjør at de ikke ser ut å være mere egnet til bruk i akvaponi sammenlignet med vannet fra drivhus- og referansetakene. Forskjeller mellom de grønne takene ble også påvist, selv om disse ikke alltid var signifikante. Denne forskjellen kan trolig tilskrives konstruksjonen av takene, hvor faktorer som substratets sammensetning og vegetasjonstype spiller en viktig rolle.

Vannet fra referansetaket, som i stor grad representerer regnvann, var relativt uforurenset i prøveperiodet. Resultatene viste at stoffkonsentrasjonene var innenfor anbefalte maksverdier og vannforskriftens grenseverdier (MAC-EQS og AA-EQS) for akutte og kroniske effekter på fremst fisken i akvaponiet. Noen måleverdier av kobber (Cu) og sink (Zn) i vannet fra drivhuset overskred disse grenseverdier. De grønne takene hadde høyere konsentrasjoner enn grenseverdier og anbefalinger for flere stoffer, inkludert Cu, Zn, Al og Cd, i hele eller deler av prøveperioden. En relativt høy konsentrasjon total tørrstoff (TTS) i vannet fra de grønne takene og drivhuset, antyder en mulig høy mengde suspenderte stoffer (TSS). Resultatene indikerer behov for å vurdere vannkvaliteten ytterligere med hensyn til dens påvirkning på akvaponisystemet. Dette inkluderer en vurdering av biotilgjengeligheten hos potensielt giftige stoffer i høye konsentrasjoner, total tilført mengde takvann til systemet og mulig akkumulering over tid som kan føre til negative effekter. Det kan også være nødvendig å justere pH og alkalitet i takvannet for å opprettholde stabile forhold i akvaponiet.

En utvaskningseffekt i de grønne takene ved den første nedbøren, etterfulgt av en fortykningseffekt med økt nebb over tid, kan forklare en generelt høyere konsentrasjon av de fleste stoffene i starten av prøveperioden og lavere mot slutten. Da grønne tak kan ha mange fordeler i urbane områder, er en mulig strategi for å håndtere utfordringer med vannkvaliteten at avvente bruk i akvaponiet til lavere konsentrasjoner oppnås, men det bør undersøkes nærmere. Andre type grønne tak og muligheten å bruke vann fra befintlige tak i området kan også være alternativer verdt å undersøke nærmere, liksom et enkelt rensetrinn før gjenbruk av vannet i akvaponiet.

Referanser

- Abbasi, R., Martinez, P. & Ahmad, R. (2021). An ontology model to support the automated design of aquaponic grow beds. *Procedia CIRP*, 100: 55-60. doi: 10.1016/j.procir.2021.05.009.
- Abuseif, M. (2023). Exploring Influencing Factors and Innovative Solutions for Sustainable Water Management on Green Roofs: A Systematic Quantitative Review. *Architecture (Basel)*, 3 (2): 294-327. doi: 10.3390/architecture3020017.
- Baganz, G. F. M., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., Staaks, G., Shaw, C., Lohrberg, F. & Kloas, W. (2022). The aquaponic principle—It is all about coupling. *Reviews in aquaculture*, 14 (1): 252-264. doi: 10.1111/raq.12596.
- Berndtsson, J. C., Emilsson, T. & Bengtsson, L. (2006). The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. *Sci Total Environ*, 355 (1): 48-63. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.02.035.
- Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological engineering*, 36 (4): 351-360. doi: 10.1016/j.ecoleng.2009.12.014.
- Blomstertak AS. (2021). *Sedumkassett*: Blomstertak AS. Tilgjengelig fra: <https://www.blomstertak.no/wp-content/uploads/2021/10/Nytt-produktblad-Oktober-Sedumkassett.pdf> (lest 01.09.2023).
- Braskerud, B. C. (2016). *Grønne tak for flomdemping*. Brosjyre. Blågrønne overvannsløsninger, Oslo Kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/Media/5036/overvann-gr%C3%B8nne-tak-for-flomdemping.pdf>.
- Cammies, C., Mytton, D. & Crichton, R. (2021). Exploring economic and legal barriers to commercial aquaponics in the EU through the lens of the UK and policy proposals to address them. *Aquaculture international*, 29 (3): 1245-1263. doi: 10.1007/s10499-021-00690-w.
- Campbell, B. (2021). What is Total Suspended Solids (TSS)? *Wastewater digest*. Tilgjengelig fra: <https://www.wwdmag.com/utility-management/article/10939708/what-is-total-suspended-solids-tss> (lest 02.10.2023).
- Carn, B., Pandarakalam, C., Jackson, D., Hopp, C. & Rowland, K. (2015). Achieving pulpal anesthesia with a topical anesthetic paste. *Journal of Orofacial Sciences*, 7 (2): 125-128. doi: 10.4103/0975-8844.169775.
- Council of Europe. (u.å.). *Standing committee of the European convention for the protection of animals kept for farming purposes (T-AP). Recommendation concerning farmed fish*. Tilgjengelig fra: https://www.coe.int/t/e/legal_affairs/legal_co-operation/biological_safety_and_use_of_animals/Farming/Rec%20fish%20E.asp (lest 31.10.2023).
- De Buyck, P.-J., Van Hulle, S. W. H., Dumoulin, A. & Rousseau, D. P. L. (2021). Roof runoff contamination: a review on pollutant nature, material leaching and deposition. *Reviews in environmental science and biotechnology*, 20 (2): 549-606. doi: 10.1007/s11157-021-09567-z.
- Deksissa, T., Trobman, H., Zendeudel, K. & Azam, H. (2021). Integrating Urban Agriculture and Stormwater Management in a Circular Economy to Enhance Ecosystem Services: Connecting the Dots. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 13 (15): 8293. doi: 10.3390/su13158293.
- Departementene. (2021). *Dyrk byer og tettsteder. Nasjonal strategi for urbant landbruk*. Tilgjengelig fra:

- <https://www.regjeringen.no/contentassets/4be68221de654236b85b76bd77535571/207980-strategi-for-urbant-landbruk-web.cleaned-1.pdf> (lest 07.02.2024).
- Direktoratsgruppen vanndirektivet. (2018). *Klassifisering av miljøtilstand i vann*. Veileder 02:2018 Tilgjengelig fra: <https://www.vannportalen.no/veiledere/klassifiseringsveileder/> (lest 27.09.2023).
- Diserud, O. H., Kroglund, F., Teien, H.-C., Tjomsland, T. & Økland, F. (2012). *Modellering av gjellealuminium. Aluminiumspåslag på gjellene til laksesmolt og betydningen dette kan ha for utvandringen*. Rapport 773: Norsk Institutt for Naturforskning (NINA). Tilgjengelig fra: <https://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/rapport/2012/773.pdf> (lest 14.11.2023).
- Donghui, Z., Chunpeng, F., Juan, Z. & Cun-Hui, Z. (2008). Nonparametric methods for measurements below detection limit. *Statistics in medicine*, 28: 700-715. doi: 10.1002/sim.3488.
- Dorick, J., Hayden, M., Smith, M., Blanchard, C., Monu, E., Wells, D. & Huang, T.-S. (2021). Evaluation of Escherichia coli and coliforms in aquaponic water for produce irrigation. *Food microbiology*, 99: 103801. doi: 10.1016/j.fm.2021.103801.
- efsa. (u.å.). *Fish welfare* Tilgjengelig fra: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/fish-welfare> (lest 31.10.2023).
- Emil, T., Dobril, V., Irina, R. & Galina, D. (2023). Discussion on the Need for Harvested Rainwater Quality Standards Tailored to the Reuse Purpose. *Processes*, 11 (3): 665. doi: 10.3390/pr11030665.
- Erikson, U., Berge, D., Biering, E., Hjeltnes, B. & Rimstad, E. (2014). *Risk assessment of fish health and welfare in fresh water production systems for rainbow trout, brown trout and Arctic char*. Report 2014:12. Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM). Tilgjengelig fra: <https://vkm.no/download/18.2994e95b15cc54507161e760/1498221161319/Risk%20assessment%20of%20fish%20health%20and%20welfare%20in%20freshwater%20production%20systems.pdf> (lest 14.09.2023).
- EU Platform on Animal Welfare Own Initiative Group on Fish. (u.å.). *Guidelines on water quality and handling for the welfare of farmed vertebrate fish*. Tilgjengelig fra: https://food.ec.europa.eu/system/files/2022-07/aw_platform_plat-conc_guide_farmed-fish_en.pdf (lest 10.12.2023).
- EUR-Lex. (2020). *Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse*. Tilgjengelig fra: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj> (lest 07.09.2023).
- EUR-Lex. (u.å.). *Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment*. Tilgjengelig fra: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31991L0271> (lest 15.11.2023).
- European Commission. (2022). *Guidelines to support the application of Regulation 2020/741 on minimum requirements for water reuse*. Tilgjengelig fra: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022XC0805\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022XC0805(01)&from=EN) (lest 08.11.2023).
- European Commission. (u.å.-a). *Circular economy action plan*. Tilgjengelig fra: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en (lest 25.01.2024).
- European Commission. (u.å.-b). *Delivering the European Green Deal*. Tilgjengelig fra: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en#renovating-buildings-for-greener-lifestyles (lest 25.01.2024).

- European Commission. (u.å.-c). *Farm to Fork strategy*. Tilgjengelig fra: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en (lest 25.01.2024).
- European Commission. (u.å.-d). *Green infrastructure*. Tilgjengelig fra: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en (lest 25.01.2024).
- European Commission. (u.å.-e). *Urbanisation in Europe*. Tilgjengelig fra: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/continuing-urbanisation/urbanisation-europe_en (lest 01.20.2024).
- European Commission. (u.å.-f). *Water scarcity and droughts: Preventing and mitigating water scarcity and droughts in the EU* Tilgjengelig fra: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-scarcity-and-droughts_en#in-the-eu (lest 20.01.2024).
- European Environment Agency. (u.å.-a). *Climate change impacts, risks and adaptation*. Tilgjengelig fra: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/climate-change-impacts-risks-and-adaptation> (lest 20.01.2024).
- European Environment Agency. (u.å.-b). *Extreme weather: floods, droughts and heatwaves*. Tilgjengelig fra: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/extreme-weather-floods-droughts-and-heatwaves> (lest 20.01.2024).
- FAO. (2021). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point*. . Synthesis report 2021. Tilgjengelig fra: <https://www.fao.org/3/cb7654en/cb7654en.pdf> (lest 31.01.2024).
- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J. & Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Res*, 45 (10): 3245-3254. doi: 10.1016/j.watres.2011.03.036.
- Ferrand, E. A. (2014). Rainwater Harvesting as an Effective Climate Change Adaptation Strategy in Rural and Urban Settings. I: Shrestha, S., Anal, A. K., Salam, P. A. & van der Valk, M. (red.) Springer Water, *Managing Water Resources under Climate Uncertainty*, s. 405-420. Switzerland: Springer International Publishing AG.
- FHI. (2021). *Kjemiske og fysiske stoffer i drikkevann* Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/sm/drikkevann/stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/?term=> (lest 12.12.2023).
- Fjellheim, A. J., Hess-Erga, O., Attramadal, K. & Vadstein, O. (2016). *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon*. 2 utg. Bakgrunnshefte til kurs i resirkuleringsteknologi for settefiskproduksjon. Tilgjengelig fra: https://folk.ntnu.no/skoge/diplom/prosjekt19/more-info-on-projects/RAS/7127-2017%20-%20RAS%20guide_NO_low.pdf (lest 02.11.2023).
- Folkehelseinstituttet. (u.å.). *Vannforsynings ABC Kapittel D –Vannbehandling* Tilgjengelig fra: <https://dokumen.tips/documents/vannforsynings-abc-fhino-folkehelseinstitutt-1-vannforsynings-abc-kapittel.html?page=1> (lest 18.10.2023).
- Gillani, S. A., Abbasi, R., Martinez, P. & Ahmad, R. (2023). Comparison of Energy-use Efficiency for Lettuce Plantation under Nutrient Film Technique and Deep-Water Culture Hydroponic Systems. *Procedia Computer Science*, 217: 11-19. doi: 10.1016/j.procs.2022.12.197.
- Giskeødegård, G. F. & Lydersen, S. (2022). Measurements below the detection limit. *Tidsskrift for den norske legeforening*, 142 (13). doi: 10.4045/tidsskr.22.0439.
- Gnecco, I., Palla, A., Lanza, L. G. & La Barbera, P. (2013). The Role of Green Roofs as a Source/sink of Pollutants in Storm Water Outflows. *Water resources management*, 27 (14): 4715-4730. doi: 10.1007/s11269-013-0414-0.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. & Burnell, G. M. (2019). *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the*

- Future*. 1 utg. Cham: Springer International Publishing AG. doi: 10.1007/978-3-030-15943-6.
- Grande, M. (1967). Kopper og sink- gift for fisken. *Vann*, 67 (2): 46-52.
- Gregg, J. S., Jürgens, J., Sandvold, H. N. & Olsen, D. S. (2019). The transition to aquaponics in support of a circular bioeconomy: policy recommendations to overcome geographical and scale barriers. I: *International Sustainability Transitions Conference 2019*. Ottawa, Canada.
- Gwenzi, W., Dunjana, N., Pisa, C., Tauro, T. & Nyamadzawo, G. (2015). Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: Review and perspectives. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6: 107-118. doi: 10.1016/j.swaqe.2015.01.006.
- Hachoumi, I., Pucher, B., De Vito-Francesco, E., Prenner, F., Ertl, T., Langergraber, G., Fürhacker, M. & Allabashi, R. (2021). Impact of Green Roofs and Vertical Greenery Systems on Surface Runoff Quality. *Water (Basel)*, 13 (19): 2609. doi: 10.3390/w13192609.
- Hanslin, H. M. & Johannessen, B. G. (2018). *Grønne tak som LOD- og miljøtiltak*. NIBIO Rapport 4/172/2018. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1153/m1153.pdf> (lest 02.12.2023).
- Havforskningsinstituttet. (2021). *Tema: Landbaserte oppdrettsanlegg/lukkede anlegg* Tilgjengelig fra: <https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/landbaserte-oppdrettsanlegg-lukkede-anlegg> (lest 04.11.2023).
- Hess-Erga, O.-K., Gjesteland, I., Wolff, S. A. & Vikingstad, E. (2013). *Utnyttelse av oppløst og partikulært avfall fra smoltproduksjon i et resirkulasjonssystem (AQP Vest)*. Rapport 6581-2013: Norsk institutt for vannforskning. Tilgjengelig fra: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/216468> (lest 01.02.2004).
- Hess-Erga, O.-K. (2022). *Internkontrollsystem Akvaponi Natur VGS*. Upublisert manuskript.
- Hjeltnes, B., Bæverfjord, G., Erikson, U., Mortensen, S., Rosten, T. & Østergård, P. (2012). *Risk assessment of recirculation systems in salmonid hatcheries*. Report 09-808. Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM). Tilgjengelig fra: <https://vkm.no/download/18.3a33d0ea16122420c393dc33/1516971511354/Risk%20Assessment%20of%20Recirculation%20Systems%20in%20Salmonid%20Hatcheries.pdf> (lest 13.09.2023).
- Joly, A., Junge, R. & Bardocz, T. (2015). Aquaponics business in Europe: some legal obstacles and solutions. *Ecocycles*, 1 (2): 3-5. doi: 10.19040/ecocycles.v1i2.30.
- Joseph, K. B., Richard, W. S. & Daniel, E. T. (1993). *An introduction to water chemistry in freshwater aquaculture*. Fact sheet. Northeastern regional aquaculture center: University of Massachusetts. Tilgjengelig fra: <https://www.ncrac.org/files/inline-files/NRAC0170.pdf> (lest 24.10.2023).
- Joyce, A., Goddek, S., Kotzen, B. & Wuertz, S. (2019). Aquaponics: closing the cycle on limited water, land and nutrient resources. I: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. & Burnell, G. M. (red.) b. 19 *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*, s. 19-34. Cham: Springer International Publishing AG.
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T. & Jijakli, M. (2017). Strategic Points in Aquaponics. *Water (Basel)*, 9 (3): 182. doi: 10.3390/w9030182.
- Klima- og miljødepartementet. (2023). *Meld.St.26 (2022-2023). Klima i endring – sammen for et klimarobust samfunn*: Klima- og miljødepartementet. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/1008d2a2e92c4384890817fae9fca1d4/no/pdfs/stm202220230026000dddpdfs.pdf> (lest 10.02.2024).

- Langland, M., Cronin, T. & Phillips, S. (2003). Executive summary. I: Langland, M. & Cronin, T. (red.) *A summary report of sediment processes in Chesapeake bay and watershed*, s. 1-20. New Cumberland, Pennsylvania.
- Larsen, G. M. (2023, 23. Mai). Flere strammer inn. *Dagbladet*. Tilgjengelig fra: <https://dinside.dagbladet.no/fritid/flere-strammer-inn/79349670> (lest 10.02.2024).
- Lennard, W. & Goddek, S. (2019). Aquaponics: the basics. I: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. & Burnell, G. M. (red.) b. 113 *Aquaponics food production systems*, s. 113-143. Cham: Springer.
- Levy, F. E. S. (u.å.). *Hormonhermere* Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/hormonhermere> (lest 02.12.2023).
- Lindholm, O. & Haraldsen, S. (2013). Miljøgifter i overvann fra tette flater, renseanlegg og overløp – Case Indre Oslofjord. *Vann*, 2013 (02): 223-229.
- Lovdata. (2000). *Forskrift om planter og tiltak mot planteskadegjørere*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2000-12-01-1333/KAPITTEL_1#KAPITTEL_1 (lest 07.02.2024).
- Lovdata. (2004). *Forskrift om internkontroll for å oppfylle akvakulturlovgivningen (IK-Akvakultur)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-03-19-537?q=forskrift%20om%20internkontroll%20for%20%C3%A5> (lest 07.02.2024).
- Lovdata. (2005). *næringsmiddelhygieneforskriften- Konsolidert forordning (EF) nr. 2073/2005*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-12-22-1623/KAPITTEL_10-4#KAPITTEL_10-4 (lest 07.02.2024).
- Lovdata. (2006). *Forskrift om rammer for vannforvaltningen*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446/KAPITTEL_13#KAPITTEL_13 (lest 08.02.2024).
- Lovdata. (2008). *Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822> (lest 07.02.2024).
- Lovdata Europalov. (u.å.). *Minimumskrav til gjenbruk av vann*. Tilgjengelig fra: <https://europalov.no/rettsakt/minimumskrav-til-gjenbruk-av-vann/id-25790> (lest 08.11.2023).
- Love, D. C., Uhl, M. S. & Genello, L. (2015). Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. *Aquacultural engineering*, 68: 19-27. doi: 10.1016/j.aquaeng.2015.07.003.
- Lye, D. J. (2009). Rooftop runoff as a source of contamination: A review. *Science of The Total Environment*, 407 (21): 5429-5434. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.07.011.
- Løvås, G. G. (2018). *Statistikk for universiteter og høyskoler*. 4 utg. Oslo: Universitetsforlaget.
- Ma, J. F. & Yamaji, N. (2008). Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and molecular life sciences*, 65 (19): 3049-3057. doi: 10.1007/s00018-008-7580-x.
- Maathuis, F. J. M. (2014). Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany*, 65 (3): 849-858. doi: 10.1093/jxb/ert326.
- Marín, C., El Bachawati, M. & Pérez, G. (2023a). The impact of green roofs on urban runoff quality: A review. *Urban forestry & urban greening*, 90: 128-138. doi: 10.1016/j.ufug.2023.128138.
- Marín, C., El Bachawati, M. & Pérez, G. (2023b). The impact of green roofs on urban runoff quality: A review. *Urban forestry & urban greening*, 90: 128138. doi: 10.1016/j.ufug.2023.128138.
- Mattilsynet. (2013). *Bestilling av risikovurdering fra Vitenskapskomitéen for mattrygghet (VKM)- oppdatert etter prosjektgruppemøte 31.10.2013*. Tilgjengelig fra:

- <https://vkm.no/download/18.2994e95b15cc54507161e75e/1498221198050/33453b1937.pdf> (lest 01.09.2023).
- Mattilsynet. (2023). *Lokalmat – frukt, bær og grønnsaker*. Tilgjengelig fra: <https://www.mattilsynet.no/mat-og-drikke/matproduksjon/lokalmat/lokalmat-frukt-baer-og-gronsaker#kap-3-dyrking-av-br-salat-urter-og-mikrogrnt> (lest 07.02.2024).
- Matuschke, I. & Kohler, S. (2014). Urbanization and food security. I: Lars Jeschonne, M. A., Janine Kandel, Wolf-Christian Ramm, Barbara Wiegard (red.) *World Risk Report*, s. 30-38. Berlin: Bündnis Entwicklung Hilft [Alliance Development Works] and United Nations University – Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS).
- Meera, V. & Mansoor Ahammed, M. (2018). Factors Affecting the Quality of Roof-Harvested Rainwater. I: Sarma, A. K., Singh, V. P., Bhattacharjya, R. K. & Kartha, S. A. (red.) *Water Science and Technology Library*, b. 84 *Urban Ecology, Water Quality and Climate Change* s. 195-202. Switzerland: Switzerland: Springer International Publishing AG.
- Meland, S., Barkved, L. J., Gagne, A. S., Seifert-Dähnn, I., Brandt, U., Enge, C., Johnsen, G. S., Johannesen, H.-P. & Kronvall, K. W. (2021). *Demonstrasjons- og testsenter for karakterisering og rensing av forurenset overvann - mulighetsstudie*. NIVA Rapport 7610-2021. Tilgjengelig fra: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/2753548/7610-2021%2bhigh.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (lest 23.11.2023).
- Meland, S. (2024). *Kobbernivåer i springvannet* (Kommentar ved innspill til masteroppgaven 22.02.2024).
- Miljødirektoratet. (2020). *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – revidert 30.10.2020*. Veileder M-608. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M608/M608.pdf> (lest 10.10.2023).
- Mourad, K. A. & Berndtsson, R. (2011). Potential water saving from rainwater harvesting in Syria. *Vatten*, 67 (2): 113.
- Mullins, C., Nerrie, B. & Sink, T. D. (2016). *Principles of small-scale aquaponics*. Faktaark. SRAC-5007: Oklahoma State University. Tilgjengelig fra: https://shareok.org/bitstream/handle/11244/319798/oksd_srac_5007_2016-07.pdf?sequence=1 (lest 25.10.2023).
- Nærings- og fiskeridepartementet. (2021). *Et hav av muligheter -regjeringens havbruksstrategi*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/e430ad7a314e4039a90829fcd84c012a/no/pdfs/et-hav-av-muligheter.pdf> (lest 15.01.2024).
- Natural Water Retention Measures. (u.å.). *Green Roofs*. Tilgjengelig fra: <http://nwrn.eu/measure/green-roofs> (lest 06.12.2023).
- Norsk klimaservicesenter. (u.å.). *Klima i Norge 2100*. Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100> (lest 10.02.2024).
- Omer, N. H. (2019). Water quality parameters. I: Summers, J. K. (red.) b. 18 *Water quality-science, assessments and policy*, s. 1-34. London: IntechOpen.
- Oslo Kommune. (2022). *Strategi for grønne tak og fasader. 2030 grønne tak og fasader i 2030*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/13452654-1654694941/Tjenester%20og%20tilbud/Plan%2C%20bygg%20og%20eiendom/Byggesaksveiledere%2C%20normer%20og%20skjemaer/Strategi%20for%20gr%C3%B8nne%20tak%20og%20fasader.pdf> (lest 27.02.2024).
- Oslo Kommune. (u.å.). *Drikkevannskvalitet*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop/drikkevannskvalitet/#toc-3> (lest 12.11.2023).

- Rajan, D. S. (2015). An Assessment of the Biological Oxygen Demand of Thekkumbhagam creek of Ashtamudi estuary. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2 (6): 395-397.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P. & Losordo, T. M. (2006). *Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture*. SRAC Publication no. 454: Oklahoma Cooperative Extension Service. Tilgjengelig fra: https://shareok.org/bitstream/handle/11244/319795/oksd_srac_454_2016-07.pdf?sequence=1 (lest 15.11.2023).
- Regjeringen.no. (2021). *Regelverk for rensing av avløpsvann til vanning av landbruksprodukter*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2019/apr/regelverk-for-rensing-av-avlopsvann-til-vanning-av-landbruksprodukter/id2857784/> (lest 08.11.2023).
- Reinhardt, T., Hoevenaars, K. & Joyce, A. (2019). Regulatory frameworks for aquaponics in the European Union. I: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. & Burnell, G. M. (red.) *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*, s. 501-522. Cham: Springer International Publishing AG.
- Reisjå, M. & Brock, T. (2023, 8. juni). Vannrestriksjoner innført i flere kommuner i Sør-Norge. *NRK*. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/norge/vannrestriksjoner-innført-i-flere-kommuner-i-sør-norge-1.16436835> (lest 10.02.2024).
- Ribeiro, A. L. (2023). *Spørsmål om akvaponiet* (e-post fra Anne Luise Ribeiro 28.09.2023).
- Rusten, B. (1987). Ammoniakkfjerning i resirkulasjonsanlegg for fiskeoppdrett. *Vann*, 87 (1): 78-88.
- Safe Drinking Water Foundation. (u.å.). *TDS and pH fact sheet*. Tilgjengelig fra: <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/tds-and-ph> (lest 27.02.2024).
- Scandinavian Green Roof Institute. (u.å.). *Vad är gröna tak?* Tilgjengelig fra: <https://greenroof.se/om-grona-tak/> (lest 31.10.2023).
- Sigler, A. W. & Bauder, J. (u.å.). *TDS Fact Sheet*. Tilgjengelig fra: https://web.archive.org/web/20150124053857/http://waterquality.montana.edu/docs/homeowners/tds_fact_sheet.pdf (lest 27.02.2024).
- Skaland, R. G., Colleuille, H., Andersen, A. S. H., Mamen, J., Grinde, L., Tajet, H. T. T., Lundstad, E., Sidselrud, L. F., Tunheim, K., Hanssen-Bauer, I., et al. (2019). *Tørkesommeren 2018*. METinfo. Tilgjengelig fra: https://www.met.no/sokeresultat/_attachment/inline/79b0117d-39b0-4017-bc70-be126e46a733:98ec5c085e3d8ddc04f158cda767c676b6fbc142/T%C3%B8rkesommeren%202018.pdf (lest 10.02.2024).
- Skovlund, E. (2017). Når bør man velge en ikke-parametrisk metode? *Tidsskrift for den norske legeförening*. doi: 10.4045/tidsskr.17.0219.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming*. FAO Fisheries and aquaculture technical paper. Tilgjengelig fra: <https://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf> (lest 12.10.2023).
- Teien, H.-C., Kroglund, F., Salbu, B. & Rosseland, B. O. (2006). Gill reactivity of aluminium-species following liming. *Science of The Total Environment*, 358 (1): 206-220. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.04.023.
- Teien, H.-C., Garmo, Ø. A., Åtland, Å. & Salbu, B. (2008). Transformation of Iron Species in Mixing Zones and Accumulation on Fish Gills. *Environ. Sci. Technol.*, 42 (5): 1780-1786. doi: 10.1021/es071965m.
- Tetra. (u.å.). *Tetra AquaSafe* Tilgjengelig fra: <https://www.tetra.net/en-eu/products/tetra-aquasafe> (lest 06.11.2023).

- Þórarinsdóttir, R. I., Kledal, P. R., Skar, S. L. G., Sustaeta, F., Ragnarsdóttir, K. V., Mankasingh, U., Pantanella, E., Ven, R. v. d. & Shultz, C. (2015). *Aquaponics guidelines*. Lifelong Learning Programme. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/282732809_Aquaponics_Guidelines.
- Tilman, R., Kyra, H. & Alyssa, J. (2019). Regulatory Frameworks for Aquaponics in the European Union. I: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. & Burnell, G. M. (red.) *Aquaponics Food Production Systems*, s. 501-522. Cham: Springer International Publishing.
- Timmons, M. B. & Ebeling, J. M. (2007). *Recirculating Aquaculture*. 2 utg. NRAC Publication. Ithaca, N.Y: Cayuga Aqua Ventures.
- Tsanov, E., Valchev, D., Ribarova, I. & Dimova, G. (2023). Discussion on the Need for Harvested Rainwater Quality Standards Tailored to the Reuse Purpose. *Processes*, 11 (3): 665. doi: 10.3390/pr11030665.
- UiO. (2011a). *Makronæringsstoff* Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/m/makronaering.html> (lest 01.09.2023).
- UiO. (2011b). *Mikronæringsstoffer* Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/m/mikronaering.html> (lest 01.09.2023).
- UN. (2018). *2018 Revision of World Urbanization Prospects*. Tilgjengelig fra: <https://www.un.org/en/desa/2018-revision-world-urbanization-prospects> (lest 01.29.2024).
- Ungfors, A., Björnsson, T., Lindegarth, S., Eriksson, S., Sundell, K. S. & Wik, T. (2015). *Marin fiskodling på den svenska västkusten: Tekniska lösningar*. Rapport 4. Vattenbrukscentrum Väst, Göteborgs Universitet. Tilgjengelig fra: https://www.gu.se/sites/default/files/2020-05/Marin%20fiskodling%20p%C3%A5%20den%20svenska%20v%C3%A4stkusten_tekniska%20%C3%B6sningar.pdf.
- Vannportalen. (u.å.). *Vanndirektivet. Om vanndirektivet - EUs rammedirektiv for vann*. Tilgjengelig fra: <https://www.vannportalen.no/regelverk-og-foringer/vanndirektivet/> (lest 21.11.2023).
- Veg Tech. (2021). *Veg Tech Hydropack Sedum-ört-gräs*. Produktdatablad: Veg Tech AB. Tilgjengelig fra: https://www.blomstertak.no/wp-content/uploads/2021/11/VegTech_Produktdatablad_Hydropack_2021.pdf (lest 01.09.2023).
- Water Europe. (2020). *Water Europe Contributions to the European Green Deal and Horizon Europe: Water Europe Vision Implementation 2020-2027*. Tilgjengelig fra: https://watereurope.eu/wp-content/uploads/Implementation-publication_online.pdf (lest 02.12.2023).
- WHO. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater : Vol. III : Wastewater and excreta use in aquaculture*. Genève: WHO. Tilgjengelig fra: <https://www.who.int/publications/i/item/9241546840> (lest 20.01.2024).
- Wise Freshwater. (u.å.). *Water reuse*. Tilgjengelig fra: <https://water.europa.eu/freshwater/europe-freshwater/water-reuse> (lest 20.01.2024).
- Yavuzcan Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D. & Parisi, G. (2017). Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces—A Review. *Water (Basel)*, 9 (1): 13. doi: 10.3390/w9010013.
- Yep, B. & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges – A review. *Journal of cleaner production*, 228: 1586-1599. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.290.

- Zhang, C. & Zhang, S. (1996). A robust-symmetric mean: A new way of mean calculation for environmental data. *GeoJournal*, 40 (1/2): 209-212.
- Åstebøl, S. O., Dalen, H. & Henninge, L. B. (2021). *Forurensninger i overvann fra urbane flater: vannmiljøsmål og rensetiltak*, b. B27/2021. Hamar: Norsk Vann. Tilgjengelig fra: <https://va-kompetanse.no/butikk/b-27-forurensninger-i-overvann-fra-urbane-flater-vannmiljomal-og-rensetiltak-kun-digital/> (lest 20.01.2024).
- Özyavuz, M., Karakaya, B. & Ertin, D. G. (2015). The effects of green roofs on urban ecosystems. I: *GreenAge Symposium. Mimar Sinan Fine Arts, University Faculty of Architecture*, s. 15-17. Istanbul.

Vedlegg

Vedlegg 1- Informasjon om engkassetter

Informasjon om engkassetter til Grønt tak- eng (Veg Tech, 2021)

Veg Tech Hydropack® Sedum-ört-gräs

Produktdatablad



Med Hydropack erhåls en etablerad vegetationsyta anpassad för nordiskt klimat omedelbart efter utläggning. Produkten består av en allt-i-ett modul med en inbyggd vattenreservoar som levereras komplett med substrat och vegetation. Systemet som har en hög vattenhållande förmåga monteras med ett enkelt klicksystem.



Biokol är ett poröst, kolhaltigt material som produceras genom pyrolys av växtbiomassa. Inblandningen av biokol i växtbädden medför flera jordförbättrande egenskaper som är extra viktiga för grönska i urbana miljöer. Biokol förbättrar substratets vatten- och näringshållande förmåga och utgör dessutom en potentiell kolsänka.

Användningsområde

Produkten används som vegetation på tak med lutning upp till max 10° och monteras ovanpå ett rotskydd. Vegetationen tål inte slitage och Hydropack ska inte placeras där frekvent gångtrafik förekommer. Vegetationen ska inte beträddas vid frost eller minusgrader.

Beskrivning

Uppbyggnad

Produkten består av en förödlad modul med ett etablerat växttäckande innehållande torktåliga perenna örter. Dränering och vattenreservoar som fyllts med lecakulor är inbyggd i backen och skyddas från igensättning av en fiberduk. Växtbädden utgörs av en lättviktsjord (substrat) som är optimerat för de förhållanden som råder på tak.

Artsammansättning

Hydropack är sådd med nedan listade arter.

En viss variation på artsammansättningen i enskilda moduler förväntas. Artsammansättningen kommer att variera även över tid. Vegetationens höjd, färg och utseende påverkas också av läge, väderlek och årstid.

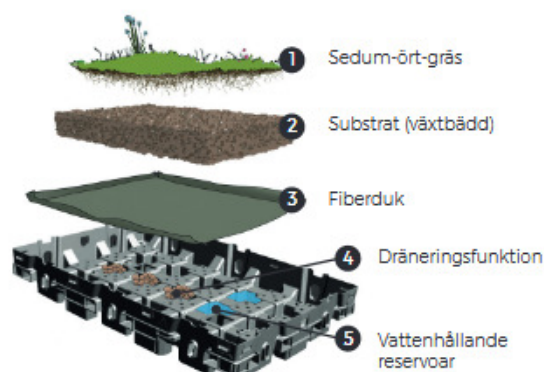
Följande artspecifikation baseras på den senaste forskningen vad gäller biologisk systematik enligt vilken fetknoppar tillhör släktet Sedum och fetblad tillhör släktet Phedimus.

1. *Sedum acre* - Gul fetknopp
2. *Sedum album* - Vit fetknopp
3. *Sedum sexangulare* - Kantig fetknopp
4. *Phedimus ellacombianus* - Japanskt fetblad
5. *Phedimus floriferus*
6. *Phedimus hybridus 'C'zars gold'* - Sibiriskt fetblad
7. *Phedimus kamtschaticus* - Kamtjatka fetblad
8. *Phedimus spurius 'coccineum'* - Kaukasiskt fetblad
9. *Phedimus spurius 'summer glory'* - Kaukasiskt fetblad
10. *Achillea millefolium* - Rölleka
11. *Allium schoenoprasum* - Cräslök
12. *Dianthus deltoides* - Backnejlika
13. *Hieracium aurantianum* - Röd fibbla
14. *Hieracium pilosella* - Grå fibbla
15. *Origanum vulgare* - Kungsmynta
16. *Prunella vulgaris* - Brunört
17. *Thymus serpyllum* - Backtimjan

Gräs etablerar sig ofta spontant.

Teknisk data

Artikelnummer	2-12417
Ingående material	Back av 100% återvunnen HDPE, vattengenomsläpplig fiberduk av polyester, substrat innehållande biokol, sedum-ört-gräs vegetation och leca-kulor 8-14 mm av bränd lera.
Modulmått	600 x 400 mm
Bygghöjd	90 mm (back) + växter
Substratdjup	6 cm
Vattenreservoar i modulens botten	8 l/m ²
Maximal vattenhållande förmåga	Ca 45 l/m ²
Vattenmättad vikt	Ca 95 kg/m ²
Förpackning	Levereras på pall, max 36 st (8,64 m ²)



Miljöinformation

Modulerna kan demonteras och återanvändas.

Om de inte ska återanvändas kan backen separeras från jord och växtdelar.

Produkten är inte märkningspliktig.

Produkten är bedömd av Byggvarubedömningen och SundaHus.

BYGGVARUBEDÖMNINGEN  **SundaHus**

Montering och skötsel

Produkten ska monteras omgående efter mottagen leverans. Montage bör företrädesvis genomföras under perioden april till oktober. I övrigt hänvisas till gällande monterings- och skötselanvisning.

Vedlegg 2- Informasjon om sedumkassetter

Informasjon om sedumkassetter til Grønt tak- sedum (Blomstertak AS, 2021).

Produktdatablad Sedumkassett



Oktober 2021

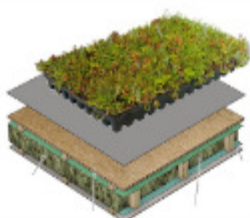
Produktnummer: 239

Produkt / bilde

Sedumkassetten brukes både på tak og mark.



Oppbygging



Teknisk data

Prevegetert vegetasjonsmatte dyrket på friland i Østfold,

basert på 100% resirkulert materiale

Materiale: Sedum dyrket i kassett

Høydekassett: 60 mm

Plantehøyde: 25-150 mm

Størrelse kassett: 0,24 m²

Dimensjoner: 40cm x 60 cm

Normalvekt: 10kg

Antall m²/pall: 25

Pallestørrelse: 120 cm x 120 cm

Opphavsland: Norge

Brannklasse: BROOF (t2)

Merkenavn: Sedum kassett Oslomix

Arts/sortliste:

Sedum acre

Sedum album

Sedum sexangulare

Sedum ellacombianum

Sedum reflexum

Sedum florifeum

Annet

Sedumkassetten legges direkte ut på takmembranen, opp mot hverandre, og gir et ferdigtablert grønt tak i en operasjon. Sedumkassetten kan brukes på tak med helling fra 0-15° og er ideelle på tak som kun tåler en begrenset vekt.

Brettene er produsert av resirkulert PET-plast som er svært motstandsdyktig mot varme- og kuldepåvirkning. Sedumkassetten inneholder alle de komponentene som et omfattende grønt tak behøver - samlet i ett produkt. Drenering og vannreservoar, et spesielt lettvektsubstrat og et ferdig dekke med sedumplanter. Den ekstensive takvegetasjonen er ikke egnet til opphold og aktiv bruk, men sedumplantene tåler ferdsel i forbindelse med vedlikeholdsarbeid når det ikke er frost.

Montering, drift og vedlikehold

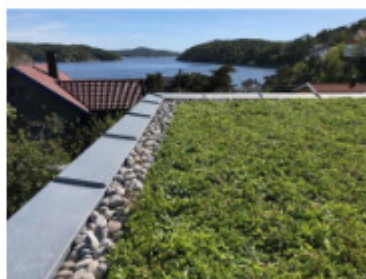
-Sedum er ferskvare og bør legges innen 24 timer etter henting/levering

-Sedum bør gjødsles 2-3 ganger per sesong med langsomtvirkende gjødsel (dose: 3-4kg/100m²)

-Sedummattene bør vannes dagen etter legging, for god etablering.

-Sedum blomstrer i forskjellige farger gjennom sesongen

-Sedum kassetten må legges uten overlapp. Alternativ B, ikke A på bildet under.



Blomstertak AS
Nyveien 62
1433 Ås
www.blomstertak.no
post@blomstertak.no
Org.nr 999 329 063

Vedlegg 3- Deskriptiv statistikk

Tabell V1: *Deskriptiv statistikk for analyseresultater*

		Prøvested																		
GRUPPE	ANALYSE	ENHET	Fisketank										Drivhustak							
			N	N < LOQ	Min	Maks	Gjennomsnitt	Std avvik	Median	Q1	Q3	N	N < LOQ	Min	Maks	Gjennomsnitt	Std avvik	Median	Q1	Q3
Makronæringsstoffer	Kalium	mg/l	7	1	0,1	2,5	1,05	1,05	0,76	0,14	2,4	7	4	0,10	0,56	0,20	0,17	0,1	0,1	0,24
	Kalsium	mg/l	7	0	19	24	21,57	1,62	21	21	23	7	0	0,20	4,6	1,01	1,61	0,37	0,24	1,00
	Magnesium	mg/l	7	0	0,66	1,4	0,95	0,20	1	0,79	1,1	7	5	0,10	0,27	0,13	0,06	0,1	0,1	0,11
	Natrium	mg/l	7	0	8,1	26	16,51	7,54	18	9	23	7	2	0,10	0,72	0,26	0,22	0,19	0,1	0,32
	Silisium	mg/l	7	0	1,9	2,3	2,01	0,15	2	1,9	2,1	7	6	0,10	0,4	0,14	0,11	0,1	0,1	0,1
	Sulfat	mg/l	7	0	3,11	13,7	11,23	3,62	12,4	11,9	12,8	7	1	0,10	0,81	0,31	0,24	0,26	0,13	0,36
	Fosfat	µg/l	7	0	190	390	291,43	66,94	310	230	330	7	4	2	25	5,84	8,54	2	2	5,40
	Total fosfor	µg/l	7	0	240	430	355,71	79,76	400	280	430	7	0	10	44	17,43	11,83	14	12	15
	Total nitrogen	µg/l	6	0	4400	20000	14000	5739	14000	7250	17000	7	0	50	600	252,71	204,08	240	79	410
	Mikronæringsstoffer	Bor	µg/l	7	0	3,7	7,6	5,16	1,37	4,7	4,1	6,4	7	3	1	3,5	1,81	1,11	1,3	1
Jern		µg/l	7	0	1,2	6,6	4,19	2,55	5,3	1,6	6,5	7	0	5,2	14	10,11	3,63	10	6,9	14
Kobber		µg/l	7	0	100	200	160	35,59	170	130	190	7	0	0,59	8,2	2,21	2,76	1,1	0,64	2,9
Mangan		µg/l	7	0	0,37	72	12,49	26,38	2,6	0,45	8,1	7	0	2,3	6,8	4,00	1,53	3,9	2,7	4,7
Molybden		µg/l	7	0	0,33	46	14,89	19,90	0,9	0,41	39	7	1	0,02	1,1	0,46	0,43	0,36	0,043	0,81
Nikkel		µg/l	7	0	0,53	1,2	0,83	0,24	0,84	0,61	1	7	2	0,05	0,25	0,10	0,073	0,06	0,05	0,12
Sink		µg/l	7	0	42	69	55,43	10,91	54	44	69	7	0	4,5	22	11,96	6,27	10	6	16
Klorid		mg/l	7	0	12	19	16	2,65	17	14	18	7	2	0,10	2,2	0,52	0,75	0,27	0,1	0,51
Aluminium		µg/l	7	0	6,1	37	15,53	10,40	13	9,6	20	7	0	7,8	36	18,69	9,52	17	11	25
Arsen		µg/l	7	0	0,24	0,88	0,62	0,26	0,69	0,33	0,86	7	1	0,02	0,11	0,044	0,033	0,028	0,021	0,063
Metaller	Bly	µg/l	7	0	0,81	11	6,53	3,68	6,8	2,5	9,6	7	0	0,018	0,066	0,045	0,017	0,05	0,029	0,058
	Kadmium	µg/l	7	0	0,028	0,054	0,04	0,01	0,04	0,032	0,053	7	1	0,004	0,015	0,008	0,0038	0,008	0,005	0,011
	Krom	µg/l	7	0	0,054	0,22	0,15	0,06	0,16	0,1	0,21	7	6	0,05	0,073	0,053	0,0087	0,05	0,05	0,05
	E. coli	MPN/100 mL	0	0								7	3	1	4	2,00	1,29	1	1	3
	Legionella	cfu/1000 mL	0	0								5	5	1	1	1,00	0	1	1	1
	Acenafte	µg/l	6	6	0,005	0,005	0,005	0,00	0,005	0,005	0,005	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005
	Acenafte	µg/l	6	6	0,005	0,005	0,005	0,00	0,005	0,005	0,005	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005
	Antracen	µg/l	6	6	0,005	0,005	0,005	0,00	0,005	0,005	0,005	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005
	Benzol[a]antracen	µg/l	6	6	0,001	0,001	0,001	0,00	0,001	0,001	0,001	6	6	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001
	Benzol[a]pyren	µg/l	6	5	0,00017	0,0011	0,00033	0,00038	0,00017	0,00017	0,0004	6	3	0,00017	0,0014	0,0005	0,0005	0,00019	0,00017	0,0009
Andre vannkvalitetsparametere	Benzol[b]fluoranten	µg/l	6	5	0,001	0,003	0,0013	0,00082	0,001	0,001	0,0015	6	4	0,001	0,003	0,001	0,0008	0,001	0,001	0,0015
	Benzol[g,h,i]perylene	µg/l	6	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	6	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005
	Benzol[k]fluoranten	µg/l	6	5	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	6	6	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001
	Dibenzol[a,h]antracen	µg/l	6	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	6	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005
	Fenantren	µg/l	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	6	2	0,005	0,008	0,006	0,0013	0,006	0,005	0,00725
	Fluoranten	µg/l	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005
	Fluoren	µg/l	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005
	Indeno[1,2,3-cd]pyren	µg/l	6	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	6	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005
	Krysen	µg/l	6	6	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	6	6	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001
	Naftalen	µg/l	6	0	0,01	0,02	0,013	0,0052	0,01	0,01	0,02	6	6	0,01	0,01	0,010	0	0,01	0,01	0,01
Andre vannkvalitetsparametere	Pyren	µg/l	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005
	Alkalitet	mmol/l	7	0	0,31	0,99	0,53	0,24	0,43	0,35	0,66	7	4	0,03	0,46	0,117	0,17	0,03	0,03	0,21
	BOF 5 d	mg/l	7	6	3	3	3	0	3	3	3	7	7	3	3	3,00	0	3	3	3
	TOC	mg/l	7	0	5,8	9,1	7,53	1,23	8,1	6,3	8,4	7	0	0,53	4,9	1,87	1,52	1,5	0,66	2,7
	Total tørrstoff	g/L	7	0	0,1	0,27	0,20	0,061	0,2	0,15	0,26	7	2	0,02	0,08	0,05	0,03	0,05	0,02	0,08
pH målt ved 23 ± 2 °C		7	0	7,1	7,6			7,3	7,1	7,5	7	0	5,5	6,8			6	5,6	6,5	

GRUPPE	ANALYSE	ENHET	Grønt tak- eng.										Grønt tak- sedum										Grønt tak- ref									
			N < LOQ	Min	Max	Gjennomsnitt	Std avvik	Median	Q1	Q3	N	N < LOQ	Min	Max	Gjennomsnitt	Std avvik	Median	Q1	Q3	N	N < LOQ	Min	Max	Gjennomsnitt	Std avvik	Median	Q1	Q3				
Makro-næringsstoffer	Kalium	mg/l	7	0	13	65	31,29	21,72	19	14	57	6	0	4,1	47	12,1	17,14	4,95	4,1	17,38	3	4	0,1	0,34	0,15	0,091	0,1	0,1	0,2			
	Kalsium	mg/l	7	0	6,9	22	1,96	5,97	8,8	7,1	18	6	0	3,1	47	36,5	7,79	3,2	3,1	46,25	7	0	0,35	2,8	0,97	0,90	0,52	0,38	1,5			
	Magnesium	mg/l	7	0	1,7	8,1	3,47	2,34	2,2	1,7	4,5	6	0	0	5,7	2,92	1,45	2,25	2	3,9	2	5	0,1	0,2	0,12	0,038	0,1	0,1	0,13			
	Natrium	mg/l	7	0	1,6	7,3	3,57	2,15	2,6	1,8	5,4	6	0	1,4	7,1	2,83	2,20	1,95	1,4	4,18	7	0	0,17	0,85	0,39	0,24	0,33	0,21	0,55			
	Silisium	mg/l	7	0	1,1	12	7,33	3,57	7	6,3	11	6	0	0,86	13	7,93	3,95	3,5	6,07	10,23	2	5	0,1	0,34	0,14	0,090	0,1	0,1	0,17			
	Sulfat	mg/l	6	0	4,17	47,3	15,41	17,02	7,26	4,25	28,48	5	0	1,84	8,7	3,72	2,85	2,58	1,95	6,07	7	0	0,26	1,23	0,48	0,34	0,35	0,28	0,52			
	Fosfat	µg/l	6	0	850	2400	1575	609,71	1550	1037,5	2100	4	1	2	340	97,28	145,03	8,6	3,9	235	2	5	2	11	3,46	3,36	2	2	3,2			
	Total fosfor	µg/l	6	0	1100	2800	1683	636,92	1550	1175	2125	5	0	34	510	165,2	201,71	64	36	345	7	0	8,4	19	11,99	3,40	12	9,5	12			
	Total nitrogen	µg/l	6	0	930	3900	1955	1361,82	1200	982,5	3600	5	0	670	1700	1092	511,54	750	705	607	5	0	82	390	171,71	103,70	140	120	210			
	Bor	µg/l	7	0	51	100	76,86	19,69	73	56	100	6	0	7,5	74	33,42	24,98	29,5	10,13	55,25	5	2	1	4,3	2,29	1,44	1,7	1	4			
Mikro-næringsstoffer	Jern	µg/l	7	0	160	550	258,57	138,98	200	170	320	6	0	16	160	64,17	63,74	31,5	16	137,5	7	0	3,3	27	10,61	8,71	5,9	3,4	16			
	Kobber	µg/l	7	0	10	45	21,57	12,82	15	11	30	6	0	6,1	60	17,98	20,95	9	6,63	27,75	7	0	0,4	4	1,57	1,40	1	0,66	3,1			
	Mangan	µg/l	7	0	1,1	130	29,63	49,65	3,10	1,2	63	6	0	1,5	33	7,2	12,65	2	1,65	10,5	7	0	0,34	1,4	0,85	0,43	0,81	0,35	1,2			
	Molybden	µg/l	7	0	2,2	13	5,49	3,60	5	2,6	6,2	6	0	0,88	8,5	2,90	2,86	2,05	1,05	4,23	7	0	0,047	9,9	1,59	3,67	0,15	0,077	0,49			
	Nikkel	µg/l	7	0	2,9	8,5	4,49	1,89	4	3	4,8	6	0	0,51	5,8	1,75	2,05	0,89	0,52	2,88	6	1	0,05	0,21	0,11	0,062	0,066	0,18				
	Sink	µg/l	7	0	9,1	100	36,47	35,05	14	9,2	62	6	0	3	130	28,23	50,15	7,4	3,45	46	7	0	4,6	8,1	6,67	1,23	6,8	5,8	7,8			
	Klorid	mg/l	6	0	3,1	47	14,32	16,68	8,1	3,48	23,75	5	0	1,5	5,3	3,12	1,50	3,1	1,75	4,5	7	0	0,42	1,4	0,75	0,35	0,6	0,49	0,97			
	Aluminium	µg/l	7	0	140	460	204,29	115,30	160	140	210	6	0	18	180	51	64,32	20,5	18	81,75	7	0	12	67	28,86	20,14	20	14	43			
	Arsen	µg/l	7	0	0,84	4,6	2,36	1,14	2	2	2,6	6	0	1,1	4,7	2,27	1,33	1,75	1,4	3,28	6	1	0,02	0,068	0,034	0,017	0,029	0,02	0,046			
	Bly	µg/l	7	0	0,13	1,6	0,53	0,56	0,23	0,15	1	6	0	0,061	0,64	0,23	0,22	0,13	0,083	0,41	7	0	0,032	0,14	0,081	0,037	0,085	0,054	0,11			
Metaller	Kadmium	µg/l	6	1	0,004	1,7	0,27	0,63	0,024	0,18	0,1	6	0	0,006	5,2	0,88	2,12	0,0165	0,0083	1,32	2	5	0,004	0,007	0,0044	0,0011	0,004	0,004	0,004			
	Krom	µg/l	7	0	0,44	1,2	0,70	0,29	0,51	0,46	0,88	6	0	0,34	1,2	0,59	0,34	0,42	0,38	0,89	3	4	0,005	0,012	0,068	0,026	0,05	0,005	0,079			
	E. coli	MPN/100 mL	3	3	1	16	5,00	5,90	2,5	1	9,25	1	4	1	2	1,2	0,45	1	1	1,5	0	7	1	1	1	0	1	1	1			
	Legionella	cfu/1000 mL	5	5	1	1	1,00	0	1	1	1	0	4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	5	1	1	0	1	1	1			
	Acenaftein	µg/l	6	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	0	5	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	2	6	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	0,005			
	Acenaftein	µg/l	0	6	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	0	5	0,005	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	0	6	0,005	0,005	0	0,005	0,005	0,005	0,005			
	Antracen	µg/l	0	6	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0	5	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0	6	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001			
	Benzo[a]antracen	µg/l	1	5	0,00017	0,00091	0,0003	0,00030	0,00017	0,00017	0,00036	1	4	0,00017	0,00075	0,00029	0,00026	0,00017	0,00017	0,00046	1	5	0,00017	0,00061	0,00024	0,00018	0,00017	0,00017	0,00028			
	Benzo[a]pyren	µg/l	1	5	0,00017	0,00091	0,0003	0,00030	0,00017	0,00017	0,00036	1	4	0,00017	0,00075	0,00029	0,00026	0,00017	0,00017	0,00046	1	5	0,00017	0,00061	0,00024	0,00018	0,00017	0,00017	0,00028			
	Benzo[b]fluoranten	µg/l	1	5	0,00017	0,00091	0,0003	0,00030	0,00017	0,00017	0,00036	1	4	0,00017	0,00075	0,00029	0,00026	0,00017	0,00017	0,00046	1	5	0,00017	0,00061	0,00024	0,00018	0,00017	0,00017	0,00028			
Benzo[k]fluoranten	µg/l	0	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	5	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	6	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005				
Dibenzo[a,h]antracen	µg/l	0	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	5	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	6	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005				
Fenantren	µg/l	0	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	5	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	6	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005				
Fluoranten	µg/l	0	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	5	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	6	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005				
Fluoren	µg/l	0	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	5	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	6	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005				
Indeno[1,2,3-cd]pyren	µg/l	0	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	5	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	6	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005				
Krysen	µg/l	0	6	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0	5	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0	6	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001				
Naftalen	µg/l	0	6	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0	5	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0	6	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001				
Pyren	µg/l	0	6	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	5	0,0005	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0	6	0,0005	0,0005	0	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005				
Alkalitet	mmol/l	6	0	0,4	0,67	0,53	0,0973	0,52	0,46	0,63	5	0	1,6	2,4	1,86	0,31	1,8	1,65	2,1	2	5	0,03	0,13	0,046	0,037	0,03	0,04					
BOF 5 d	mg/l	5	1	3	13	5,50	3,83	4	3	7,75	1	4	3	4	3,2	0,45	3	3	3,5	0	7	3	3	3	0	3	3					
vanikkvalitetsparametere	mg/l	6	0	36	110	59,50	29,12	48,5	36	86	5	0	21	44	27,4	9,45	25	21,5	34,5	7	0	1	6,7	2,36	2,03	1,3	1,3	3				
Total tørrstoff	g/l	6	0	0,16	0,5	0,24	0,14	0,17	0,16	0,34	5	0	0,2	0,28	0,23	0,033	0,23	0,23	0,2	0,26	5	2	0,02	0,1	0,034	0,030	0,02	0,04				
pH målt ved 23 ± 2°C																																

Vedlegg 4- Rådata prøveresultater

Tabell V2: Rådata fra prøveresultater, prøverunde 1 (28.06.2023), 2 (12.07.2023) og 3 (26.07.2023). I tabellen angitt som R1, R2 og R3

Prøvested	Analyse	Resultat R1	Resultat R2	Resultat R3	Enhet
Fisketank	Alkalitet	0,60	0,99	0,37	mmol/l
Fisketank	Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) 5 d	<3	<3	<3	mg/l
Fisketank	Fosfat	320	310	270	µg/l
Fisketank	Klorid	12	14	14	mg/l
Fisketank	Silisium	1,9	2,1	2,0	mg/l
Fisketank	Arsen	0,24	0,33	0,50	µg/l
Fisketank	Natrium	8,1	9,0	9,5	mg/l
Fisketank	Kalsium	19	21	21	mg/l
Fisketank	Bly	6,8	8,2	9,6	µg/l
Fisketank	Sink	42	51	59	µg/l
Fisketank	Nikkel	0,53	0,61	0,68	µg/l
Fisketank	Bor	3,7	4,1	4,7	µg/l
Fisketank	Aluminium	37	20	13	µg/l
Fisketank	Molybden	39	0,41	17	µg/l
Fisketank	Jern	6,5	5,3	6,4	µg/l
Fisketank	Kadmium	0,032	0,036	0,045	µg/l
Fisketank	Kalium	2,5	2,4	1,3	mg/l
Fisketank	Kobber	100	130	150	µg/l
Fisketank	Krom	0,054	0,10	0,16	µg/l
Fisketank	Magnesium	0,66	0,79	0,83	mg/l
Fisketank	Mangan	72	8,1	3,1	µg/l
Fisketank	pH målt ved 23 ± 2°C	7,5	7,6	7,1	
Fisketank	Sulfat	12,4	11,9	12,4	mg/l
Fisketank	Total organisk karbon (TOC)	8,4	9,1	8,1	mg/l
Fisketank	Total nitrogen	4400	340	8200	µg/l
Fisketank	Total fosfor	400	430	300	µg/l
Fisketank	Total tørrstoff	0,1	0,15	0,20	g/L
Fisketank	Acenaften	.	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Acenaftylen	.	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Benzo[a]pyren	.	<0,00017	<0,00017	µg/l
Fisketank	Benzo[b]fluoranten	.	<0,001	<0,001	µg/l
Fisketank	Benzo[g,h,i]perylene	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Fisketank	Indeno[1,2,3-cd]pyren	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Fisketank	Naftalen	.	0,020	0,010	µg/l
Fisketank	Krysen	.	<0,001	<0,001	µg/l
Fisketank	Antracen	.	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Benzo[a]antracen	.	<0,001	<0,001	µg/l
Fisketank	Benzo[k]fluoranten	.	<0,001	<0,001	µg/l
Fisketank	Dibenzo[a,h]antracen	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Fisketank	Fluoren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Fenantren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Pyren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Fluoranten	.	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Alkalitet	0,21	0,03	<0,03	mmol/l
Drivhustak	Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) 5 d	<3	<3	<3	mg/l

Prøvested	Analyse	Resultat R1	Resultat R2	Resultat R3	Enhet
Drivhustak	E. coli	<1	4	3	MPN/100 mL
Drivhustak	Legionella	.	<1	<1	cfu/1000 mL
Drivhustak	Fosfat	25	5,4	<2	µg/l
Drivhustak	Klorid	2,2	0,51	0,34	mg/l
Drivhustak	Kalium	0,56	0,20	<0,10	mg/l
Drivhustak	Kobber	8,2	2,9	1,3	µg/l
Drivhustak	Krom	0,073	<0,050	<0,050	µg/l
Drivhustak	Mangan	6,8	3,1	4,7	µg/l
Drivhustak	Nikkel	0,25	0,12	<0,050	µg/l
Drivhustak	Sink	22	16	10	µg/l
Drivhustak	Bly	0,058	0,050	0,066	µg/l
Drivhustak	Kalsium	4,6	1,0	0,37	mg/l
Drivhustak	Natrium	0,72	0,22	0,19	mg/l
Drivhustak	Molybden	0,78	0,11	0,81	µg/l
Drivhustak	Silisium	0,40	<0,10	<0,10	mg/l
Drivhustak	Kadmium	0,015	0,0080	0,0080	µg/l
Drivhustak	Jern	13	14	14	µg/l
Drivhustak	Arsen	0,11	0,045	0,021	µg/l
Drivhustak	Aluminium	36	25	20	µg/l
Drivhustak	Bor	3,5	1,3	<1,0	µg/l
Drivhustak	Magnesium	0,27	0,11	<0,10	mg/l
Drivhustak	pH målt ved 23 ± 2°C	6,8	6,4	6,5	
Drivhustak	Fluoranten	.	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Krysen	.	<0,001	<0,001	µg/l
Drivhustak	Antracen	.	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Benzo[a]pyren	.	0,00021	<0,00017	µg/l
Drivhustak	Benzo[b]fluoranten	.	<0,001	<0,001	µg/l
Drivhustak	Benzo[g,h,i]perylene	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Drivhustak	Indeno[1,2,3-cd]pyren	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Drivhustak	Acenaften	.	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Acenaftylene	.	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Naftalen	.	<0,01	<0,01	µg/l
Drivhustak	Pyren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Fenantren	.	0,007	0,005	µg/l
Drivhustak	Fluoren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Dibenzo[a,h]antracen	.	<0,0005	<0,001	µg/l
Drivhustak	Benzo[k]fluoranten	.	<0,001	<0,001	µg/l
Drivhustak	Benzo[a]antracen	.	<0,001	<0,0005	µg/l
Drivhustak	Sulfat	0,81	0,28	0,13	mg/l
Drivhustak	Total organisk karbon (TOC)	4,9	2,7	1,6	mg/l
Drivhustak	Total nitrogen	600	240	80	µg/l
Drivhustak	Total fosfor	44	15	14	µg/l
Drivhustak	Total tørrstoff	0,024	<0,020	0,050	g/L
Grønt tak- ref	Alkalitet	0,13	0,04	<0,03	mmol/l
Grønt tak- ref	Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) 5 d	<3	<3	<3	mg/l
Grønt tak- ref	E. coli	<1	<1	<1	MPN/100 mL
Grønt tak- ref	Legionella	.	<1	<1	cfu/1000 mL
Grønt tak- ref	Fosfat	<2	3,2	11	µg/l
Grønt tak- ref	Klorid	1,4	0,97	0,85	mg/l
Grønt tak- ref	Kobber	3,1	4,0	1,0	µg/l
Grønt tak- ref	Krom	0,12	0,075	0,079	µg/l
Grønt tak- ref	Magnesium	0,20	0,13	<0,10	mg/l

Prøvested	Analyse	Resultat R1	Resultat R2	Resultat R3	Enhet
Grønt tak- ref	Mangan	1,2	0,81	1,4	µg/l
Grønt tak- ref	Nikkel	0,21	0,18	0,077	µg/l
Grønt tak- ref	Sink	7,4	6,8	6,2	µg/l
Grønt tak- ref	Bly	0,11	0,085	0,14	µg/l
Grønt tak- ref	Kalsium	2,8	1,5	0,76	mg/l
Grønt tak- ref	Natrium	0,55	0,36	0,33	mg/l
Grønt tak- ref	Molybden	0,49	0,15	0,37	µg/l
Grønt tak- ref	Silisium	0,34	0,17	<0,10	mg/l
Grønt tak- ref	Kalium	0,34	0,20	<0,10	mg/l
Grønt tak- ref	Kadmium	<0,0040	<0,0040	<0,0040	µg/l
Grønt tak- ref	Jern	5,7	13	27	µg/l
Grønt tak- ref	Arsen	0,068	0,046	0,026	µg/l
Grønt tak- ref	Aluminium	67	43	31	µg/l
Grønt tak- ref	Bor	2,9	1,7	<1,0	µg/l
Grønt tak- ref	pH målt ved 23 ± 2°C	6,8	6,7	6,2	
Grønt tak- ref	Benzo[b]fluoranten	.	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- ref	Benzo[g,h,i]perylene	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- ref	Indeno[1,2,3-cd]pyren	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- ref	Naftalen	.	<0,01	<0,01	µg/l
Grønt tak- ref	Krysen	.	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- ref	Antracen	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Benzo[a]antracen	.	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- ref	Benzo[k]fluoranten	.	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- ref	Dibenzo[a,h]antracen	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- ref	Acenaften	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Acenaftylene	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Benzo[a]pyren	.	<0,00017	<0,00017	µg/l
Grønt tak- ref	Fluoren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Fenantren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Pyren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Fluoranten	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Sulfat	1,23	0,52	0,38	mg/l
Grønt tak- ref	Total organisk karbon (TOC)	6,7	3,0	1,9	mg/l
Grønt tak- ref	Total nitrogen	390	210	120	µg/l
Grønt tak- ref	Total fosfor	12	9,5	8,4	µg/l
Grønt tak- ref	Total tørrstoff	<20	0,040	0,020	g/L
Grønt tak- eng	Alkalitet	.	0,67	0,61	mmol/l
Grønt tak- eng	Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) 5 d	.	13	4	mg/l
Grønt tak- eng	E. coli	.	<1	<1	MPN/100 mL
Grønt tak- eng	Legionella	.	<1	<1	cfu/1000 mL
Grønt tak- eng	Fosfat	.	850	2400	µg/l
Grønt tak- eng	Klorid	.	47	16	mg/l
Grønt tak- eng	Natrium	5,4	7,3	4,2	mg/l
Grønt tak- eng	Kalium	57	65	35	mg/l
Grønt tak- eng	Bly	1,0	0,39	1,6	µg/l
Grønt tak- eng	Sink	100	48	62	µg/l
Grønt tak- eng	Nikkel	4,8	4,2	8,5	µg/l
Grønt tak- eng	Mangan	130	7,2	63	µg/l
Grønt tak- eng	Magnesium	4,1	8,1	4,5	mg/l
Grønt tak- eng	Krom	0,88	0,88	1,2	µg/l
Grønt tak- eng	Kobber	45	26	30	µg/l
Grønt tak- eng	Molybden	2,2	2,6	6,2	µg/l

Prøvested	Analyse	Resultat R1	Resultat R2	Resultat R3	Enhet
Grønt tak- eng	Silisium	1,1	11	12	mg/l
Grønt tak- eng	Bor	71	100	100	µg/l
Grønt tak- eng	pH målt ved 23 ± 2°C	.	7,2	7,0	
Grønt tak- eng	Aluminium	160	210	460	µg/l
Grønt tak- eng	Arsen	0,84	2,0	4,6	µg/l
Grønt tak- eng	Jern	190	320	550	µg/l
Grønt tak- eng	Kadmium	1,7	<0,0040	0,10	µg/l
Grønt tak- eng	Kalsium	13	22	18	mg/l
Grønt tak- eng	Fluoranten	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Pyren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Fenantren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Fluoren	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Dibenzo[a,h]antracen	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[k]fluoranten	.	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[a]antracen	.	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- eng	Antracen	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Krysen	.	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- eng	Naftalen	.	<0,01	<0,01	µg/l
Grønt tak- eng	Indeno[1,2,3-cd]pyren	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[g,h,i]perylene	.	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[b]fluoranten	.	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[a]pyren	.	<0,00017	<0,00017	µg/l
Grønt tak- eng	Acenaften	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Acenaftalen	.	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Sulfat	.	47,3	22,2	mg/l
Grønt tak- eng	Total organisk karbon (TOC)	.	110	78	mg/l
Grønt tak- eng	Total nitrogen	.	1200	3500	µg/l
Grønt tak- eng	Total fosfor	.	1300	2800	µg/l
Grønt tak- eng	Total tørrstoff	.	0,50	0,28	g/L
Grønt tak- sedum	Magnesium	5,7	.	3,3	mg/l
Grønt tak- sedum	Mangan	33	.	3,0	µg/l
Grønt tak- sedum	Nikkel	5,8	.	1,9	µg/l
Grønt tak- sedum	Sink	130	.	18	µg/l
Grønt tak- sedum	Bly	0,64	.	0,33	µg/l
Grønt tak- sedum	Kalsium	47	.	46	mg/l
Grønt tak- sedum	Natrium	7,1	.	3,2	mg/l
Grønt tak- sedum	Molybden	2,7	.	2,8	µg/l
Grønt tak- sedum	Silisium	0,86	.	13	mg/l
Grønt tak- sedum	Kobber	60	.	17	µg/l
Grønt tak- sedum	Krom	1,2	.	0,79	µg/l
Grønt tak- sedum	Bor	74	.	49	µg/l
Grønt tak- sedum	Aluminium	180	.	49	µg/l
Grønt tak- sedum	Arsen	1,1	.	4,7	µg/l
Grønt tak- sedum	Jern	160	.	130	µg/l
Grønt tak- sedum	Kadmium	5,2	.	0,022	µg/l
Grønt tak- sedum	Kalium	47	.	7,5	mg/l
Grønt tak- sedum	Alkalitet	.	.	2,4	mmol/l
Grønt tak- sedum	Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) 5 d	.	.	<3	mg/l
Grønt tak- sedum	E. coli	.	.	<1	MPN/100 mL
Grønt tak- sedum	Fosfat	.	.	340	µg/l
Grønt tak- sedum	Klorid	.	.	5,3	mg/l
Grønt tak- sedum	Legionella	.	.	<1	cfu/1000 mL

Prøvested	Analyse	Resultat R1	Resultat R2	Resultat R3	Enhet
Grønt tak- sedum	Fluoranten	.	.	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Fenantren	.	.	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Fluoren	.	.	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Dibenzo[a,h]antracen	.	.	<0,0005	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[k]fluoranten	.	.	<0,001	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[a]antracen	.	.	<0,001	µg/l
Grønt tak- sedum	Antracen	.	.	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Krysen	.	.	<0,001	µg/l
Grønt tak- sedum	Naftalen	.	.	<0,01	µg/l
Grønt tak- sedum	Indeno[1,2,3-cd]pyren	.	.	<0,0005	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[g,h,i]perylene	.	.	<0,0005	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[b]fluoranten	.	.	<0,001	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[a]pyren	.	.	<0,00017	µg/l
Grønt tak- sedum	Acenaftalen	.	.	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Acenaften	.	.	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Pyren	.	.	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	pH målt ved 23 ± 2°C	.	.	8,3	
Grønt tak- sedum	Sulfat	.	.	8,70	mg/l
Grønt tak- sedum	Total organisk karbon (TOC)	.	.	44	mg/l
Grønt tak- sedum	Total nitrogen	.	.	1700	µg/l
Grønt tak- sedum	Total fosfor	.	.	510	µg/l
Grønt tak- sedum	Total tørrstoff	.	.	0,28	g/L

Tabell V3: Rådata fra prøveresultater, prøverunde 4 (09.08.2023), 5 (23.08.2023), 6 (06.09.2023) og 7 (20.09.2023). I tabellen angitt som R4, R5, R6 og R7

Prøvested	Analyse	Resultat R4	Resultat R5	Resultat R6	Resultat R7	Enhet
Fisketank	Alkalitet	0,43	0,35	0,31	0,66	mmol/l
Fisketank	Biokjemisk oksygenforbruk	3	<3	<3	<3	mg/l
Fisketank	Fosfat	390	330	230	190	µg/l
Fisketank	Klorid	17	18	18	19	mg/l
Fisketank	Magnesium	1,0	1,1	1,1	1,2	mg/l
Fisketank	Krom	0,15	0,18	0,21	0,22	µg/l
Fisketank	Kobber	180	190	170	200	µg/l
Fisketank	Kalium	0,76	0,14	0,14	<0,10	mg/l
Fisketank	Kadmium	0,054	0,053	0,040	0,028	µg/l
Fisketank	Jern	6,6	1,6	1,2	1,7	µg/l
Fisketank	Arsen	0,69	0,83	0,86	0,88	µg/l
Fisketank	Aluminium	10	6,1	13	9,6	µg/l
Fisketank	Kalsium	22	21	24	23	mg/l
Fisketank	Natrium	18	22	23	26	mg/l
Fisketank	Molybden	0,59	46	0,90	0,33	µg/l
Fisketank	Silisium	2,0	2,3	1,9	1,9	mg/l
Fisketank	Mangan	2,6	0,81	0,45	0,37	µg/l
Fisketank	Nikkel	0,84	1,0	0,97	1,2	µg/l
Fisketank	Bor	7,6	6,4	4,9	4,7	µg/l
Fisketank	Bly	11	6,8	2,5	0,81	µg/l
Fisketank	Sink	69	69	54	44	µg/l
Fisketank	Krysen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Fisketank	Naftalen	0,010	0,010	0,010	0,020	µg/l
Fisketank	Indeno[1,2,3-cd]pyren	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l

Prøvested	Analyse	Resultat R4	Resultat R5	Resultat R6	Resultat R7	Enhet
Fisketank	Benzo[g,h,i]perylene	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Fisketank	Benzo[b]fluoranten	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Fisketank	Benzo[a]pyren	0,0011	<0,00017	<0,00017	<0,00017	µg/l
Fisketank	Acenaftylen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Acenaften	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Benzo[a]antracen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Fisketank	Benzo[k]fluoranten	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Fisketank	Dibenzo[a,h]antracen	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Fisketank	Fluoren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Pyren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Antracen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Fluoranten	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	Fenantren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Fisketank	pH målt ved 23 ± 2°C	7,4	7,3	7,3	7,1	
Fisketank	Sulfat	12,8	13,7	3,11	12,3	mg/l
Fisketank	Total organisk karbon	8,2	6,8	6,3	5,8	mg/l
Fisketank	Total nitrogen	12000	20000	16000	16000	µg/l
Fisketank	Total fosfor	410	430	280	240	µg/l
Fisketank	Total tørrstoff	0,19	0,24	0,26	0,27	g/L
Drivhustak	Alkalitet	0,46	<0,03	<0,03	<0,03	mmol/l
Drivhustak	Biokjemisk oksygenforbruk	<3	<3	<3	<3	mg/l
Drivhustak	E. coli	3	1	<1	<1	MPN/100
Drivhustak	Fosfat	<2	<2	<2	2,5	µg/l
Drivhustak	Klorid	0,14	<0,1	<0,1	0,27	mg/l
Drivhustak	Legionella	<1	<1	<1	<1	cfu/1000 mL
Drivhustak	Natrium	0,32	<0,10	<0,10	0,15	mg/l
Drivhustak	Molybden	0,36	1,1	<0,020	0,043	µg/l
Drivhustak	Silisium	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	mg/l
Drivhustak	Kalsium	0,24	0,26	0,20	0,38	mg/l
Drivhustak	Bly	0,051	0,029	0,018	0,046	µg/l
Drivhustak	Sink	9,2	6,0	4,5	16	µg/l
Drivhustak	Nikkel	0,060	0,050	<0,050	0,11	µg/l
Drivhustak	Mangan	4,5	2,7	2,3	3,9	µg/l
Drivhustak	Magnesium	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	mg/l
Drivhustak	Krom	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	µg/l
Drivhustak	Kobber	0,75	0,64	0,59	1,1	µg/l
Drivhustak	Kalium	<0,10	<0,10	<0,10	0,24	mg/l
Drivhustak	Kadmium	0,0060	0,0050	<0,0040	0,011	µg/l
Drivhustak	Jern	7,7	6,9	5,2	10	µg/l
Drivhustak	Arsen	0,028	0,021	<0,020	0,063	µg/l
Drivhustak	Aluminium	14	11	7,8	17	µg/l
Drivhustak	Bor	1,6	<1,0	<1,0	3,3	µg/l
Drivhustak	Benzo[k]fluoranten	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Drivhustak	Dibenzo[a,h]antracen	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Drivhustak	Acenaften	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Acenaftylen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Benzo[a]pyren	0,0014	<0,00017	<0,00017	0,00073	µg/l
Drivhustak	Benzo[b]fluoranten	0,003	<0,001	<0,001	0,001	µg/l
Drivhustak	Benzo[g,h,i]perylene	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Drivhustak	Fluoren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Fenantren	<0,005	0,008	0,007	<0,005	µg/l
Drivhustak	Pyren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l

Prøvested	Analyse	Resultat R4	Resultat R5	Resultat R6	Resultat R7	Enhet
Drivhustak	Fluoranten	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Benzo[a]antracen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Drivhustak	Antracen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Drivhustak	Krysen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Drivhustak	Naftalen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	µg/l
Drivhustak	Indeno[1,2,3-cd]pyren	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Drivhustak	pH målt ved 23 ± 2°C	5,7	5,6	5,5	6,0	
Drivhustak	Sulfat	0,26	0,22	<0,1	0,36	mg/l
Drivhustak	Total organisk karbon	1,2	0,66	0,53	1,5	mg/l
Drivhustak	Total nitrogen	79	410	50	310	µg/l
Drivhustak	Total fosfor	10	13	12	14	µg/l
Drivhustak	Total tørrstoff	0,080	<0,020	0,060	0,080	g/L
Grønt tak- ref	Alkalitet	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	mmol/l
Grønt tak- ref	Biokjemisk oksygenforbruk	<3	<3	<3	<3	mg/l
Grønt tak- ref	E. coli	<1	<1	<1	<1	MPN/100
Grønt tak- ref	Fosfat	<2	<2	<2	<2	µg/l
Grønt tak- ref	Klorid	0,60	0,52	0,42	0,49	mg/l
Grønt tak- ref	Legionella	<1	<1	<1	<1	cfu/1000 mL
Grønt tak- ref	Bor	4,0	1,1	1,1	4,3	µg/l
Grønt tak- ref	Aluminium	15	14	14	20	µg/l
Grønt tak- ref	Arsen	0,029	0,020	0,020	0,031	µg/l
Grønt tak- ref	Jern	3,4	5,9	5,9	16	µg/l
Grønt tak- ref	Kadmium	0,0040	<0,0040	<0,0040	0,0070	µg/l
Grønt tak- ref	Kalium	0,11	<0,10	<0,10	<0,10	mg/l
Grønt tak- ref	Kobber	0,66	1,1	1,1	0,72	µg/l
Grønt tak- ref	Krom	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	µg/l
Grønt tak- ref	Magnesium	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	mg/l
Grønt tak- ref	Mangan	0,34	0,63	0,63	1,2	µg/l
Grønt tak- ref	Nikkel	0,066	0,12	0,12	0,075	µg/l
Grønt tak- ref	Sink	5,8	8,1	8,1	7,8	µg/l
Grønt tak- ref	Bly	0,054	0,056	0,056	0,090	µg/l
Grønt tak- ref	Kalsium	0,52	0,49	0,49	0,38	mg/l
Grønt tak- ref	Natrium	0,85	0,21	0,21	0,23	mg/l
Grønt tak- ref	Molybden	0,077	9,9	9,9	0,10	µg/l
Grønt tak- ref	Silisium	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	mg/l
Grønt tak- ref	Naftalen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	µg/l
Grønt tak- ref	Pyren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Acenaften	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Acenaftylen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Benzo[a]pyren	0,00061	<0,00017	<0,00017	<0,00017	µg/l
Grønt tak- ref	Benzo[b]fluoranten	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- ref	Benzo[g,h,i]perylen	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- ref	Indeno[1,2,3-cd]pyren	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- ref	Fluoranten	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Krysen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- ref	Antracen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Benzo[a]antracen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- ref	Benzo[k]fluoranten	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- ref	Dibenzo[a,h]antracen	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- ref	Fluoren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	Fenantren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- ref	pH målt ved 23 ± 2°C	6,1	6,0	6,0	5,8	

Prøvested	Analyse	Resultat R4	Resultat R5	Resultat R6	Resultat R7	Enhet
Grønt tak- ref	Sulfat	0,35	0,32	0,32	0,28	mg/l
Grønt tak- ref	Total organisk karbon	1,3	1,3	1,3	1,3	mg/l
Grønt tak- ref	Total nitrogen	120	140	140	140	µg/l
Grønt tak- ref	Total fosfor	11	19	19	12	µg/l
Grønt tak- ref	Total tørrstoff	0,020	0,020	0,020	0,10	g/L
Grønt tak- eng	Alkalitet	0,49	0,55	0,55	0,40	mmol/l
Grønt tak- eng	Biokjemisk oksygenforbruk	3	6	6	4	mg/l
Grønt tak- eng	E. coli	7	<1	<1	16	MPN/100
Grønt tak- eng	Fosfat	1900	2000	2000	1200	µg/l
Grønt tak- eng	Klorid	7,1	9,1	9,1	3,1	mg/l
Grønt tak- eng	Legionella	<1	<1	<1	<1	cfu/1000 mL
Grønt tak- eng	Aluminium	150	170	170	140	µg/l
Grønt tak- eng	Arsen	2,6	2,5	2,5	2,0	µg/l
Grønt tak- eng	Jern	200	220	220	170	µg/l
Grønt tak- eng	Kadmium	0,024	0,027	0,027	0,020	µg/l
Grønt tak- eng	Kalium	19	16	16	13	mg/l
Grønt tak- eng	Kobber	15	14	14	11	µg/l
Grønt tak- eng	Krom	0,46	0,51	0,51	0,50	µg/l
Grønt tak- eng	Magnesium	2,2	2,0	2,0	1,7	mg/l
Grønt tak- eng	Mangan	1,8	3,1	3,1	1,2	µg/l
Grønt tak- eng	Nikkel	4,0	4,0	4,0	3,0	µg/l
Grønt tak- eng	Sink	13	14	14	9,2	µg/l
Grønt tak- eng	Bly	0,23	0,22	0,22	0,13	µg/l
Grønt tak- eng	Kalsium	8,8	7,9	7,9	6,9	mg/l
Grønt tak- eng	Natrium	2,6	2,1	2,1	1,8	mg/l
Grønt tak- eng	Molybden	4,4	13	13	5,0	µg/l
Grønt tak- eng	Silisium	7,0	7,6	7,6	6,3	mg/l
Grønt tak- eng	Bor	87	73	73	56	µg/l
Grønt tak- eng	Fluoranten	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Pyren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Fenantren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Fluoren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Dibenzo[a,h]antracen	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[k]fluoranten	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[a]antracen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- eng	Antracen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Indeno[1,2,3-cd]pyren	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- eng	Naftalen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	µg/l
Grønt tak- eng	Krysen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[g,h,i]perylene	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[b]fluoranten	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- eng	Benzo[a]pyren	0,00091	<0,00017	<0,00017	<0,00017	µg/l
Grønt tak- eng	Acenaftylen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	Acenaften	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- eng	pH målt ved 23 ± 2°C	7,3	7,6	7,6	7,8	
Grønt tak- eng	Sulfat	8,38	6,13	6,13	4,28	mg/l
Grønt tak- eng	Total organisk karbon	48	49	49	36	mg/l
Grønt tak- eng	Total nitrogen	1200	3900	3900	1000	µg/l
Grønt tak- eng	Total fosfor	1900	1800	1800	1100	µg/l
Grønt tak- eng	Total tørrstoff	0,16	0,17	0,17	0,17	g/L
Grønt tak- sedum	Alkalitet	1,7	1,8	1,8	1,6	mmol/l
Grønt tak- sedum	Biokjemisk oksygenforbruk	<3	4	4	<3	mg/l

Prøvested	Analyse	Resultat R4	Resultat R5	Resultat R6	Resultat R7	Enhet
Grønt tak- sedum	E. coli	2	<1	<1	<1	MPN/100
Grønt tak- sedum	Fosfat	130	5,8	5,8	8,6	µg/l
Grønt tak- sedum	Klorid	3,7	3,1	3,1	2,0	mg/l
Grønt tak- sedum	Legionella	<1	<1	<1	<1	cfu/1000 mL
Grønt tak- sedum	Sink	8,2	6,6	6,6	3,0	µg/l
Grønt tak- sedum	Bly	0,14	0,12	0,12	0,061	µg/l
Grønt tak- sedum	Kalsium	33	31	31	31	mg/l
Grønt tak- sedum	Natrium	2,2	1,7	1,7	1,4	mg/l
Grønt tak- sedum	Molybden	1,4	8,5	8,5	1,1	µg/l
Grønt tak- sedum	Silisium	8,5	9,3	9,3	7,8	mg/l
Grønt tak- sedum	Nikkel	0,97	0,81	0,81	0,52	µg/l
Grønt tak- sedum	Mangan	1,8	2,2	2,2	1,5	µg/l
Grønt tak- sedum	Magnesium	2,3	2,2	2,2	2,0	mg/l
Grønt tak- sedum	Krom	0,45	0,39	0,39	0,39	µg/l
Grønt tak- sedum	Kadmium	0,019	0,014	0,014	0,0090	µg/l
Grønt tak- sedum	Kalium	5,3	4,6	4,6	4,1	mg/l
Grønt tak- sedum	Kobber	9,3	8,7	8,7	6,8	µg/l
Grønt tak- sedum	Jern	35	28	28	16	µg/l
Grønt tak- sedum	Arsen	2,8	2,0	2,0	1,5	µg/l
Grønt tak- sedum	Aluminium	19	22	22	18	µg/l
Grønt tak- sedum	Bor	33	26	26	7,5	µg/l
Grønt tak- sedum	Acenaften	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Acenaftylen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Fluoranten	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Pyren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Fenantren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Fluoren	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Dibenzo[a,h]antracen	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[a]pyren	0,00075	<0,00017	<0,00017	<0,00017	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[b]fluoranten	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[g,h,i]perylene	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- sedum	Indeno[1,2,3-cd]pyren	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	µg/l
Grønt tak- sedum	Naftalen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	µg/l
Grønt tak- sedum	Krysen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- sedum	Antracen	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[a]antracen	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- sedum	Benzo[k]fluoranten	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	µg/l
Grønt tak- sedum	pH målt ved 23 ± 2°C	8,7	9,3	9,3	9,4	
Grønt tak- sedum	Sulfat	3,43	2,58	2,58	2,06	mg/l
Grønt tak- sedum	Total organisk karbon	25	25	25	21	mg/l
Grønt tak- sedum	Total nitrogen	750	1600	1600	740	µg/l
Grønt tak- sedum	Total fosfor	180	64	64	38	µg/l
Grønt tak- sedum	Total tørrstoff	0,20	0,24	0,24	0,23	g/L

Vedlegg 5- Analysemetoder, LOQ og analyserende laboratorium

Tabell V4: Oversikt over analysemetoder, LOQ og analyserende laboratorium

Analyse	LOQ	Metode	Laboratorium
Alkalitet	0,03 mmol/l	Intern metode	Eurofins Environment Testing Norway
Biokjemisk oksygenforbruk (BOF) 5	3 mg/l	NS EN 1899-1 Mod	Eurofins Environment Testing Norway
Fosfat	2 µg/l	Intern metode	Eurofins Environment Testing Norway
Klorid	0,1 mg/l	EPA Metode 325.2	Eurofins Environment Testing Norway
Silisium	0,1 mg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Arsen	0,02 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Natrium	0,1 mg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Kalsium	0,05 mg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Bly	0,01 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Sink	0,2 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Nikkel	0,05 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Bor	1 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Aluminium	1 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Molybden	0,02 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Jern	0,3 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Kadmium	0,004 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Kalium	0,1 mg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Kobber	0,05 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Krom	0,05 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Magnesium	0,1 mg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
Mangan	0,05 µg/l	SS-EN ISO 17294-2:2016	Eurofins Environment Sweden AB
pH målt ved 23 ± 2°C	1	Intern metode	Eurofins Environment Testing Norway
Sulfat	0,1 mg/l	NS EN ISO 13395	Eurofins Environment Testing Norway
Total organisk karbon (TOC)	0,3 mg/l	Intern metode	Eurofins Environment Testing Norway
Total nitrogen	10 µg/l	Intern metode	Eurofins Environment Testing Norway
Total fosfor	3 µg/l	NS EN 15681-2	Eurofins Environment Testing Norway
Total tørrstoff R1*	20 mg/l	NS 4764	Eurofins Environment Testing Norway
E. coli	1 MPN/100ml	NS-EN ISO 9308-2	Eurofins Environment Testing Norway
Acenaften	0,005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Acenaftylen	0,005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Benzo[a]pyren	0,00017 g/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Benzo[b]fluoranten	0,001 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Benzo[g,h,i]perylene	0,0005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Indeno[1,2,3-cd]pyren	0,0005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Naftalen	0,01 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Krysen	0,001 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Antracen	0,005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Benzo[a]antracen	0,001 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Benzo[k]fluoranten	0,001 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Dibenzo[a,h]antracen	0,0005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Fluoren	0,005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Fenantren	0,005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Pyren	0,005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Fluoranten	0,005 µg/l	ISO 28540, ISO/TS 28581	Eurofins Environment Testing Finland
Total tørrstoff R2-7*	0,02 g/l	SS 028113:1981	Eurofins Environment Sweden AB
Legionella	1 cfu/1000ml	Intern metode basert på ISO	Eurofins Environment Testing Norway

*R1= prøverunde 1, R2-7= prøverunde 2-7

Til høringsinstansene

Deres ref:
Vår ref: 2023/210134
Dato: 20.10.2023
Org.nr: 985 399 077

Statens tilsyn for planter, fisk, dyr og næringsmidler

Mattilsynet

HØRING - Forskrift om bruk av avløpsvann til vanning i landbruket

Mattilsynet hører utkast til ny forskrift om bruk av avløpsvann til vanning i landbruket på vegne av Landbruks- og matdepartementet. Forskriften gjennomfører EUs forordning om bruk av avløpsvann til vanning i landbruket. Det foreslås å ikke åpne opp for bruk av avløpsvann til vanning i landbruket.

Hva trenger vi fra dere?

Vi ønsker innspill på alle forhold rundt en eventuell implementering av regelverket.

Vi gjør imidlertid oppmerksom på at forordningen er vedtatt i EU, det er altså ikke relevant å spille inn forslag til endringer i den.

Eksempel på spørsmål vi ønsker svar på:

- Er det aktuelt for din virksomhet å levere avløpsvann til bruk i landbruket i framtiden?
- Er det aktuelt for din virksomhet å bruke avløpsvann til vanning?
- Har du synspunkter på de nasjonale bestemmelsene i forskriftsutkastet?
- Er det noen konsekvenser av en implementering av regelverket som ikke er belyst i høringsnotatet?

Gjennomgang av innholdet i forordningen

EU-forordningen (2020/741) om minimumskrav for gjenbruk av vann ble utarbeidet på grunn av vannmangel spesielt i Sør-Europa og for å fremme gjenbruk av vann. I Norge er det ikke samme behov, og det er ingen renseanlegg som leverer rensset avløpsvann til bruk som vanning til landbruket i dag.

Avløpsvann er definert i direktiv 91/271/EØF, som avløpsvann fra byområder, spillvann fra husholdninger eller en blanding av spillvann fra husholdninger og spillvann fra industri og/eller overvann. Dette direktivet om rensing av avløpsvann fra byområder er gjennomført i forskrift 1. juni 2004 nr. 931 om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften). Kravene i denne avløpsvannforordningen gjelder også avløpsvann fra mindre tettsteder når det kommer inn i et samlesystem og er gjenstand for behandling i et avløpsrenseanlegg.

Forordningens virkeområde er begrenset til vanningsvann i landbruket, slik at bruk av vanningsvann til park og grøntarealer ikke er omfattet av forordningen. I vedlegg 1 punkt 1 er det listet opp hvilke kulturer som omfattes.

I forordningen er det i artikkel 2 punkt 2 kriterier for når land kan foreslå forbud mot bruk avløpsvann til vanning i landbruket. Begrunnelsen for det eventuelt forbudet må legges fram for kommisjonen.

Fra definisjonen av resirkulert avløpsvann i artikkel 3 i EU-forordningen er det klart at avløpsvannet må behandles i henhold til kravene i avløpsdirektivet og i tillegg må avløpsvannet bli renset i henhold til kravene i vedlegget til denne forordningen. I vedlegget beskrives fire kvalitetsklasser for vannet til gjenbruk (A-D). Kvalitetskravene er knyttet til hvilken type avling som dyrkes og hvilken vanningsmetode som brukes. For klasse A er det også krav til validering av behandlingsprosessene.

Minstefrekvens for rutinemessig overvåking av resirkulert vann

Kvalitetsklasse	Laveste overvåkingsfrekvenser					
	<i>E. coli</i>	BOD ₅	TSS	Turbiditet	<i>Legionella</i> spp. (når det er relevant)	Tarmnematoder (når det er relevant)
A	Én gang i uken	Én gang i uken	Én gang i uken	Kontinuerlig	To ganger per måned	To ganger i måneden eller som fastsatt av operatøren av resirkuleringsanlegget i henhold til antall egg i det avløpsvannet som kommer inn i resirkuleringsanlegget
B	Én gang i uken	I samsvar med direktiv 91/271/EOF Vedlegg II avsnitt I	I samsvar med direktiv 91/271/EOF Vedlegg II avsnitt I	-		
C	To ganger per måned			-		
D	To ganger per måned			-		

I del 3 i vedlegget er det beskrevet krav til tillatelse for produksjon avløpsvann til vanning og også eventuelle tillatelser også til bruk av vannet. I vedlegget stilles det også flere krav til anlegget som leverer vannet blant annet er det krav til en risikohåndteringsplan.

Det er lagt opp til evaluering av forordningen seinest den 26. juni 2028. Evalueringen skal bygge på fastsatt kriteiere, jf. art. 12, og hvor det kan være mulig å utvide virkeområdet til å omfatte ytterlige bruksområder.

Mattilsynet foreslår forbud

Mattilsynet foreslår forbud mot å bruke avløpsvann som vanningsvann i Norge. Forbudet foreslås på grunn av informasjon vi har hentet inn om tilstanden og behovet i Norge. Mattilsynet har også sett til den omfattende svenske vurderingen av forordningen. Forbundet hensyntar kriteriene for forbud i artikkel 2 punkt 2.

- **Geografiske og klimatiske forhold jf artikkel 2 punkt a)**

Norge har geografiske og klimatiske forhold som gir svært god vanntilgang i de fleste områder. I normalår er det få landbruksområder som behøves å vannes. Noen unntak er det. I Skjåk, som er blant Norges tørreste steder, er det ofte behov for vanning. Der og i nabobygdene er det imidlertid allerede utbygd flere vanningsystem fra lokale overflatevannkilder. Også i andre deler av landet er det blitt vanligere å ha vanningsystem etter to tørkeår med kort tid imellom.

- **Press og status på vannressurser og på overflatevann som avløpsvannet slippes ut i jf artikkel 2 punkt 2 b) og c)**

Det er generelt lite press på vannressurser. De fleste vannforekomster har både god kjemisk og økologisk tilstand. Mer om status på vannforekomster i Norge kan leses på [vannett](#) og [vannportalen](#).

Overflatevann er hovedvannkilden ved vanning i tradisjonelt landbruk i Norge per i dag. I enkelte områder/enkelte produksjoner benyttes drikkevann. Tilgangen på overflatevann i Norge av egnet hygienisk kvalitet vurderes å være tilstrekkelig i de aller fleste situasjoner. I uvanlig tørre år, der kommunen innfører restriksjoner på bruk av drikkevann, kan det gå utover landbrukets mulighet til vanning.

Grunnvann brukes i liten grad som drikkevann i Norge, og da hovedsakelig bare små anlegg i spredt bebyggelse. Vi antar at grunnvann derfor også er svært lite brukt som vanningsvann i landbruket.

Norge har en lang kystlinje og mange renseanlegg slipper avløpsvannet direkte ut i fjord og sjø. Det forekommer også renseanlegg som slipper ut avløpsvann i innsjøer, vann og elver. Rensekravene er avhengig av status på resipienten.

- **Miljø- og ressurskostnader jf artikkel 2 punkt 2 d**

Rensing av avløpsvann for å tilfredsstille kravene i forordningen er svært energikrevende, og i tillegg kommer kostnader til etablering og drift av anlegg og analysekostnader. Fordi Norge har mye vann, vil det derfor sannsynligvis ikke være bærekraftig å bruke ressurser på å rense avløpsvannet etter forordningens krav. Trolig er det et større potensiale for å spare vann ved å hindre vanntap i ledningsnett og å bruke gjenvunnet avløpsvann i industriprosesser eller til vanning av grøntområder utenfor landbruket.

Om forslaget til § 3 og § 4

Det er utarbeidet en hjemmel for å forby gjenbruk av vann i forskriften § 3.

I forskriften § 4 er det tatt med ett unntak fra forbudet om å ikke og gjenbruke vann til bruk i landbruk. Mattilsynet kan etter søknad unnta forskning- og pilotprosjekt hvis kriteriene i artikkel 2 nr. 3 er oppfylt.

Konsekvenser

Med bakgrunn i den gode vanntilgangen i Norge er det ikke forventet at forordningen i den nærmeste fremtid vil få reell påvirkning her i landet. Mattilsynet er heller ikke kjent med at det per i dag finnes renseanlegg for avløpsvann i Norge hvor vannet brukes direkte til landbruksvanning, og som dermed vil bli berørt av et nytt regelverk. Det antas videre at ny etablering av anlegg for gjenvinning og distribusjon av rensset avløpsvann ikke vil være økonomisk attraktivt med mindre det oppleves tørkeperioder flere år på rad. Endringer i rensekrav for utslipp avløpsvann kan også påvirke interessen for gjenbruk.

Globalt sett er urbant landbruk i rask utvikling. Økt interesse for urban matproduksjon vil kunne gi lokale behov for rensing av vann, for eksempel i sammenheng med grønne kretsløpsboliger. Mattilsynet har vært i kontakt med NIBIO og Norsk Vann. Deres vurderinger er at det generelt er god tilgang på kranvann i byene og det antas at dette vil være den viktigste vannkilden til urbant

landbruk også i de nærmeste årene. Mattilsynet har ikke opplysninger som tilsier noe annet. Det er imidlertid stor interesse for bruk av takvann/overflatevann i tilknytning til urbant landbruk, men disse vannkildene dekkes ikke av denne forordningen.

Med bakgrunn i det som er nevnt ovenfor, vurderes det at forordningen ikke vil få store økonomiske eller administrative konsekvenser for myndigheter og næringen. Skulle det vise seg at det blir mer aktuelt med rensed avløpsvann på grunn endret behov, for eksempel på grunn av klimaendringer, vil det bli en omfattende jobb å bygge opp den nødvendige administrasjonen som godkjenningsordning krever. En slik endring vil medføre økonomiske og administrative konsekvenser for myndighetene.

Høringsfrist

Høringssvar sendes inn via lenke på Mattilsynets [nettside](#). Alle høringssvar vil bli offentliggjort samme sted. Vi ber om at dere i høringssvarene viser til de bestemmelsene i forskriften eller forordningen som innspillet gjelder.

Høringsfrist: 4. desember

Med hilsen

Line Ruden
Seksjonssjef planter og innsatsvarer



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway